

Российская академия наук
Национальный комитет по автоматическому управлению
Научный совет по теории управляемых процессов и автоматизации РАН
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Уфимский государственный авиационный технический университет
Арзамасский НОЦ ПУ (на базе АПИ)
Волгоградский НОЦ ПУ (на базе ВолГУ)
Воронежский НОЦ ПУ (на базе ВГАСУ)
Инновационный НОЦ ПУ (на базе МАИ)
Инновационный НОЦ ПУ (на базе МВТУ)
Казанский НОЦ ПУ (на базе КГТУ)
Красноярский НОЦ ПУ (на базе СФУ)
Курский НОЦ ПУ (на базе ЮЗГУ)
Липецкий НОЦ ПУ (на базе ЛГТУ)
Магнитогорский НОЦ ПУ (на базе МГТУ)
НОЦ «Системный анализ в управлении» (на базе МИФИ)
Пермский НОЦ ПУ (на базе ПГТУ)
Самарский НОЦ ПУ (на базе СГАУ)
Старооскольский НОЦ ПУ (на базе СТИ)
Тверской НОЦ ПУ (на базе ТГТУ)
Удмуртский НОЦ ПУ (на базе УдГУ)
Уфимский НОЦ ПУ (на базе УГАТУ)

УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

X Всероссийская школа-конференция молодых ученых

5–7 июня 2013 года

Материалы конференции

ТОМ 1

Уфа 2013

Управление большими системами: материалы X Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Том 1/ Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 323 с.

Представлены материалы X Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами», проходившей 5–7 июня 2013 г. в г. Уфа.

В сборник включены научные статьи молодых ученых по фундаментальным математическим основам теории управления и информационным технологиям в управлении.

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-4221-0447-5

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Х ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ»

организована Институтом проблем управления РАН, сетью Научно-образовательных центров проблем управления (НОЦ ПУ) и Уфимским государственным авиационным техническим университетом, совместно с рядом ведущих научно-исследовательских институтов и вузов России, с целью развития и пропаганды достижений теории и практики управления большими системами.

Основные направления конференции:

- Фундаментальные математические основы теории управления.
- Информационные технологии в управлении.
- Управление организационными и социально-экономическими системами.
- Управление техническими системами, технологическими процессами и промышленными установками.

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО

Васильев С.Н., академик РАН (Москва, директор ИПУ РАН),
Гузаиров М.Б., д.т.н., проф. (Уфа, ректор УГАТУ).

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Новиков Д.А., чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва, ИПУ РАН) – сопредседатель,
Бадамшин Р.А., д.т.н., проф. (Уфа, проректор УГАТУ по НиИД) – сопредседатель,
Н. Woen, проф. (Германия, Технический университет г. Карлсруэ),
Баркалов С.А., д.т.н., проф. (Воронеж, ВГАСУ)
Бурков В.Н., д.т.н., проф. (Москва, ИПУ РАН),
Валеев С.С., д.т.н., проф. (Уфа, УГАТУ),
Васильев В.И., д.т.н., проф. (Уфа, УГАТУ),
Воронин А.А., д.ф.-м.н., проф. (Волгоград, ВолГУ),
Гвоздев В.Е., д.т.н., проф. (Уфа, УГАТУ),
Головинский П.А., д.ф.-м.н., проф. (Воронеж, ВГАСУ),
Засканов В.Г., д.т.н., проф. (Самара, СГАУ),
Емельянов С.Г., д.т.н., проф. (Курск, ЮЗГУ),
Еременко Ю.И., д.т.н., проф. (Старый Оскол, СТИ),
Ильясов Б.Г., д.т.н., проф. (Уфа, УГАТУ)
Кузнецов В.Н., д.т.н., проф. (Тверь, ТГТУ),
Мезин И.Ю., д.т.н., проф. (Магнитогорск, МГТУ),
Непейвода Н.Н., д. ф.-м.н., проф. (Ижевск, УдГУ),
Омельченко И.Н., д.т.н., проф. (Москва, МВТУ),
Пакшин П.В., д.т.н., проф. (Арзамас, АПИ),
Погодаев А.К., д.т.н., проф. (Липецк, ЛГТУ)
Сиразетдинов Р.Т., д.т.н., проф. (Казань, КГТУ),
Столбов В.Ю., д.т.н., проф. (Пермь, ПГТУ),
Подлесный С.А., д.т.н., проф. (Красноярск, СФУ),
Юсупова Н.И., д.т.н., проф. (Уфа, УГАТУ)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета

Р.А. Мунасыпов – д-р техн. наук, проф. кафедры ТК УГАТУ

Заместитель председателя

А.Г. Карамзина – канд. техн. наук, доц. кафедры ТК УГАТУ

Члены оргкомитета

К.А. Ахмеров

Л.Н. Мухамедрахимова

Ю.Р. Фазлетдинова

О.В. Целищев

Ученый секретарь оргкомитета

Е.Ш. Закиева – канд. техн. наук, доц. кафедры ТК УГАТУ

Адрес: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12,
Уфимский государственный авиационный
технический университет,
Кафедра технической кибернетики (корпус 6)

Телефон: (347) 273-65-42

Факс: (347) 273-78-35

E-mail: ubs2013@bk.ru

Место и время проведения
5–7 июня 2013 г., г. Уфа, пансионат «Родник Здоровья»

СОДЕРЖАНИЕ

Направление 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Алескеров Ф.Т., Митичкин Е.О., Швыдун С.В., Якуба В.И.

Суперпозиция надпороговых процедур и ее применение к задаче информационного поиска 11

Андреева С. М.

Применение полигармонических моделей в управлении работой Call центра..... 15

Андрианова О.Г., Белов А.А.

Алгоритм вычисления анизотропной нормы дескрипторной системы на основе частотной теоремы..... 19

Батурина О.В.

Дискретно-непрерывные билинейные системы..... 23

Белов А.А.

Вычисление анизотропной нормы дескрипторной системы с использованием линейных матричных неравенств..... 26

Валов С.А.

Итерационное обучающее управление для дискретной сетевой системы с запаздыванием и потерей пакетов данных..... 30

Верхозина И.О., Фунг Тхе Бао

Программная реализация для численного исследования модели управления запасами с учетом запаздывания 34

Гаврилов В.С., Калянов Г.Н., Куприянов Б.В.

Применение конвейерных бизнес-процессов для оптимизации деятельности компаний..... 38

Грибков А.Н., Куркин И.А.

Об одном подходе к получению видов функций оптимального управления многомерным объектом с учетом ограничений на управляющие воздействия..... 42

Гусев С.С.

Алгоритм идентификации динамического объекта по экспериментальным данным водо-водяного реактора..... 46

Емельянова Ю.П.

Сетевое управление с итеративным обучением системами с неопределенными параметрами и информационными нарушениями. 50

Епифанов А.С.

Оценка сложности законов функционирования автоматов с использованием дискретных riv -функций..... 54

Кочетков С.А.

Вихревой алгоритм управления двигателем постоянного тока..... 58

Лесько С.А.	
Перколяция данных и потеря работоспособности в сетях, имеющих двумерные регулярные и случайные структуры.....	62
Новикова А.О.	
Численные методы построения множеств достижимости нелинейных управляемых систем на основе параллельных вычислений.....	66
Осинцев М.С.	
Понижение размерности задачи оптимального оценивания для манипулятора с гибким сочленением.....	70
Парсегов С.Э.	
Достижение консенсуса за заданное время.....	74
Полосинов С.А.	
Технологии конструирования интегральных критериев оценки эффективности сложных антропогенных систем.....	78
Рассадин Ю.М.	
Декомпозиционный синтез систем с дискретным временем на основе методов фракционного анализа.....	82
Резков И.Г.	
Синтез точностного регулятора для объекта третьего порядка в составе адаптивного управления.....	86
Сабитов И.И.	
Методика расчета коэффициентов ПИ регулятора для сепаратных каналов многосвязной САУ.....	90
Снимщиков Г.В., Тебуева Ф.Б.	
Прогнозирование характеристик комплексной системы защиты информации для принятия управленческих решений.....	94
Уткин А.В.	
Синтез неминимально фазовых систем с параметрическими неопределённостями на основе метода разделения движений.....	98
Шевляков А.А.	
Решение задачи стабилизации вертолета.....	102

Направление 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ

Абдулов А.В., Суконнова А.А.	
К автоматизации решения некоторого класса учебных задач арифметического типа и оценка решений для демонстрации ученику...	106
Агасандян Г.А.	
Кондоры на реальных рынках опционов.....	110
Агасандян Г.А.	
Континуальный критерий VAR на составных рынках опционов.....	114
Алексеев А.Ю.	
Использование технологий расширенной реальности при управлении большими коллективами роботов.....	118

Алексеева Е.И.	
Связи на финансовых сетях. Устойчивость в непрерывных и дискретных моделях.....	122
Антонова Е.И., Васильев И.А.	
Метод автоматического размещения железнодорожных вагонов по подъездным путям контейнерного терминала.....	126
Артамонов Ю.С.	
Принципы непрерывной интеграции для разработки приложений научных вычислений.....	130
Болодурина И.П., Парфенов Д.И.	
Оптимизация использования ресурсов облачного хранилища данных системы дистанционного обучения.....	134
Болодурина И.П., Таспаева М.Г.	
Применение нейросетевых технологий в задаче идентификации динамических объектов.....	139
Бушмелева Е.С.	
Программное обеспечение для вычисления направленных гомологий асинхронных систем.....	143
Видякин Б.А.	
Управление внедрением комплекса информационных систем при автоматизации крупных предприятий.....	147
Винс Д.В.	
Использование мультиагентной модели центра коллективного пользования для принятия управленческих решений.....	151
Гусев С.С.	
Применение информационных технологий для управления ядерными энергетическими установками.....	155
Даденков С.А., Кон Е.Л.	
Анализ эффективности метода доступа <i>predictive p-Persistent CSMA</i>	159
Даутова О.Р.	
Оптимизационное планирование литейного производства.....	163
Добрынин А.С., Кулаков С.М., Зимин В.В.	
Структуризация этапов стадии внедрения ИТ-сервиса.....	167
Догадкин А.В., Ботуз С.П.	
Разработка и исследование мультимедийных средств для изучения отопительных систем промышленных и жилых зданий.....	171
Дятчина Д.В., Погодаев А.К.	
Автоматическая система оптимального управления запросами в базах данных с альтернативными маршрутами соединения таблиц.....	175
Елисеев Н.И.	
Проблемы организации обработки информации в системах электронного документооборота.....	179

Елисеев А.С., Гитман М.Б.	
Оценка устойчивости процесса выполнения производственного плана после возникновения возмущения.....	183
Емельянов С.Г., Титов В.С., Бобырь М.В.	
Информационная система диагностики изделий на основе нечетких мер.....	187
Ерешко А.Ф., Сытов А.Н.	
Численные расчеты в оперативном управлении коалицией заемщиков..	191
Ефремова О.А., Павлов С.В.	
Информационная поддержка принятия решений по управлению регионом на основе интеграции пространственной информации из разнородных источников.....	195
Жернаков С.В., Кинарский А.В.	
Управление комплексными алгоритмами контроля и диагностики технического состояния авиационного ГТД для системы поддержки принятия решений.....	199
Жернаков С.В., Равилов Р.Ф.	
Информационные технологии управления, контроля и диагностики для стационарных газотурбинных установок.....	203
Жиляев А.А., Симонова Е.В.	
Логика работы агентов мультиагентной системы дистанционного зондирования земли.....	207
Игошева Ю.Ф.	
Статистическое исследование алгоритма дополнения паросочетаниями для асимметричной задачи коммивояжера большой размерности.....	211
Каримов Р.Р., Магдиева М.И.	
Учебно-тренировочный модуль для информационной поддержки управления транспортно-технологическими процессами с применением информационной системы «Аэропорт».....	215
Каримов Р.Р., Шеина А.А.	
Информационная поддержка управления техническим состоянием микроспутника на основе интеллектуального анализа телеметрических данных.....	219
Карпенко О.Ю., Каримов Р.Р., Валеев С.С.	
Использование <i>CALS</i> -технологий при проектировании и управлении сложными техническими объектами.....	223
Клименко А.Б., Клименко В.В.	
Пример решения задачи формирования минимальной конфигурации устройств в бортовой распределенной информационно-управляющей системе на базе неоднородной мультиагентной системы.....	227
Ковтуненко А.С., Масленников В.А., Валеев С.С.	
Распределенное имитационное моделирование больших организационно-технических систем с использованием многоагентной платформы <i>ABSYNTH</i>	231

Кондратьева Н.В., Янгирова А.Ф.	
Система поддержки принятия решений при эвакуации людей в организационно-технических системах.....	235
Куликова И.В.	
Построение нечеткого регулятора в системах большой размерности....	239
Левков А.А.	
Трансляция пространства открытого мира в реляционные схемы данных.....	243
Минашина И.К., Захарова Е.М.	
Использование релаксационных алгоритмов для оценки параметров в нейро-нечетких моделях.....	247
Минашина И.К., Захарова Е.М.	
Нейро-нечеткое моделирование в управлении пассажироперевозками..	251
Мунасыпов Р.А., Ахмеров К.А.	
Методика построения ассоциативного регулятора на основе гибридных технологий.....	255
Назаров Д.А.	
Построение областей допустимой вариации параметров с помощью радиально-базисной нейронной сети.....	259
Наумов И.С.	
Автоматическая оценка сложности и трудности текстовой учебной задачи.....	263
Немтинов К.В., Егоров С.Я.	
Применение теории сложных систем при проектировании технологических комплексов.....	267
Новиков А.Е.	
Модификация метода Дорманда-Принса.....	271
Ровнейко Н.И.	
Анализ сбалансированности требований к программным системам по критерию неопределенности.....	275
Рыжов А.В., Букреев Я.А., Семенова К.А.	
Информационно-аналитическая система управления проектами на основе методов принятия коллективных решений.....	279
Салаватова А.Р., Гарифулин А.М.	
Обеспечение качества принимаемых решений при получении геофизической информации.....	284
Сараев П.В.	
Нейроструктурные методы и программное обеспечение прогнозирования и управления динамическими системами.....	288
Сараев П.В., Сяглова Ю.Е.	
Оценка достоверности результатов нейросетевого прогнозирования курсов валют в процессе управления финансовыми рисками компании	292

Сараев П.В., Тарнакина М.Н.	
Применение нейросетевого моделирования для решения задач прогнозирования кредитных рисков контрагента.....	296
Семенов М.Е., Толоконников П.В., Соловьев А.Ю.	
О возможности использования метода-сингулярно спектрального анализа для очистки сигналов от шумов.....	300
Стягов А.А.	
Опыт параллельной реализации вариаций целевой функции в целочисленной задаче развития транспортной сети.....	304
Тен Д.О.	
Разработка системы поддержки принятия решений для транспортно-логистических систем.....	308
Цуканова О.А.	
Метод пространства состояний в моделировании управления информационными ресурсами профессиональных сетевых сообществ	312
Черникова М.А.	
Анализ и синтез системы автоматического управления газотурбинным двигателем на основе блочно-матричного представления динамической характеристики ГТД.....	316
Яматов А.Р.	
Применение динамического программирования в разработке методики синтеза структурной схемы надёжности системы.....	320

УДК 004.85

Ф.Т. Алескеров^{1,2}, Е.О. Митичкин³, С.В. Швыдун^{1,2}, В.И. Якуба²

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

³Университет Мангейма, Мангейм, Германия

СУПЕРПОЗИЦИЯ НАДПороГОВЫХ ПРОЦЕДУР И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К ЗАДАЧЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Аннотация

В работе рассматривается задача выбора альтернатив при наличии большого числа критериев. Приводится подход к построению ранжирующих алгоритмов, способных улучшить качество работы поисковых систем. Описывается процедура предварительного анализа данных, способы кластеризации, агрегирующие алгоритмы выявления релевантных объектов.

Введение

В работе исследуется задача исследования альтернатив при наличии большого числа критериев. Пусть задано конечное множество A альтернатив, мощность которого больше или равна двум. Каждая альтернатива $x \in A$ может быть представлена в виде вектора, состоящего из n критериев, x_1, \dots, x_n . Задача поиска заключается в выборе подмножества альтернатив из всего множества A при наличии нескольких критериев.

В случае, когда число критериев небольшое, задача выбора альтернатив может быть решена с достаточно высокой точностью и скоростью с использованием существующих процедур выбора. Однако когда число таких критериев становится очень большим, задача выбора становится все более трудоемкой. Задача выбора еще более усложняется, когда число альтернатив также становится очень большим. В результате этого возникает проблема компромисса между точностью и скоростью процедур выбора альтернатив. Чем выше точность, тем больше критериев надо учитывать, тем более сложные с вычислительной точки зрения процедуры необходимо применять, и тем больше ресурсов потребуется на обработку информации. Уменьшение времени на поиск соответствует более грубому способу нахождения альтернатив, что отрицательно сказывается на точности. На данный момент существует большое число процедур выбора, которые хорошо работают при наличии небольшого числа альтернатив и критериев, которые, однако, при увеличении числа критериев и альтернатив требуют недопустимо больших вычислительных затрат. Невозможность использования этих способов приводит к необходимости разработки новых процедур выбора, способных производить выбор альтернатив с достаточно высокой точностью за приемлемое для конечного пользователя время.

Модель, предлагаемая в работе, представляет собой способ выбора альтернатив, который заключается в использовании принципа суперпозиции надпороговых процедур. Сущность надпороговых процедур заключается в выборе

таких альтернатив из A , у которых значение по критерию x_i выше (или ниже) некоторого порога качества x_i^* [1]. Таким образом, модель заключается в построении системы пороговых ограничений, с помощью которой осуществляется последовательное отсеечение альтернатив и предоставление пользователю некоторого конечного множества выбранных альтернатив. Преимуществом метода является его высокая скорость, так как в его основе лежит использование надпороговых процедур. Точность метода обеспечивается применением принципа суперпозиции. Эффективность алгоритма заключается в более точном выборе альтернатив по сравнению с общедоступными алгоритмами. Вычислительная простота этих моделей позволяет производить выбор на больших данных, т.е. даже в условиях, когда число альтернатив достигает нескольких миллионов.

Задача выбора альтернатив может быть разделена на два вида. Первый из них заключается в выборе альтернатив с их “априори” неизвестной полезностью. В этом случае, при выборе альтернатив последовательность отсечений, как и направление пороговых отсечений по критериям, задается в зависимости от смысловых характеристик критериев. Второй вид может быть определен как задача обучения ранжированию, т.е. задача выбора альтернатив с заранее известными оценками их полезности по критериям. Здесь под полезностью альтернативы понимается степень того, насколько хорошо она удовлетворяет потребность конкретного пользователя в данной ситуации. Основная цель здесь заключается в том, чтобы по заранее известной степени полезности одних альтернатив создать правило выбора, в соответствии с которым может быть произведен выбор и ранжирование других альтернатив, о степени полезности которых ничего не известно.

Опишем два основных способа определения последовательности и направлений надпороговых отсечений по критериям, а также значений порогов по каждому критерию для выбора наилучших альтернатив.

1. Модель суперпозиции надпороговых правил с использованием эталонного фактора

В первом случае, последовательность применения надпороговых процедур может быть осуществлена с использованием эталонного критерия. Критерий называется эталонным φ^* , если значение разброса наилучших альтернатив по данному критерию является минимальным среди значений разбросов по всем остальным критериям.

$$\varphi^* = \left\{ \varphi_i \in \varphi \mid \forall j, j \neq i : \max_{x \in A^*} \varphi_i(x) - \min_{x \in A^*} \varphi_i(x) \leq \max_{x \in A^*} \varphi_j(x) - \min_{x \in A^*} \varphi_j(x) \right\},$$

где φ – множество всех критериев, A^* – множество всех наилучших альтернатив, $A^* \subset A$.

Эталонный критерий – это тот критерий, по которому наблюдается наибольшее совпадение между наилучшими альтернативами. Эталонный критерий определяет последовательность применения суперпозиции надпороговых правил (составление дерева исключений). Направление отсечения по порогу осуществляется в зависимости от того, надо ли минимизировать или максимизиро-

вать критерий. Значение порога может быть установлено как заранее (среднее, медиана, некоторое фиксированное значение), так и в процессе выбора последовательности отсечений.

Последовательность отсечений выполняется в соответствии со следующим правилом. Надпороговый выбор осуществляется по тому критерию, с помощью которого при применении надпороговой процедуры наблюдается наименьший разброс наилучших альтернатив по эталонному критерию (наибольшая в диапазоне по эталонному критерию доля наилучших альтернатив). По найденному критерию производится применение модели надпорогового выбора, в результате чего количество альтернатив сокращается и выбранный критерий исключается из дальнейшего рассмотрения. Процедура выбора последовательности отсечений повторяется до тех пор, пока все критерии не будут использованы, либо пока не будут исключены все неэффективные альтернативы.

2. Модель суперпозиции надпороговых правил с использованием функции распределения

Данная модель заключается в выборе последовательности пороговых отсечений с использованием функции распределения. Всё множество альтернатив может быть поделено на две группы: множество наилучших альтернатив и остальные. Каждая группа может быть представлена в виде набора функций распределения значений по каждому критерию. Значение порога по каждому критерию устанавливается в виде такого значения, по которому разница между двумя функциями распределения является максимальной.

$$V^* = \max_{x \in A} |F_1(x) - F_2(x)|,$$

где $F_1(x)$, $F_2(x)$ – значение функций распределения наилучших альтернатив и остальных.

Последовательность отсечений выполняется в соответствии со следующим правилом. Надпороговый выбор осуществляется по тому критерию, по которому разница между двумя функциями распределения является наибольшей. По этому критерию применяется надпороговое правило выбора, в результате чего количество альтернатив сокращается и выбранный критерий исключается из дальнейшего рассмотрения. После этого процедура построения функций распределения, а также выбора последовательности отсечений повторяется до тех пор, пока все критерии не будут использованы, либо пока не будут исключены все альтернативы, не являющиеся эффективными.

Применение суперпозиции надпороговых процедур к задаче информационного поиска.

В ходе изучения обучающих выборок различных поисковых систем, были выбраны данные из пакета данных LETOR 4.0, предоставленных подразделением *Microsoft Research* корпорации *Microsoft*[2]. В наборе данных содержится 1 175 000 документов; согласно компании *Microsoft*, количество факторов в наборе данных достаточно для обучения ранжирующей системы и последующей ее проверке.

В ходе анализа данных компании Microsoft было выявлено, что находящиеся запросы в обучающей выборке принадлежат разным предметным областям, причем в этих предметных областях ключевые факторы ранжирования веб-страниц различны. Это означает, что не существует единых правил ранжирования документов. Однако было найдено экспериментальным путем, что внутри предметных областей ключевые факторы ранжирования совпадают. Это делает необходимым процесс кластеризации запросов по предметным областям и построение правил выбора по каждому кластеру. Таким образом, тестирование предложенных способов было решено осуществлять отдельно по каждой группе запросов, в которой действуют одинаковые правила ранжирования. Тестирование проводилось с использованием ключевых факторов, которые были выявлены в ходе процедуры анализа данных, включающей в себя процедуры преобразования данных и сокращения факторной размерности[3]. Стоит отметить, что ключевыми факторами являются те факторы, которые наибольшим образом влияют на релевантность. В результате тестирования средняя точность первого способа равнялась 65%, в то время как средняя точность второго способа была около 46%. В то же время было выявлено, что первый способ лучше зарекомендовал себя на маленьких наборах данных, а второй на данных, в которых действовали разные правила ранжирования. Отличительной особенностью предложенных способов является то, что их вычислительная сложность ниже квадратичной, что позволяет применять данный подход на больших наборах данных.

Выводы

В работе была предложена модель суперпозиции надпороговых процедур, с помощью которой в задаче поиска осуществляется выбор наилучших для конкретной ситуации альтернатив. Определение последовательности применения правил надпорогового выбора может быть осуществлено двумя способами: с использованием эталонного критерия и с использованием функции распределения. Оба способа были протестированы на наборе данных LETOR 4.0 и экспериментально подтвердили эффективность рассматриваемого подхода. Отличительной особенностью способов является их низкая вычислительная сложность, а также их гибкость. Модель отличается достаточно высокой точностью выбора наилучших альтернатив по сравнению с существующими аналогами. Модель наиболее полезна при наличии очень большого числа альтернатив, характеризующихся очень большим набором критериев.

Список литературы

1. M.Aizerman, F.Aleskerov F., Theory of Choice, Elsevier, North-Holland, 1995.
2. H. Li, T.Y. Liu, T. Qin, J. Xu, LETOR: A Benchmark Collection for Research on Learning to Rank for Information Retrieval, Information Retrieval Journal, Vol. 13, No. 4, 346-374, 2009.
3. I.B. Muchnik, E.M. Braverman, The Structural Methods for Empirical Data Processing, NAUKA Publishers, Moscow, 1983.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ CALL - ЦЕНТРА

Аннотация

Статья посвящена решению проблемы ожидания ответа оператора при попытке дозвона абонента в Call-центр. Решить проблему предлагается путем прогнозирования количества звонков на входе в Call-центр и перераспределения операторов по результатам прогнозирования. В качестве моделей для прогнозирования рассмотрено применение полигармонических моделей.

Введение

В настоящее время задача оптимизации работы так называемых Call-центров – центров обслуживания звонков – является актуальной в связи с их расширением и ростом количества, что является следствием колоссального развития сферы обслуживания. Центр обслуживания звонков представляет собой многоканальную систему массового обслуживания с ожиданием, в которой поток заявок на обслуживание не является простейшим. Роль каналов играют операторы центра, которые зачастую не успевают своевременно обслуживать заявки, время ожидания в очереди сильно увеличивается, поэтому часть заявок покидают очередь не обслуженными. Однако, интенсивность потока не всегда одинакова, если пренебречь временем обслуживания заявок, то решить проблему можно, прогнозируя число звонков на входе в центр и варьируя в зависимости от прогноза число каналов обслуживания: увеличивая на время пиков активности абонентов, уменьшая на время спада активности. Таким образом, задача сводится к определению модели для достоверного прогнозирования.

1. Обоснование выбора полигармонической модели

В качестве исходных данных рассматривается временной ряд $x(t)$, значениями которого является количество звонков на входе в Call-центр в единицу времени Δt . Выбор единицы времени Δt зависит от масштабов прогнозирования:

1. Прогнозируется распределение количества звонков в течение суток, на несколько суток вперед – в качестве Δt можно выбрать один час (рис. 1);

2. Прогнозируется распределение количества звонков в течение недели, на несколько недель вперед – в качестве Δt можно выбрать несколько часов или день (рис. 2);

3. Прогнозируется распределение количества звонков в течение месяца, на несколько месяцев вперед – в качестве Δt можно выбрать несколько дней или неделю.

В любом случае, выбор Δt определяется целями прогнозирования.

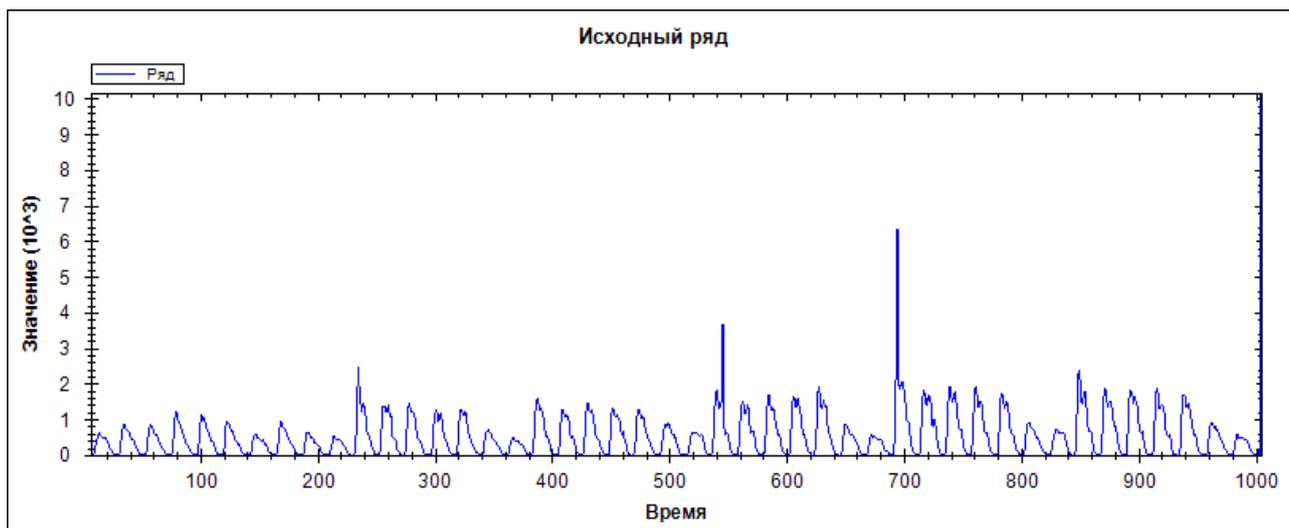


Рис. 1. Исходный ряд, количество звонков за каждый час

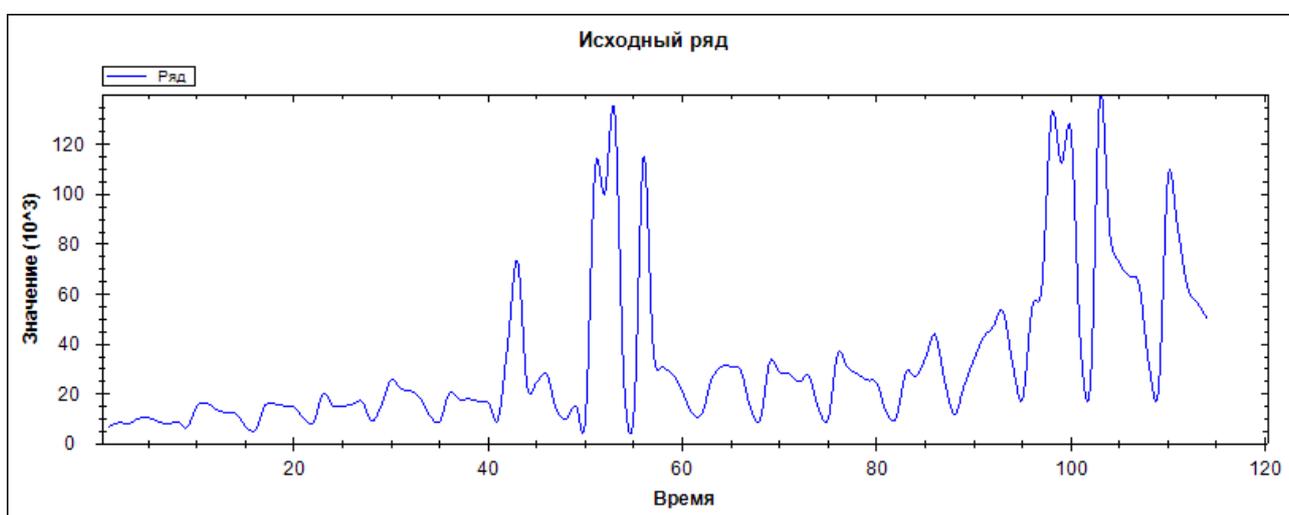


Рис. 2. Исходный ряд, количество звонков за каждый день

О наличие периодических зависимостей в исходных данных свидетельствует графическое изображение исследуемых временных рядов (Рис. 1-2), а также замечания сотрудников *Call*-центра о всплесках активности абонентов в определенное время суток, недели, месяца. В связи с этим для прогнозирования предлагается использование полигармонической модели [5] вида:

$$x^1(t) = \sum_{k=1}^n (A_k \cos \omega_k t + B_k \sin \omega_k t), \quad (1)$$

где $x^1(t)$ - модельное значение ряда, то есть прогнозируемое количество звонков в единицу времени Δt , A_k, B_k, ω_k - параметры модели, подлежащие определению, t - в данном случае является порядковым номером единицы времени Δt .

Полигармоническая модель (1) при достаточно точном определении параметров позволяет не только прогнозировать количество звонков, но и выявлять присущие процессу закономерности, что также позволяет

оптимизировать работу Call-центра. Как известно, ω_k представляет собой частоту k -ой гармоники. Если речь идет о выявлении закономерностей, и интерес представляют периоды увеличений и спадов активности абонентов, то частоты ω_k можно выразить через периоды T_k соотношением $\omega_k = 2\pi/T_k$. В зависимости от метода, используемого для параметрической идентификации модели, определяться могут либо частоты, либо периоды, что в конечном результате значения не имеет.

2. Определение параметров модели

Предложенная модель (1) относится к классу смешанных линейно-нелинейных по параметрам моделей, амплитуды A_k, B_k входят в модель линейно, а частоты ω_k - под знаком тригонометрических функций. Существует несколько способов определения параметров модели.

В [5], учитывая сложность непосредственной аппроксимации исследуемого процесса линейно-нелинейной по параметрам функцией, описаны методы, которые сводят задачу нелинейной множественной регрессии к линейной, путем предварительного определения каким-либо численным методом нелинейно входящих в модель параметров. Такой подход основан на применении селективных преобразований и метода периодограмм и состоит из двух этапов: получение информации о периодах T_k с помощью селективных преобразований, а затем оценка амплитуд A_k, B_k линейным методом наименьших квадратов.

В [1] рассмотрена задача аппроксимации исходного процесса $x(t)$ некоторым полигармоническим процессом $x^1(t)$ и параметры модели определяются из условия минимизации невязок, что приводит к нелинейной задаче о наименьших квадратах, которая может быть решена традиционными итерационными методами, такими как метод Ньютона и его модификации [3].

Для идентификации линейно-нелинейных моделей известен эффективный метод Голуба-Перейры [2], который позволяет снизить размерность задачи, определяя линейно входящие параметры за один шаг с использованием операции псевдообращения, но имеющий более сложную целевую функцию по сравнению с методом Ньютона [4].

3. Прогнозирование количества звонков

Определение параметров модели (1) по исходным данным, представленным графически (Рис. 1-2), проводилось как линейным методом наименьших квадратов в совокупности с методом периодограмм, так и нелинейным методом наименьших квадратов, что позволило получить достаточно точную аппроксимацию.

Для наглядности результаты моделирования удобно представить графически (рис. 3), изображая исходный и модельные ряды на одном графике.

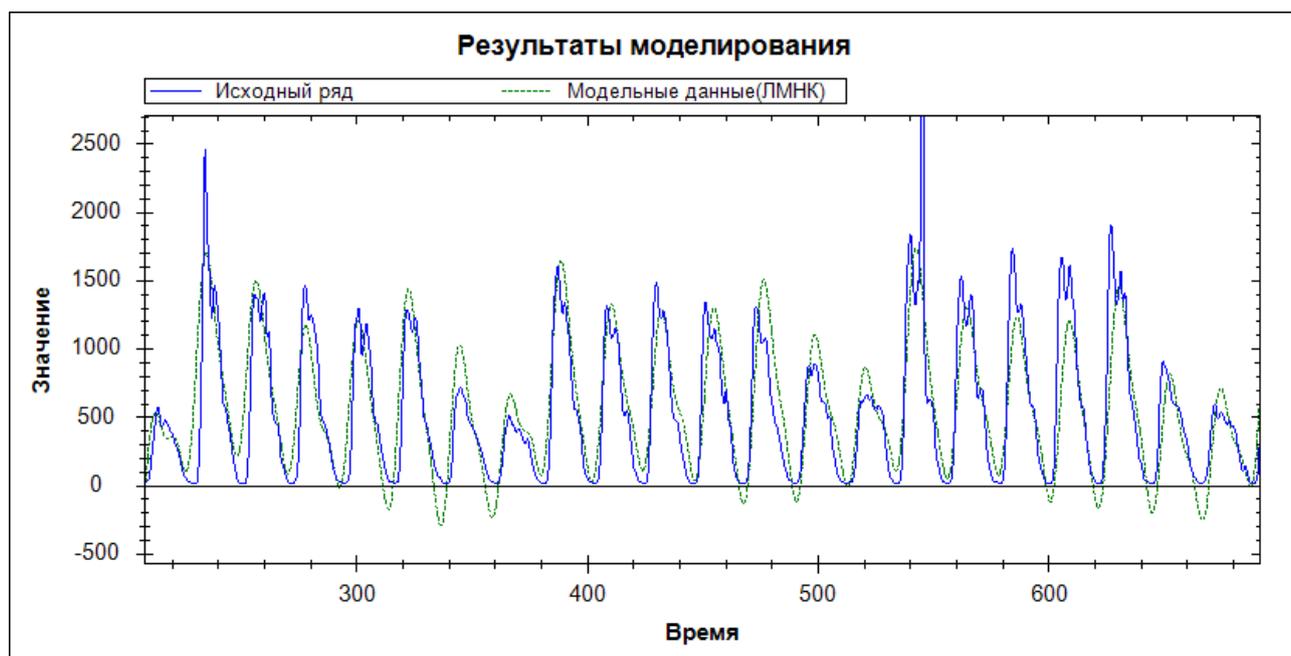


Рис. 3. Результаты моделирования

Применение различных методов определения параметров полигармонической модели позволяет добиться требуемой для прогнозирования точности.

Заключение

Применение полигармонических моделей, преимущество которых по сравнению с традиционным спектральным анализом заключается в том, что периоды определяемых периодических компонент не обязательно соизмеримы, позволяет эффективно решать различные задачи. Особенно удобными эти модели оказываются для прогнозирования почти периодических процессов.

Список литературы

1. Андреева С.М. Задача вскрытия периодичностей как задача нелинейной оптимизации // Электронный сборник докладов научной конференции, посвященной 55-летию ЛГТУ. Липецк: ЛГТУ, 2011.
2. Андреева С.М. Применение метода Голуба-Перейры для решения задачи вскрытия периодичностей // Материалы IX Всероссийской школы-семинара молодых ученых «Управление большими системами». Том 1. - Липецкий государственный технический университет. Тамбов-Липецк: Изд-во Першина Р.В., 2012. С. 23-25.
3. Блюмин С.Л., Миловидов С.П., Погодаев А.К. Нелинейный метод наименьших квадратов и псевдообращение: Учебное пособие. Липецк: ЛипПИ, 1992. 80 с.
4. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. М.: Мир, 1988. 440 с.
5. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, 1965. – 244с.

АЛГОРИТМ ВЫЧИЛЕНИЯ АНИЗОТРОПИЙНОЙ НОРМЫ ДЕСКРИПТОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОЙ ТЕОРЕМЫ

Аннотация

На основе анизотропийной частотной теоремы для дескрипторных систем разработан алгоритм вычисления a -анизотропийной нормы.

Введение

Анизотропийная теория занимает промежуточное положение между H_2 – и H_∞ – теориями, объединяя их преимущества, и предоставляет единый математический аппарат для анализа и синтеза систем управления. Обыкновенные системы являются частным случаем дескрипторных систем, поэтому, обобщая результаты анизотропийной теории на дескрипторные системы, можно расширить область ее применения. Разработанный алгоритм позволяет находить a -анизотропийную норму дескрипторной системы с наперед заданной точностью без использования формул в частотной области.

Дескрипторные системы

Дескрипторная система дискретного времени имеет вид:

$$\begin{aligned} Ex(k+1) &= Ax(k) + Bw(k), \\ y(k) &= Cx(k) + Dw(k), \end{aligned} \quad (1)$$

где $x(k) \in R^n$ – вектор состояния, $w(k) \in R^m$ – входной сигнал, $y(k) \in R^q$ – вектор наблюдения. Матрица $E \in R^{n \times n}$, $\text{rank}(E) = r \leq n$. Более подробно в [1], [2].

Определение 1. Пара (E, A) называется регулярной, если существует такое число λ , что $\det(\lambda E - A) \neq 0$.

Определение 2. Система (1) называется причинной, если ее решение $x(k)$ при начальных условиях $x(0)$ зависит только $w(k), \dots, w(0)$ и $x(k-1), \dots, x(0)$.

Определение 3. Обобщенным спектральным радиусом для пары (E, A) будем называть:

$$\rho(E, A) @ \max |\lambda| \Big|_{\lambda \in z | \det(zE - A) = 0}.$$

Определение 4. Система (1) называется устойчивой, если $\rho(E, A) < 1$.

Определение 5. Система (1) называется допустимой, если пара (E, A) является регулярной, а система (1) – причинной и устойчивой.

Определение 6. Под передаточной функцией системы (1) будем понимать комплекснозначную функцию, определяемую выражением

$$G(z) = C(zE - A)^{-1}B + D. \quad (2)$$

Средняя анизотропия и анизотропийная норма

Пусть $W = \{w_k\}_{k \geq 0}$ – стационарная последовательность интегрируемых с квадратом m -мерных случайных векторов, представляющих собой дискретные случайные процессы. Составим из элементов W на интервале времени $[0, N-1]$ случайный вектор,

$$W_{0:N-1} = \begin{bmatrix} w_0 \\ \vdots \\ w_{N-1} \end{bmatrix},$$

все конечномерные вероятностные распределения которого абсолютно непрерывны.

Определение 6. Анизотропией случайного вектора $W_{0:N-1}$ называют

$$A(W_{0:N-1}) = \frac{m}{2} \ln \left(\frac{2\pi e}{m} E(|W_{0:N-1}|^2) \right) - h(W_{0:N-1}),$$

где $h(W_{0:N-1}) = E \ln f(W_{0:N-1}) = - \int_{R^{mN}} f(w) \ln f(w) dw$ – дифференциальная энтропия, а $f: R^{mN} \rightarrow R_+$ – плотность распределения вероятности mN -мерного вектора $W_{0:N-1}$ относительно m -мерной лебеговой меры.

Определение 7. Средняя анизотропия последовательности W определяется выражением

$$\bar{A}(W) = \lim_{N \rightarrow +\infty} \frac{A(W_{0:N-1})}{N}. \quad (3)$$

Пусть W получается на выходе формирующего фильтра G из m -мерного дискретного гауссовского белого шума V . Передаточная функция фильтра $G(z) = C_g(zE_g - A_g)^{-1}B_g + D_g \in H_2^{m \times m}$. Средняя анизотропия стационарной гауссовской случайной последовательности $W = GV$ может быть посчитана по формуле:

$$\bar{A}(W) = - \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln \det \frac{m\hat{G}(\omega)\hat{G}^*(\omega)}{\|G\|_2^2} d\omega. \quad (4)$$

Она характеризует "цветность" сигнала, в данном случае это отличие от гауссовского белого шума. Более подробно в [3]–[5].

Пусть $Y = PW$ – выход линейной стационарной системы, $P \in H_{\infty}^{p \times m}$.

Определение 8. Для заданного $a \geq 0$ a -анизотропийная норма системы P определяется как

$$\|P\|_a = \sup \left\{ \|PG\|_2 / \|G\|_2 : G \in G_a \right\} \quad (5)$$

т.е. как наибольший коэффициент усиления (отношение среднеквадратических значений выхода Y и входного возмущения W) по отношению к классу формирующих фильтров

$$G_a = \{G \in H_2^{m \times m} : \bar{A}(G) \leq a\}$$

Таким образом, a -анизотропийная норма $\|P\|_a$ характеризует робастность системы P по отношению к случайному возмущению W , неточность знания статистических свойств которого описывается параметром a .

Постановка задачи

Для допустимой системы (1) и известной $\bar{A}(W) = a$ требуется вычислить a -анизотропийную норму. За основу для вычисления нормы будем использовать анизотропийную частотную теорему для дескрипторной системы.

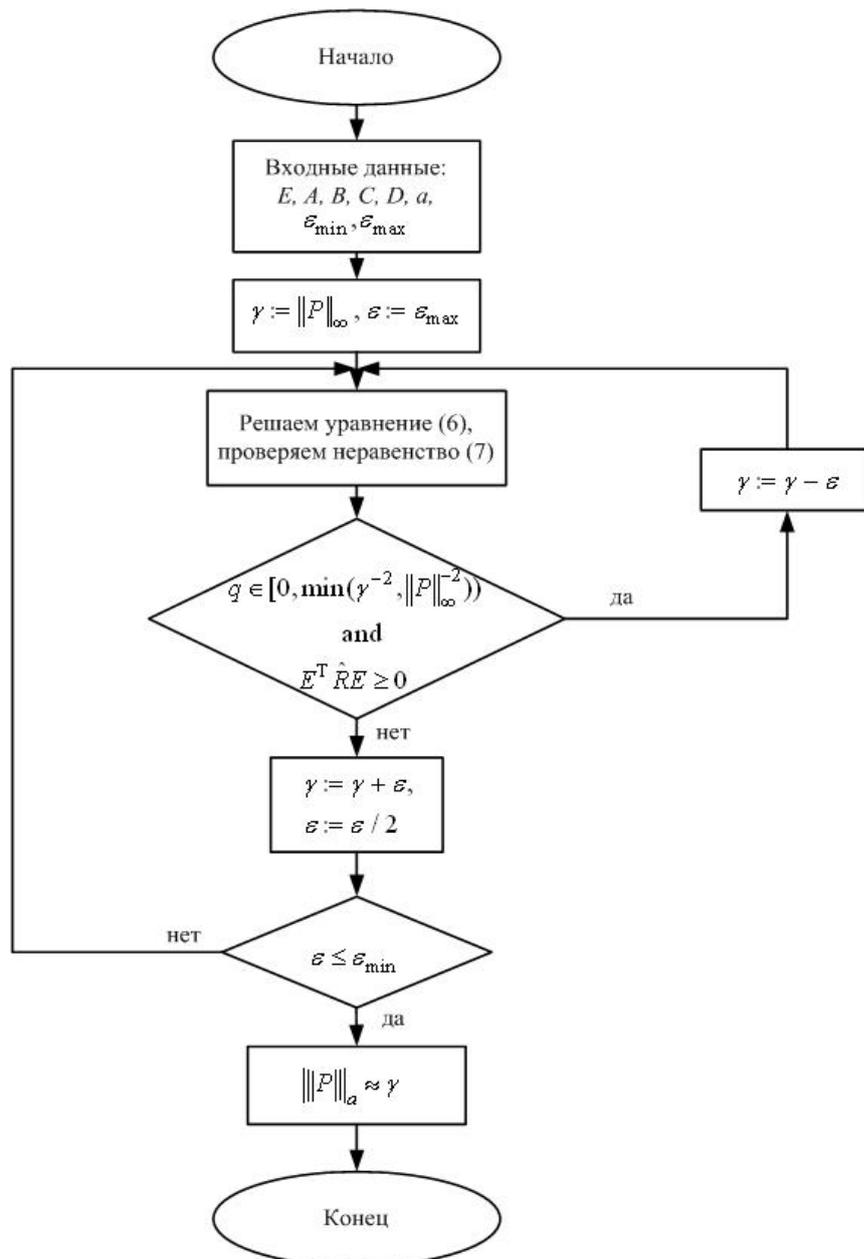


Рис. 1. Блок-схема алгоритма вычисления a -анизотропийной нормы

Теорема. Пусть $P \in H_{\infty}^{p \times m}$ – допустимая система с реализацией в пространстве состояний (1), где $(\rho(E, A) < 1)$. Для известных скалярных величин $a \geq 0$ и $\gamma > 0$ a -анизотропийная норма системы ограничена сверху числом γ , т.е. $\|P\|_a \leq \gamma$, если существует стабилизирующее решение $\hat{R} = \hat{R}^T$ обобщенного алгебраического уравнения Риккати

$$\begin{aligned} E^T \hat{R} E &= A^T \hat{R} A + q C^T C + L^T \Sigma^{-1} L, \\ L &= \Sigma (B^T \hat{R} A + q D^T C), \\ \Sigma &= (I_m - B^T \hat{R} B - q D^T D)^{-1} \end{aligned} \quad (6)$$

такое, что, а $q \in [0, \min(\gamma^{-2}, \|P\|_{\infty}^{-2})]$ удовлетворяет неравенству

$$-\frac{1}{2} \ln \det((1 - q\gamma^2) \Sigma) \geq a. \quad (7)$$

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма вычисления a -анизотропийной нормы дескрипторной системы. Легко видеть, что данный алгоритм может применяться также для вычисления нормы обыкновенной системы, когда $E=I$.

Список литературы

1. А.А. Белов, А.П. Курдюков. Вычисление анизотропийной нормы дескрипторной системы // *АиТ*. 2010. № 6. С. 51–63.
2. Dai L. *Singular Control Systems, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, New York, Springer-Verlag, 1989.
3. Diamond P., Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V. Anisotropy-based performance analysis of linear discrete-time-invariant control systems // *Int. J. of Control*, vol. 74, 2001. p. 28–42.
4. Kurdyukov A.P., Maximov E.A., and Tchaikovsky M.M. Anisotropy-based bounded real lemma // *Proc. 19th Int. Symp. of Mathematical Theory of Networks and Systems*. Budapest. Hungary. 2010. p. 2391–2397.
5. Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V. On computing the anisotropic norm of linear discrete-time-invariant systems // *Proc. 13th IFAC World Congress*, San-Francisco, CA, 1996. p. 179–184.

ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫЕ БИЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Аннотация

В докладе рассматривается итерационный метод оптимизации в линейных по состоянию и билинейных дискретно-непрерывных системах, основанный на достаточных условиях оптимальности Кротова [1, 2].

В наши дни наблюдается значительный интерес к исследованию и оптимизации систем неоднородной структуры, так называемых гибридных систем. В докладе рассматривается подход, основанный на разбиении дискретно-непрерывной системы на связанные между собой однородные подсистемы. Итерационные методы оптимизации для нелинейных двухуровневых дискретно-непрерывных систем описаны в [3].

1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу оптимального управления дискретно-непрерывной системой:

$$x(k+1) = A(k, u)x(k) + b(k, u), \quad (1)$$

$$\dot{x}^c = A^c(k, x, u^d, t, u^c)x^c + b^c(k, x, u^d, t, u^c), t \in [t_I, t_F], \quad (2)$$

$$I = c^T x(k_F) + d.$$

Для данной модели (1) – верхний дискретный уровень, в котором $k \in K = \{k_I, k_I + 1, \dots, k_F\}$ – номер шага, k_I, k_F – фиксированы, $x \in R^{m(k)}$ – дискретный фазовый вектор с заданным начальным условием $x(k_I)$, $u \in U(k) \subset R^{p(k)}$ – дискретный вектор управления.

Система (2) – нижний непрерывный уровень модели. Для нее $x^c \in R^{n(k)}$ – непрерывный фазовый вектор, $u^c \in U^c(k, t) \subset R^{q(k)}$ – непрерывный вектор управления, $x^c(t)$ – кусочно-гладкие, $u^c(t)$ – кусочно-непрерывные. Переменные верхнего уровня $k \in K' \subset K, k_F \notin K', x, u^d \in U^d(k) \subset R^{r(k)}$ входят в систему (2) как параметры. Обозначим $z = (k, x, u^d)$.

При $k \in K'$ оператор правой части (1) имеет вид: $\alpha(z)\gamma^c + \beta(z)$, где

$$\gamma^c = (t_I, x_I^c, t_F, x_F^c), t_I = \tau(z), x_I^c = \xi(z), t_F = \vartheta(z), x_F^c \in R^{m(k)},$$

функции $\tau(z), \xi(z), \vartheta(z)$ заданы.

Рассмотрим частный случай линейной дискретно-непрерывной системы (1) - (2):

$$x(k+1) = A_0(k)x(k) + b_0(k) + \sum_{j=1}^{p(k)} (A_j(k)x(k) + b_j(k))u^j, \quad (3)$$

$$\dot{x}^c = A_0^c(z,t)x^c + b_0^c(z,t) + \sum_{j=1}^{q(k)} (A_j^c(z,t)x^c + b_j^c(z,t))u_j^c, t \in [t_I, t_F]. \quad (4)$$

В постановке (3) – (4) система является билинейной.

В этом случае при $k \in K'$ оператор правой части (3) имеет вид:

$$\alpha_0(z)\gamma^c + \beta_0(z) + \sum_{j=1}^{p(k)} (\alpha_j(z)\gamma^c + \beta_j(z))u^j.$$

Дискретно-непрерывным процессом будем называть набор $m = (x(k), u(k))$, где при $k \in K'$: $m(k) = (u^d(k), m^c(k))$, m^c – непрерывный процесс $(x^c(t), u^c(t)), t \in T(z)$.

Обозначим через D множество допустимых дискретно-непрерывных процессов. Соответствующее допустимое множество непрерывных процессов обозначим через $D^c(z)$ для каждого набора z .

Выделим из данной задачи подзадачу улучшения. Пусть имеется допустимый, но не оптимальный процесс m_0 , требуется найти допустимый процесс m_1 , такой, что $I(m_1) < I(m_0)$. На каждой итерации метода решается такая подзадача улучшения текущего процесса, таким образом строится улучшающая последовательность процессов $\{m_s\}$, таких, что $I(m_{s+1}) < I(m_s)$.

2. Итерационный метод улучшения

Опишем для поставленной задачи метод последовательного улучшения, основанный на достаточных условиях оптимальности Кротова [1].

Введем в рассмотрение линейные функции φ, φ^c :

$$\varphi(k, x) = \psi(k)x, \varphi^c(z, t, x, x^c) = \psi^{cT}(z, t)x^c,$$

где $\psi(k)$ - произвольная, $\psi^c(z, t)$ - произвольная, кусочно-гладкая по t .

Рассмотрим лагранжиан:

$$L = G(x(k_F)) - \sum_{K \setminus K \setminus k_F} R(k, x(k), u(k)) + \\ + \sum_{K'} (G^c(z(k), \gamma^c(k)) - \int_{T(z(k))} R^c(z(k), t, x^c(t), u^c(t)) dt),$$

где при $k \in K \setminus K \setminus k_F$:

$$G(x) = c^T x + d + \psi^T(k_I)x,$$

$$R(k, x, u) = H - \psi^T(k_I)x,$$

где $H = \psi^T(k+1)(A(k, u)x(k) + b(k, u))$ для линейной системы,

$$H = \psi^T(k+1)(A_0(k)x(k) + b_0(k) + \sum_{j=1}^{p(k)} (A_j(k)x(k) + b_j(k))u^j) \text{ для билинейной}$$

системы;

при $k \in K'$:

$$G^c(z, \gamma^c) = -H + \psi^T(k)x + \psi^{cT}(z, t_F)x_F^c - \psi^{cT}(z, t_I)x_I^c,$$

$$t_I = \tau(z), t_F = \mathcal{G}(z), x^c = \xi(z),$$

$$R^c(z, t, x^c, u^c) = H^c + \dot{\psi}^{cT}(z, t)x^c,$$

где $H = \psi^T(k+1)(\alpha(z)\gamma^c + \beta(z))$,

$H^c(z, t, u^c, x^c) = \psi^{cT}(z, t)(A^c(z, t, u^c)x^c + b(z, t, u^c))$ для линейной системы,

$$H = \psi^T(k+1)(\alpha_0(z)\gamma^c + \beta_0(z) + \sum_{j=1}^{p(k)} (\alpha_j(z)\gamma^c + \beta_j(z)u^j),$$

$$H^c(z, t, u^c, x^c) = \psi^{cT}(z, t)(A_0^c(z, t)x^c + b_0^c(z, t) + \sum_{j=1}^{q(k)} (A_j^c(z, t)x^c + b_j^c(z, t)u_j^c)) \quad \text{ДЛЯ}$$

билинейной системы.

Лагранжиан L рассматривается на расширении E множества D и совпадает с исходным: $L(m) = I(m)$ при $m \in D$ и если $m^I, m^II \in D$ и $L(m^II) \leq L(m^I)$, то $I(m^II) \leq I(m^I)$.

Опишем процедуру улучшения, основанную на достаточных условиях оптимальности:

1) Задаем функции $\psi(k), \psi^c(z, t)$ так, что $L(m^I) = \sup_{m_x} m_x = (x(k), x^c(k, t))$.

2) Решаем исходную систему (1) - (2) ((3) - (4)) при управлениях

$$\tilde{u}(k, x) = \arg \max_{u \in U(k)} R(k, x(k), u(k)),$$

$$\tilde{u}^c(z, t, x^c) = \arg \max_{u^c \in U^c(k)} R^c(z, t, x^c, u^c),$$

$$\tilde{u}^d(k, x) = \arg \max_{u^d \in U^d(k)} \left(-G^c(z(k)) + \int_{T(z(k))} R^c(z(k), t, x^c(t), u^c(t)) dt \right),$$

определяем траектории $x^{II}(k)$, $x^{cII}(k, t)$ и управления $u^{II}(k) = \tilde{u}(k, x^{II}(k))$, $u^{cII}(k, t) = \tilde{u}^c(k, t, x^{cII}(k, t))$, $u^{dII}(k) = \tilde{u}^d(k, x^{II}(k))$. Таким образом, получаем улучшенный процесс $m^{II} \in D$.

Первый шаг метода, нахождение функций $\psi(k), \psi^c(z, t)$, сводится к решению задачи Коши для дискретно-непрерывной системы:

$$\psi(k_F) = -c, \psi(k) = H_x^I, k \in K \setminus K \setminus k_F, \quad (5)$$

$$\psi(k) = H_x + (H^z - \psi_z^c(k, t_F)x_F^c + \psi_z^c(k, t_I)x_I^c)z_x, \quad k \in K', \quad (6)$$

$$\dot{\psi}_0^c = -H_{x^c}^{cl}, \quad \dot{\psi}_z^c = -H_{x^c z}^{cl}, \quad (7)$$

$$\psi^c(k, t_F) = H_{x_F^c}, \quad \psi_z^c(k, t_F) = H_{x_F^c z}. \quad (8)$$

Итерация алгоритма улучшения имеет следующий вид:

1. Из системы (1) - (2) ((3) - (4)) при заданных начальных управлениях $u = u_s(k)$, $u^d = u_s^d(k)$, $u^c = u_s^c(k, t)$ находим траектории $x_s, x_s^c(k, t)$.

2. Решая задачу Коши (5) – (6) с известными траекториями и управлениями, строим сопряженные траектории $\psi(k), \psi^c(k, t)$.

3. Замыкая систему (1) – (2) ((3) – (4)) управлениями $\tilde{u}^d, \tilde{u}, \tilde{u}^c$ находим новый улучшенный процесс m_{s+1} и соответствующее значение функционала $I(m_{s+1})$.

Итерационный процесс заканчивается, когда $|I_{s+1} - I_s| \approx 0$ с заданной точностью.

Заключение

Предложенный алгоритм последовательного улучшения для линейных по состоянию и билинейных по управлению и состоянию дискретно-непрерывных систем является эффективным инструментом оптимизации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 12-01-00256-а.

Список литературы

1. Krotov V.F. Global Methods in Optimal Control Theory. Marcel Dekker Inc.: NY, 1996, 360 с.

2. Кротов В.Ф., Фельдман И.Н. Итерационный метод решения задач оптимального управления.// Техн. Кибернетика. 1983. №2, с. 160-168.

3. Расина И.В. Итерационные алгоритмы оптимизации дискретно-непрерывных процессов.//Автоматика и Телемеханика. 2012. №9.

УДК 519.7

А.А. Белов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

ВЫЧИСЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИЙНОЙ НОРМЫ ДЕСКРИПТОРНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНЫХ МАТРИЧНЫХ НЕРАВЕНСТВ

Аннотация

В терминах линейных матричных неравенств получены условия ограниченности анизотропийной нормы дескрипторной системы. Предложен алгоритм вычисления анизотропийной нормы. Приводится пример.

Введение

Дескрипторные системы содержат в себе как динамические, так и алгебраические уравнения, и находят применение в различных прикладных задачах, например, химической промышленности, электронике, механике, энергетике и т.д. [1]. Возросший практический интерес к дескрипторным системам и их существенное отличие от обыкновенных систем явились толчком к разработке и развитию алгоритмов и методов для анализа и синтеза управления [2].

Некоторые методы анализа и синтеза для дискретных дескрипторных систем требуют решения обобщенных алгебраических уравнений Риккати,

которые не всегда могут быть решены численными методами. Поэтому задача использования методов выпуклой оптимизации для решения подобных задач является актуальной. Данная работа посвящена решению задачи анизотропийного анализа дескрипторных систем с использованием методов выпуклого программирования.

Теоретические сведения

Уравнения дискретной дескрипторной системы в пространстве состояний имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} Ex(k+1) &= Ax(k) + Bf(k), \\ y(k) &= Cx(k) + Df(k). \end{aligned} \quad (1)$$

E, A, B, C, D - постоянные матрицы соответствующих размерностей, $\text{rank}(E) = nf < n$.

Система (1) является регулярной, если существует отличное от нуля число z такое, что $\det(zE - A) \neq 0$. Система называется устойчивой, если $\rho(E, A) < 1$, где $\rho(E, A)$ - обобщенный спектральный радиус, определяемый выражением [2]:

$$\rho(E, A) = \max_{\lambda \in z | \det(zE - A) = 0} |\lambda|$$

Система называется причинной, если ее текущее состояние $x(k)$ зависит только от $x(k-1), \dots, x(0)$ и $f(k), f(k-1), \dots, f(0)$. Система называется допустимой, если она является регулярной, причинной и устойчивой.

Передаточная функция системы (1) определяется выражением

$$F(z) = C(zE - A)^{-1}B + D \quad (2)$$

Пусть на систему действует случайное воздействие W , получаемое из белого шума V с единичной ковариационной матрицей и нулевым средним посредством генерирующего фильтра $G(z) \in H_2$ (с реализацией (E, A, B, C, D) в пространстве состояний). Спектральная плотность фильтра определяется выражением:

$$S_G(\omega) = G(e^{j\omega})G^*(e^{j\omega}). \quad (3)$$

Средняя анизотропия последовательности $W = G \otimes V$ может быть найдена по формуле [3],[4]:

$$\bar{A}(w) = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln \det \frac{mS(\omega)}{\|G(\omega)\|_2^2} d\omega. \quad (4)$$

Фильтр $G(z)$ называется наилучшим, если он максимизирует спектральную плотность на выходе системы F , взвешенной фильтром G ($\max S_{FG}(\omega) = FG(e^{j\omega})(FG)^*(e^{j\omega})$).

Анизотропийная норма системы $F(z)$ определяется выражением

$$\|F\|_a = \sup \left\{ \frac{\|FG\|_2}{\|G\|_2} : G \in G_a = \{\bar{A}(G_a) \leq a\} \right\}, \quad (5)$$

где $G_a = \{\bar{A}(G_a) \leq a\}$ - множество наихудших фильтров.

Постановка задачи. Основной результат

Система задана в пространстве состояний в виде:

$$\begin{aligned} Ex(k+1) &= Ax(k) + Bw(k), \\ y(k) &= Cx(k) + Dw(k). \end{aligned} \quad (6)$$

Пусть система (6) является допустимой, $w(k) \in \mathbf{R}^m$ – стационарная гауссовская последовательность с известным неотрицательным уровнем анизотропии $a \geq 0$. Требуется установить, при каких условиях a -анизотропийная норма системы (6) ограничена неотрицательным числом γ .

Основной результат сформулирован в виде теоремы.

Теорема 1. Пусть выполняется предположение:

$$\text{rank}(E) = \text{rank}([E \ B]), \quad (7)$$

тогда $\|F\|_a \leq \gamma$, если существует скаляр $q \in (0, \min(\gamma^{-2}, \|F\|_\infty^{-2}))$ матрица $R = R^T$ такая, что справедливы неравенства:

$$\begin{aligned} ERE^T &\geq 0, \\ -(\det(I_m - B^T RB - qD^T D))^{1/m} &< -(1 - q\gamma^2)e^{2a/m}, \\ \begin{bmatrix} A^T RA - E^T RE & A^T RB \\ B^T RA & B^T RB - I_m \end{bmatrix} + q \begin{bmatrix} C^T \\ D^T \end{bmatrix} [C \ D] &< 0. \end{aligned}$$

Теорема 1 дает достаточные условия ограниченности a -анизотропийной нормы дескрипторной системы заданным числом γ .

Так как во втором неравенстве содержится произведение q и γ^2 , прямое применение методики для вычисления a -анизотропийной нормы невозможно, но если ввести обозначения $\eta = q^{-1}$, $\xi = \gamma^2$ и $\Phi = \eta R$, то полученные неравенства запишутся в виде:

$$\eta - (e^{-2a} \det(\eta I_m - B^T \Phi B - D^T D))^{1/m} \leq \xi, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} A^T \Phi A - E^T \Phi E + C^T C & A^T \Phi B + C^T D \\ B^T \Phi A + D^T C & B^T \Phi B + D^T D - \eta I_m \end{bmatrix} < 0, \quad (9)$$

$$E^T \Phi E \geq 0. \quad (10)$$

Полученные неравенства позволяют сформулировать задачу вычисления a -анизотропийной нормы дескрипторной системы в виде:

Найти $\xi_* = \inf \xi$ на множестве $\{\Phi, \eta, \xi\}$ при ограничениях (8)-(10).

При этом $\|F\|_a \leq \sqrt{\xi_*}$

Пример

Вычислим анизотропийную норму системы:

$$E = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 2 & -5 \\ 0 & 3 & -2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & -2 \\ 2 & -4 & 4 & -6 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0.7 & -3.25 & -0.7 & 0 \\ 1.8 & 0.4 & -6.4 & 2.6 \\ 1 & -1.9 & -5.4 & 2.4 \\ -0.6 & -2.7 & 5.4 & -2.8 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 3.2 & -3.5 \\ 2.5 & -7.9 \\ 3.8 & -7.6 \\ -1.2 & 8.2 \end{bmatrix},$$
$$C = [0.2 \quad 0.4 \quad 0.45 \quad 0.6], D = [0.2 \quad 1].$$

Вычисление α -анизотропийной нормы будем проводить с использованием ЛМН и на основе алгоритма из [5], результаты представлены на рис. 1.

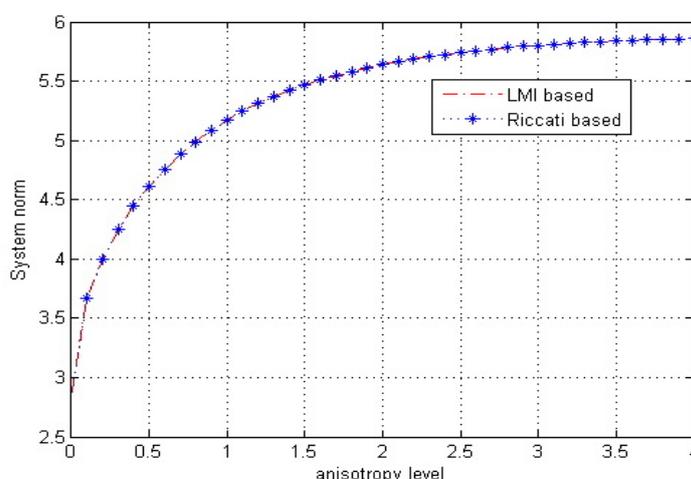


Рис. 1. α -анизотропийная норма системы в зависимости от уровня α

Список литературы

1. L. Dai. Singular Control Systems / Lecture Notes in Control and Information Sciences, New York, Springer-Verlag, 1989.
2. S. Xu and J. Lam. Robust Control and Filtering of Singular Systems / Lecture Notes in Control and Information Sciences, Berlin, Springer-Verlag, 2006.
3. A.V. Semyonov, I.G. Vladimirov, and A.P. Kurdjukov. Stochastic approach to H_∞ -optimization // Proc. 33rd IEEE Conf. Decision and Control, Florida, 1994, vol. 3, pp. 2249-2250.
4. I.G.Vladimirov, A.P.Kurdjukov, and A.V.Semyonov. Anisotropy of Signals and the Entropy of Linear Stationary Systems // Doklady Math., vol. 51, 1995, pp. 388-390.
5. A.A. Belov, A.P. Kurdjukov. Calculation of the anisotropic norm of the descriptor system // Automation and Remote Control, 2010, vol 6, pp. 51-63.

ИТЕРАЦИОННОЕ ОБУЧАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ДИСКРЕТНОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ И ПОТЕРЕЙ ПАКЕТОВ ДАННЫХ

Аннотация

Рассматривается сетевая дискретная система с итерационным обучающим управлением, в которой датчик, регулятор и исполнительное устройство обмениваются данными через сетевой канал связи. Решается задача стабилизации системы в условиях возможного появления запаздывания передачи данных и потерей пакетов данных в сетевом канале. Для однопакетной передачи данных даются достаточные условия стабилизации системы в терминах линейных матричных неравенств.

Введение

Одной из востребованных в настоящее время задач является построение и реализация алгоритмов управления с итерационным обучением, обеспечивающее достижение системой заданной траектории за конечное время. Итерационное обучающее управление использует информацию с предыдущих итераций для формирования сигнала управления в попытке уменьшить ошибку слежения на следующей итерации. Примерами таких систем являются робот-манипулятор, процессы серийного производства, системы слежения и т.п.

Новой задачей является синтез итерационного обучающего управления для дискретной сетевой системы [1], компоненты которой обмениваются данными через сетевой канал связи, в котором возможно запаздывание передачи пакета данных и его потеря.

В данной работе предлагается $2D$ модель стохастической системы с марковскими переменными для описания дискретной сетевой системы с итерационным обучением, запаздыванием и потерей пакетов данных.

Постановка задачи

Итерационное обучение можно представить как двумерный динамический процесс [2]. Первый процесс отражает динамику системы во времени. Второй процесс отражает динамику итерационного обучения:

$$\begin{cases} x(t+1, k) = Ax(t, k) + Bu(t, k) \\ y(t, k) = Cx(t, k) \end{cases}, \quad (1)$$

где t - дискретное время, k - номер шага обучения, $x \in R^n$ - вектор состояния, $y \in R^p$ - выходной вектор, $u \in R^m$ - входной вектор управления, A, B, C - действительные матрицы соответствующей размерности.

Алгоритм итерационного обучения состоит в следующем. На каждом шаге обучения все доступные измерению переменные запоминаются и затем используются на следующем шаге для модификации управления и достижения заданной траектории системы. Закон итеративного обучающего управления представляется в виде:

$$\begin{aligned} u(t, k) &= u(t, k - 1) + \Delta u(t, k - 1) \\ e(t, k) &= y_r(t) - y(t, k) \end{aligned} \quad (2)$$

где Δu обозначает модификацию сигнала управления, $e(t, k)$ – ошибка на k -й итерации, $y_r(t)$ – желаемая траектория системы.

Рассматривается сетевая система управления с однопакетной передачей информации, которая подразумевает, что данные объединяются в один сетевой пакет и передаются одновременно через дискретные промежутки времени. Сетевая архитектура представлена на рисунке 1.

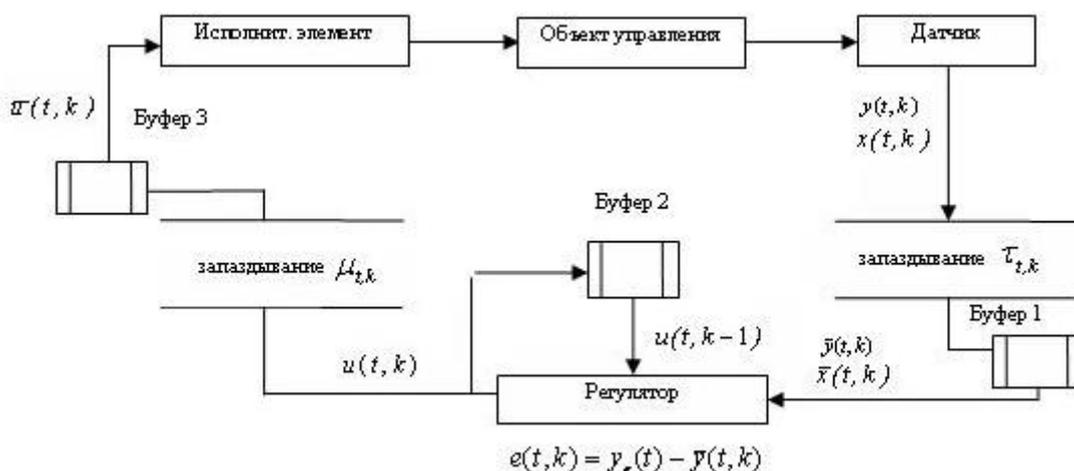


Рис. 1. Сетевая система управления с итеративным обучением

Методы исследования

Для системы (1) разработана модель сетевой системы с запаздыванием передачи данных $\tau_{t,k}$ и $\mu_{t,k}$ на основе расширения векторов состояний системы и сведения системы к двумерной модели Роессера, где $\tau_{t,k}$ и $\mu_{t,k}$ рассматривалась относительно шага итерационного обучения k . Модель передачи пакета данных позволяет включить потери пакетов данных в модель запаздывания и рассматривать систему с запаздыванием.

Запаздывание итерационного обучения $\tau_{t,k}$ ($0 < \tau_{t,k} < d_1$, $\tau_{t,k} \in Z_+$, $d_1 \in Z_+$) и $\mu_{t,k}$ ($0 < \mu_{t,k} < d_2$, $\mu_{t,k} \in Z_+$, $d_2 \in Z_+$) описывается с помощью однородных марковских цепей со значениями $H_1 = \{0, 1, 2, \dots, d_1\}$ и $H_2 = \{0, 1, 2, \dots, d_2\}$ матрицами вероятности P и Π . Вероятность перехода $\tau_{t,k}$ (переход из состояния i в j) в дискретный момент времени t_1 определяются как:

$$p_{ij} = P_{ij} = P(\tau_{t,k+1} = j | \tau_{t,k} = i), \quad (3)$$

где $p_{ij} \geq 0$, $i, j \in H_1$, $\sum_{j=0}^{d_1} p_{ij} = 1$.

Вероятность перехода $\mu_{t,k}$ (переход из состояния r в s) в дискретный момент времени t_2 определяются как:

$$\pi_{rs} = \Pi_{rs} = \Pi(\mu_{t,k+1} = s | \mu_{t,k} = r), \quad (4)$$

где $\pi_{rs} \geq 0$, $r, s \in H_2$, $\sum_{s=0}^{d_2} \pi_{rs} = 1$.

Приращение итеративного обучающего управления, с учетом $\tau_{t,k}$, формируем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{u}(t, k) &= \Delta u(t-1, k - \tau_{t-1, k} - \mu_{t-1, k}) = \\ &= K_1(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1}) \bar{\eta}(t, k) + K_2(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1}) e(t, k - \tau_{t, k} - \mu_{t, k}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{\eta}(t, k) = \eta(t, k - \tau_{t, k}) = x(t-1, k+1 - \tau_{t-1, k+1}) - x(t-1, k - \tau_{t-1, k})$.

Полученная модель системы имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \bar{\eta}(t+1, k) \\ \bar{e}(t, k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + BK_1(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1}) & BK_2(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1})V(\tau_{t, k}, \mu_{t, k}) \\ -D - ERK_1(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1}) & F - ERK_2(\tau_{t, k}, \mu_{t, k - \tau_{t, k} - 1})V(\tau_{t, k}, \mu_{t, k}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\eta}(t, k) \\ \bar{e}(t, k) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \begin{bmatrix} -CA \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{E} = \begin{bmatrix} CB & \dots & 0_{p \times m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0_{p \times m} & \dots & 0_{p \times m} \end{bmatrix}, \quad \bar{F} = \begin{bmatrix} I_{p \times p} & 0_{p \times p} & \dots & 0_{p \times p} & 0_{p \times p} \\ I_{p \times p} & 0_{p \times p} & \dots & 0_{p \times p} & 0_{p \times p} \\ 0_{p \times p} & I_{p \times p} & \dots & 0_{p \times p} & 0_{p \times p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0_{p \times p} & 0_{p \times p} & \dots & I_{p \times p} & 0_{p \times p} \end{bmatrix}, \\ V(\tau_{t, k}, \mu_{t, k}) &= \begin{cases} \begin{bmatrix} I_{p \times p(d_1+d_2+1)} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, & \tau_{t, k} + \mu_{t, k} = 0 \\ \begin{bmatrix} 0 & \dots & I_{p \times p(d_1+d_2+1)} & \dots & 0 \end{bmatrix}, & \tau_{t, k} + \mu_{t, k} > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Основные результаты

$$\text{Обозначим } \Phi(i, r, h) = \begin{bmatrix} A + BK_1(i, r) & BK_2(i, r)V(i, h) \\ -D - ERK_1(i, r) & F - ERK_2(i, r)V(i, h) \end{bmatrix},$$

$i = 1, 2, \dots, d_1$, $r = 1, 2, \dots, d_2$, $h = 1, 2, \dots, d_2$.

Теорема 1:

Стохастическая система Роессера с марковскими переменными (6) устойчива, если существуют матрицы $P(i, r) = \text{diag}\{P_1, P_2(i, r)\} > 0$, $i = \tau_{t, k} = \{0, 1, 2, \dots, d_1\}$, $r = \mu_{t, k} = \{0, 1, 2, \dots, d_2\}$ и выполняются следующие матричные неравенства:

$$L(i,r) = \Phi(i,r,h)^T P(j)\Phi(i,r,h) - P(i,r) < 0 \quad (7)$$

$$P(j,s) = \text{diag} \left\{ P_1, \sum_{j=0}^{d_1} \sum_{h=0}^{d_2} \sum_{s=0}^{d_2} p_{ij} \Pi_{rs}^{l+i-j} \Pi_{sh}^j P_2(j,s) \right\},$$

$$P_1 = P_1^T > 0, P_2(i,r) = P_2(i,r)^T > 0.$$

Теорема 2:

Стохастическая система Роессера с марковскими переменными (6) устойчива, если \exists симметричные матрицы $X_1 > 0$, $X_2(i,r) > 0$, $i = \tau_{t,k} = \{0,1,2,\dots,d_1\}$, $r = \mu_{t,k} = \{0,1,2,\dots,d_2\}$, $T_1(i,r) > 0$, $T_2(i,r) > 0$, $Z = \text{diag}\{X_1, X_2(0,0), \dots, X_2(d_1, d_2)\} > 0$, такие что выполняются следующие линейные матричные неравенства:

$$\begin{bmatrix} -X(i,r) & W^T(i,r) \\ W(i,r) & -Z \end{bmatrix} < 0, \quad (8)$$

$$V(i,h)X_2(i,r) = Y(i,r,h)V(i,h) \quad (9)$$

где $X = \text{diag}\{X_1, X_2(i,r)\}$, $W(i,r) = [W(i,r,0)^T \ W(i,r,1)^T \ \dots \ W(i,r,d_2)^T]$
 $W(i,r,h) = N(i,r,h)\bar{\Phi}(i,r,h)$

$$\bar{\Phi}(i,r,h) = \begin{bmatrix} AX_1 + BT_1(i,r) & BT_2(i,r,h)V(i,h) \\ -DX_1 - ERT_1(i,r) & FX_2(i,r) - ERT_2(i,r,h)V(i,h) \end{bmatrix},$$

$$N(i,r,h) = \begin{bmatrix} \sqrt{I/d_2 + 1} I & 0 \\ 0 & Q(i,r,h) \end{bmatrix},$$

$$Q(i,r,h) = [Q(i,r,h,0) \ Q(i,r,h,0) \ \dots \ Q(i,r,h,d_1)],$$

$$Q(i,r,h,j) = \sqrt{\lambda_{ij}} \left(\sqrt{\pi_{r0}} \sqrt{\bar{\pi}_{0h}} I \ \dots \ \sqrt{\pi_{rd_2}} \sqrt{\bar{\pi}_{d_2h}} I \right), \pi_{rs} = \Pi^{l+i-j}, \bar{\pi}_{rs} = \Pi^j,$$

Матрицы управления $K_1(i)$ и $K_2(i)$ могут быть вычислены как:

$$K_1(i,r) = T_1(i,r)X_1^{-1}, K_2(i,r) = T_2(i,r,h)Y(i,r,h)^{-1}. \quad (10)$$

Список литературы

1. Валов С. А. Стабилизация 2D-системы итеративного обучающего управления при передаче данных по каналу сети со случайным запаздыванием и потерей пакетов данных. // Управление большими системами. Выпуск 41. М.: ИПУ РАН, 2013. С.113-145.
2. Kurek J.E., Zaremba M.B. Iterative Learning Control Synthesis Based on 2-D System Theory. // IEEE Transactions On Automatic Control. 1993. V. 38. No. 1. P. 121-125.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С УЧЕТОМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Аннотация

В данной статье описан программный продукт, который позволяет находить численное решение задач Коши для дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом и визуализировать результаты расчетов.

Введение

Материальные запасы играют важную роль в экономике. Они призваны обеспечить непрерывность и высокие темпы расширенного воспроизводства. Затраты, связанные с запасами, являются достаточно весомой составляющей себестоимости продукции. В этой связи, основной целью научного управления запасами является определение оптимальных размеров запасов и графика поставок их обеспечивающего [1,2]. Для достижения данной цели эффективным инструментом являются методы математического моделирования.

Построению моделей управления запасами посвящено множество научных работ [3,4]. При этом модели в большинстве являются дискретными, что оправдано предположением о дискретности поставок. Однако возможны ситуации, в которых поставки осуществляются непрерывным образом. Модели управления запасами в непрерывной постановке рассматриваются, например, в работе [5]. При этом математическое описание системы производится с помощью аппарата обыкновенных дифференциальных уравнений (Ordinary Differential Equations, ODE). Модели управления запасами в непрерывной постановке с использованием аппарата обыкновенных дифференциальных уравнений могут быть рекомендованы к использованию в тех случаях, когда поставки осуществляются малыми партиями через малые промежутки времени, либо поставки осуществляются посредством трубопроводного транспорта, и в других им подобных случаях.

В процессе управления запасами зачастую необходимо принять во внимание наличие временной задержки между принятием управленческого решения и его практической реализацией. В связи с этим, в работах [6,7] авторами данной статьи ранее были предложены модели, которые описываются дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом (Delay Differential Equations, DDE) [8], имеющие следующий вид:

$$y''(t) + a_0 y'(t - \tau_1) + a_1 y(t - \tau_2) = -x'(t); \tau_1 > 0, \tau_2 > 0. \quad (1)$$

Здесь $x(t)$ – интенсивность расхода ресурса, $y(t)$ – текущий его запас (причем отрицательное значение $y(t)$ означает дефицит), a_0, a_1, τ_1, τ_2 – положительные константы. Здесь мы предполагаем, что величина запаздывания реакции системы на изменение запаса τ_2 и на скорость его изменения τ_1 может быть различной.

Далее в работе описан разработанный в среде Matlab 7.0 программный продукт, который позволяет находить численное решение дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом вида (1), а также представлять таблицы и графики по результатам расчетов.

Численный метод в среде MatLab

В данном разделе будем рассматривать численные методы решения дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом в среде MatLab [9]. Рассмотрим задачу Коши для DDE вида

$$y'(t) = f(t, y(t), y(t - \tau_1), y(t - \tau_2), \dots, y(t - \tau_k)), \quad (2)$$

$$y(t) = \varphi_0(t) \text{ при } t_0 - \tau \leq t \leq t_0, \quad (3)$$

где τ_j – постоянные запаздывания, $\tau = \max(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k) > 0$; $\varphi_0(t)$ – дифференцируемая функция, заданная на отрезке $[t_0 - \tau, t_0]$.

Для решения DDE вида (2) с набором положительных фиксированных запаздываний $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ предназначена функция *dde23*, имеющая вид

$Sol = dde23(@ddefun[\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k], @history, [t_0, t_1])$, где:

- *@ddefun* – указатель на функцию вычисления правой части (2), к которой процедуры интегрирования обращаются с тремя аргументами (текущее время t , вектор текущего решения y и вектор запаздывающих значений $z = (y(t - \tau_1), y(t - \tau_2), \dots, y(t - \tau_k))$);
- $(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k)$ – вектор постоянных запаздываний;
- *@history* – указатель на функцию, задающую значения запаздывающих аргументов $y(t)$ при $t < t_0$. В частном случае этим параметром может быть вектор-столбец, если начальные значения являются константами;
- $[t_0, t_1]$ – промежуток интегрирования ($t_0 < t_1$);
- *Sol* – структура, в которой выдается решение. Ее поле *Sol.x* содержит последовательность времен t_i , в которых найдены приближенные значения вектора y . Найденное решение $y(t_i)$ выдается в поле *Sol.y*.

Программная реализация

Созданная программная система реализована на языке программирования MatLab. Она позволяет находить решение дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом, с численным и графическим представлением результатов, при этом используются следующие встроенные функции:

- *ode23()* реализует численные методы решения дифференциальных уравнений с автоматическим выбором шага;

- *dde23()* реализует численные методы решения дифференциальных уравнений с запаздыванием и автоматическим выбором шага;
- *plot(x,y)* позволяет строить график при задании функции $y=f(x)$ в аналитическом виде, в виде вектора или матриц;
- *max,min* позволяет определить максимальный и минимальный элемент в массиве;
- *fwrite()* позволяет записать матрицы в файл;
- *fopen()* позволяет открыть файл на запись.

Созданная программная реализация выполняет следующие функции:

- решение дифференциальных уравнений второго порядка;
- решение дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом второго порядка;
- построение графиков решений;
- определение интегральной оценки;
- определение времени переходного процесса;
- определение амплитуды и периода колебаний в стационарном режиме;
- чтение данных из файла;
- запись решений дифференциальных уравнений в файл.

На рис. 1. представлена блок-схема разработанной авторами программной системы.

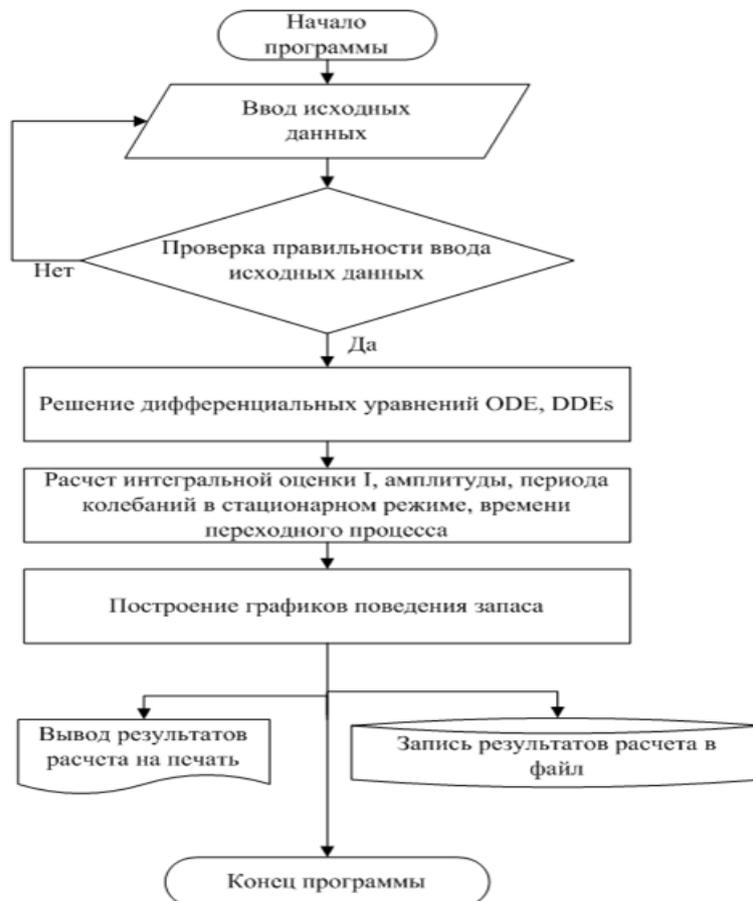


Рис. 1. Блок-схема работы программного продукта

Заключение

В работе описан программный продукт, который используется при численном исследовании модели управления запасами с учетом запаздывания, построенной с использованием дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом (DDE), благодаря чему удалось учесть наличие временной задержки между принятием управленческого решения и его практической реализацией. Программный продукт позволяет находить и визуализировать решения задач Коши для исследуемых DDE второго порядка, а также строить решения соответствующих обыкновенных дифференциальных уравнений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты №№ 11-07-00245, 12-07-31116.

Список литературы

1. Букан Дж., Кенигсберг Э. Научное управление запасами. – М.: Наука, 1967. – 424 с.
2. Стерлигова А. Н. Управление запасами в целях поставок. – М.: Инфра-М, 2008. – 430 с.
3. Кохно П.А., Микрюков А.Д. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. – М.: Финансы, 2003. – 325с.
4. Гасратов М.Г. Математическая модель управления материальными запасами в случае ценовой конкуренции // Вестник С.-Петер. Ун-та. Сер.10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. 2007. Вып.3. С. 9-18.
5. Колемаев В.А. Экономико - математическое моделирование: Моделирование макроэкономических процессов систем. – М.: Юнити-Дана, 2005. – 295 с.
6. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Фунг Тхе Бао. Математическая модель управления запасами (поставками) с учетом запаздывания // Вестник ИрГТУ. 2012. № 4(63). С. 131–137.
7. Казаков А.Л., Фунг Тхе Бао. Построение и численное исследование математической модели управления запасами с учетом запаздывания / Сборник трудов XVII Байкальской Всероссийской конференции. –Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. –Том 1, С. 125-132.
8. Мышкис А.Д. Линейные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом. – М.: Наука, 1972. –352 с.
9. Shampine L.F., Thompson S. Solving DDEs in Matlab // App. Numer. Math., 2001. № 37. P. 441–458.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНВЕЙЕРНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИЙ

Аннотация

В докладе рассмотрено применение описания деятельности компании посредством конвейерных бизнес процессов для оптимизации её деятельности. Описан способ оптимизации путем распараллеливания выполнения операций конвейера, и математически доказана применимость этого способа для частного случая конвейера.

Введение

Перед руководством любой стремящийся к сохранению и улучшению своих позиций на рынке компании постоянно стоит задача оптимизации её деятельности. При этом подавляющее большинство процессов широкого круга компаний можно представить в виде того или иного конвейера или, выражаясь научно, конвейерного бизнес процесса. Конвейерные бизнес процессы, например, можно использовать для описания следующей деятельности организации: производство определенного продукта; транспортировка продукции; оказание типизированной услуги. Поэтому представляется разумным исследовать возможность применения конвейерных бизнес процессов для описания и оптимизации работы компаний.

Теперь определимся с тем, какие процессы следует считать конвейерным. Предлагаются следующие характерные свойства конвейерного процесса [1]:

1. Каждая операция осуществляется собственным «механизмом реализации» (например, рабочим).

2. Каждая операция начинается после того, как завершается предыдущая (обработав один комплект деталей, рабочий приступает к следующему).

3. Каждая операция начинается после того, как завершится обработка текущего комплекта, и поступит комплект от предшествующей операции.

С формальной точки зрения любой конвейерный процесс можно представить в виде конечного ориентированного ациклического графа.

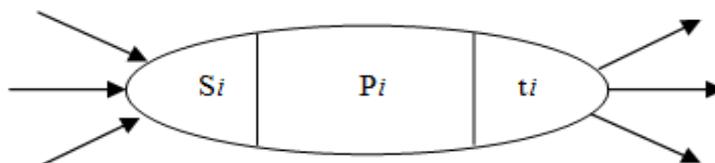


Рис. 1. Вершина ациклического графа, определяющего конвейер

Такой граф в общем случае может иметь несколько входных и выходных вершин, и каждая его вершина имеет структуру, представленную на рисунке 1. Здесь P_i – идентификатор некоторой операции; t_i – время выполнения операции и S_i – некоторая вычислимая спусковая функция, определяющая время начала выполнения операции. При этом каждая операция конвейера реализуется своим исполнительным механизмом. Дуги же такого графа определяют отношения предшествования операций. Момент времени начала выполнения операции вычисляется исходя из отношений предшествования, определяемых входными дугами и спусковой функцией. После выполнения операции через время t_i снова вычисляется спусковая функция и заново запускается выполнение операции.

Эти действия повторяются до бесконечности или до остановки конвейера. Конкретное определение спусковой функции зависит от типа конвейера и наличия в нем условий типа OR (когда следующая операция начинает выполняться по завершении хотя бы одной из предшествующих конкретно ей операций) и AND (когда следующая операция начинает выполняться по завершении всех предшествующих конкретно ей операций).

Оптимизация конвейерного бизнес процесса

Производительность конвейера зависит от многих факторов: начиная сложностью его устройства и заканчивая длительностью выполнения каждой конкретной операции. Основной задачей оптимизации при этом является сокращение интервала конвейера – промежутка времени, за который с конвейера сходит единица продукции. В данном докладе будет рассмотрен подход к уменьшению интервала конвейера посредством распараллеливания работы конвейера.

При оптимизации путем распараллеливания необходимо подобрать такое количество исполнителей каждой операции, чтобы в стационарном режиме работы ни один из них не простаивал. Этого можно добиться, если каждая операция будет начинаться и завершаться через одинаковый строго определенный интервал времени. Более того, в таком случае операции OR и AND утрачивают свое значение и могут быть удалены из структуры конвейера.

В рамках данного доклада за интервал выполнения операции примем наименьший общий делитель длительностей всех операций конвейера, который обозначим за t_{\min} . При этом необходимо исходить не из текущей длительности операций, а из их предполагаемого времени выполнения после оптимизации конвейера посредством сокращения длительности его операций (если таковая предполагается). Теперь найдем необходимое для устранения простоев количество исполнителей каждой операции, вычисляемое по формуле:

$$k_i = \frac{t_i}{t_{\min}}, \quad (1)$$

Стоит отметить, что в данном случае все k_i (далее будем называть их коэффициентами распараллеливания) будут исключительно целыми.

Оценка экономического эффекта от оптимизации конвейерного бизнес процесса

Теперь составим уравнение, позволяющее оценить экономический эффект от оптимизации конвейерного бизнес процесса посредством распараллеливания. Но для начала введём несколько обозначений: E – полезный выход от работы конвейера (вычисляется как суммарная стоимость произведенного товара за вычетом расходов на его производство); $D(K)$ – интервал конвейера; T – общее время работы конвейера; p – стоимость единицы продукции, выпускаемой конвейером; v – затраты на материалы, требующиеся для производства единицы продукции, выпускаемой конвейером; t_i – время выполнения i -ой операции конвейера; τ_i – время простоя исполнителя i -ой операции конвейера между двумя циклами конвейера; k_i – коэффициент распараллеливания i -ой операции. C_i – заработная плата в единицу времени исполнителя i -ой операции конвейера.

Запишем уравнение для полезного выхода от работы конвейера до оптимизации (индексом o обозначены параметры конвейера до оптимизации):

$$E^o = \frac{T^o}{D(K^o)} \times p - \sum_i C_i \times T^o - \frac{T^o}{D(K^o)} \times v, \quad (2)$$

Первый член правой части равенства – это суммарная стоимость всей продукции, произведенной за время T^o . Вторым и третьим членами правой части уравнения – это переменные издержки на производство продукции – зарплату работников и расходы на материалы соответственно. В данное выражение не включены постоянные издержки (они считаются равными нулю), поскольку в этом докладе рассматривается оптимизация переменных издержек.

Далее преобразуем выражение (2), вынеся за скобки общий множитель $\frac{T^o}{D(K^o)}$, выражающий количество произведённой за время T^o продукции:

$$E^o = \frac{T^o}{D(K^o)} \times \left[p - \sum_i D(K^o) \times C_i \times v \right], \quad (3)$$

Аналогично запишем выражение для полезного выхода от работы конвейера после оптимизации (обозначив его параметры индексом m):

$$E^m = \frac{T^m}{D(K^m)} \times p - \sum_i k_i \times C_i \times T^m - \frac{T^m}{D(K^m)} \times v, \quad (4)$$

Появление множителя k_i во втором члене правой части уравнения обусловлено наймом дополнительных рабочих в ходе оптимизации работы конвейера. Выразим данный коэффициент через параметры t_i^m , τ_i^m и t_{\min}^m :

$$k_i = \frac{t_i^m + \tau_i^m}{t_{\min}^m}, \quad (5)$$

Интервал оптимизированного путём распараллеливания конвейера в стационарном режиме работы равен длительности выполнения самой короткой

операции, поэтому подставим t_{\min}^m вместо в $D(K^m)$ в выражение (4) и преобразуем его:

$$E^m = \frac{T^m}{t_{\min}^m} \times p - \sum_i \frac{t_i^m + \tau_i^m}{t_{\min}^m} \times C_i \times T^m - \frac{T^m}{t_{\min}^m} \times v = \frac{T^m}{t_{\min}^m} \times \left[p - \sum_i (t_i^m + \tau_i^m) \times C_i - v \right], \quad (6)$$

Экономический эффект от оптимизации конвейерных бизнес процессов путем распараллеливания можно выразить как разность выражений (3) и (6):

$$E^m - E^o = \frac{T^m}{t_{\min}^m} \times \left[p - \sum_i (t_i^m + \tau_i^m) \times C_i - v \right] - \frac{T^o}{D(K^o)} \times \left[p - \sum_i D(K^o) \times C_i \times -v \right], \quad (7)$$

Поскольку в общем случае $t_{\min}^m \leq D(K^o)$, то при $T^o = T^m = T$ (т.е. при одинаковом общем времени работы конвейера до и после оптимизации)

$\frac{T}{t_{\min}^m} \geq \frac{T}{D(K^o)}$. Теперь сравним выражения в скобках. Как было отмечено выше,

можно подобрать такое количество работников на каждой операции, что в стационарном режиме работы конвейера никто из них не будет простаивать, т.е. для $\forall i \exists t_{\min}^m$ такое, что $\tau_i^m = 0$. Поэтому при одинаковом времени работы, а также при неизменной цене и размере затрат на производство единицы продукции в соответствии с формулой (7) экономический эффект от оптимизации можно выразить как:

$$E^m - E^o = \frac{T}{t_{\min}^m} \times \left[p - \sum_i (t_i^m) \times C_i - v \right] - \frac{T}{D(K^o)} \times \left[p - \sum_i D(K^o) \times C_i \times -v \right], \quad (8)$$

В общем случае строго доказать наличие положительного экономического эффекта от оптимизации пока не представляется возможным, однако это можно сделать для линейного конвейерного бизнес процесса. Как было показано выше $\frac{T}{t_{\min}^m} \geq \frac{T}{D(K^o)}$, а поскольку интервал конвейера $D(K^o)$ равен длительности самой длительной по времени операции конвейера [1], и, следовательно, $D(K^o) = \max_i t_i^o$, учитывая, что $t_{\min}^m \leq t_i^o$, получаем:

$$E^m - E^o \geq 0, \quad (9)$$

Таким образом, математически доказано наличие неотрицательного экономического эффекта от оптимизации конвейерных процессов посредством распараллеливания в простейшем случае линейного конвейера.

Список литературы

1. Куприянов Б.В. Моделирование конвейерных бизнес-процессов.// Сборник трудов «Управление большими системами», вып. 28, 2010, С. 230-273.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОЛУЧЕНИЮ ВИДОВ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация

Предложен подход, позволяющий получать виды и параметры функций оптимального управления многомерным объектом с учетом ограничений на управляющие воздействия. Подход основан на применении принципа максимума Понтрягина и метода синтезирующих переменных.

Введение

Анализ оптимального управления (ОУ) включает в себя решение задач, связанных с исследованием условий существования решения задачи оптимального управления [1], определением всех возможных видов функций ОУ, соотношений для расчета параметров функций ОУ и др. При этом, значительный интерес представляют задачи анализа ОУ многомерными объектами с учетом ограничений на управляющие воздействия, поскольку такие задачи и объекты широко распространены на практике. Вместе с тем, во многих случаях, оперативное решение задач анализа ОУ многомерными объектами затруднено, в связи со сложностью применяемого в настоящее время математического аппарата.

В статье предлагается подход, позволяющий в реальном времени получать виды и параметры функций оптимального управления многомерным объектом с учетом ограничений на управляющие воздействия. Рассмотрим основные этапы предлагаемого подхода на примере следующей задачи: пусть для объекта, динамика которого описывается моделью

$$\dot{z}(t) = az(t) + b_1 u_1(t) + b_2 u_2(t), \quad (1)$$

решается задача ОУ, заключающаяся в переводе объекта на заданном интервале времени $[t_0, t_k]$ из начального состояния в конечное, т.е.

$$z(t_0) = z_0 \rightarrow z(t_k) = z_k, \quad (2)$$

при ограничениях на управляющие воздействия в каждый момент времени

$$|u_1(t)| \leq 1, |u_2(t)| \leq 1, t \in [t_0, t_k], \quad (3)$$

и минимуме функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_k} (u_1^2(t) + u_2^2(t)) dt. \quad (4)$$

В данной задаче: a, b_1, b_2 – параметры модели динамики объекта; $z(t)$ – фазовая координата; $u_1(t), u_2(t)$ – управляющие воздействия; z_0, z_k – начальное и конечное значения фазовой координаты; J – минимизируемый функционал.

В качестве исходных данных будем использовать следующие значения параметров: $a = -0.05$, $b_1 = 0.4$, $b_2 = 0.3$, $t_0 = 0$, $t_k = 15$, $z(t_0) = 0$, $z(t_k) = 5.5$.

Основные этапы предлагаемого подхода

На первом этапе, используя принцип максимума Понтрягина [2], получим виды функций оптимального управления для задачи (1)-(4):

$$\begin{aligned} u_1(t) &= b_1 c e^{a(t_k-t)}, \\ u_2(t) &= b_2 c e^{a(t_k-t)}, \end{aligned} \quad (5)$$

где c – параметр управления.

На втором этапе для уменьшения размерности задачи, применив метод [3], введем синтезирующую переменную

$$A = z(t_k) - z(t_0) e^{a(t_k-t_0)} = b_1 \int_{t_0}^{t_k} u_1(t) e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_0}^{t_k} u_2(t) e^{a(t_k-s)} ds. \quad (6)$$

Обозначим

$$l = z(t_k) - z(t_0) e^{a(t_k-t_0)}, \quad L = b_1 \int_{t_0}^{t_k} u_1(t) e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_0}^{t_k} u_2(t) e^{a(t_k-s)} ds.$$

Переменная l не зависит от параметров управления, следовательно, задача с двумя ограничениями типа равенств (начальное и конечное значения фазовой координаты) сводится к задаче с одним ограничением типа равенств (изменение синтезирующей переменной).

В уравнении (6) имеется только одна неизвестная – c , решив уравнение (6) получим $c = 2.831877216$.

Графики функций ОУ в этом случае, примут вид, показанный на рисунке 1 пунктирными линиями.

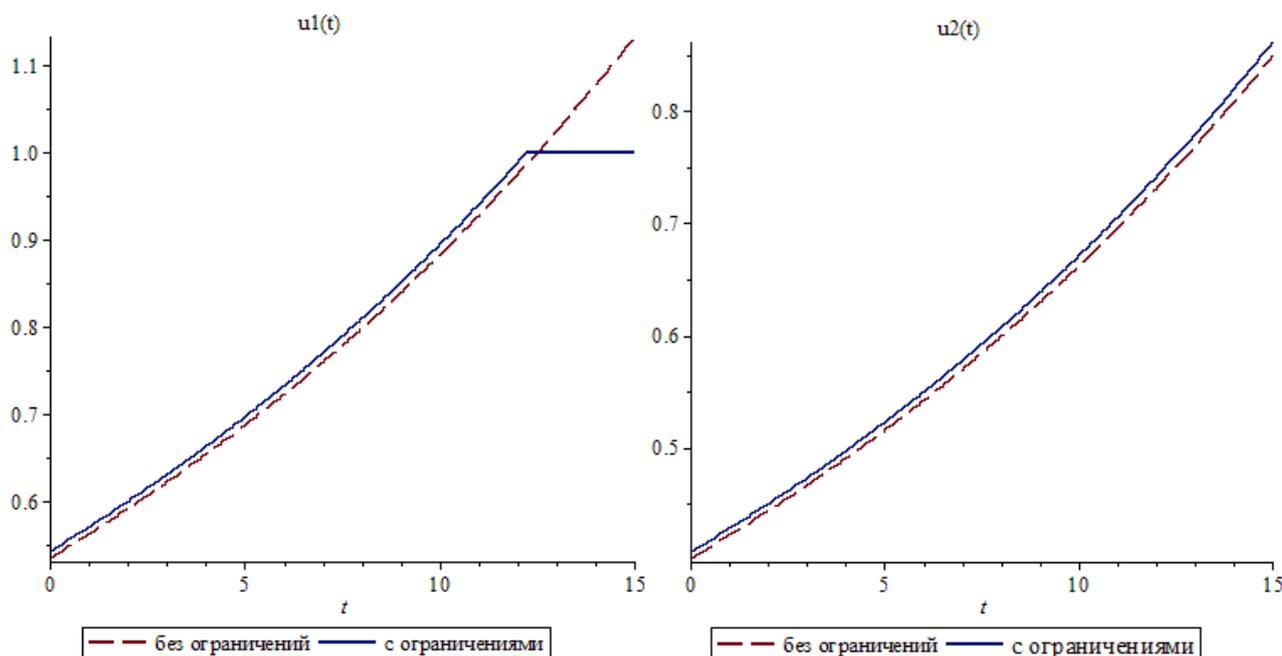


Рис. 1 Графики функций оптимального управления

Как видно из рисунка 1 функция $u_1(t)$ выходит за пределы области допустимых значений, задаваемой ограничениями (3). Т.е. в рассмотренном случае, применительно к задаче (1)-(4), ограничения (3) не выполняются. Поэтому, разобьём временной интервал управления на два отрезка $[t_0, t_p]$ и $[t_p, t_k]$. Исходя из принципа максимума Понтрягина $u_1(t) \equiv 1$ при $t \in [t_p, t_k]$.

Тогда правая часть синтезирующей переменной (6) примет вид

$$L = b_1 \int_{t_0}^{t_p} b_1 c_1 e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_0}^{t_p} b_2 c_2 e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds + \\ + b_1 \int_{t_p}^{t_k} e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_p}^{t_k} b_2 c_3 e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds.$$

Здесь мы оставили дополнительные степени свободы по параметрам управления (c_1, c_2, c_3), также неизвестным является время переключения t_p .

Решим данную задачу при помощи метода неопределенных множителей Лагранжа [4] не накладывая дополнительных ограничений.

Функции управления примут вид

$$u_1(t) = \begin{cases} b_1 c_1 e^{a(t_k-t)}, & t \in [t_0, t_p], \\ 1, & t \in [t_p, t_k], \end{cases}$$

$$u_2(t) = \begin{cases} b_2 c_2 e^{a(t_k-t)}, & t \in [t_0, t_p], \\ b_2 c_3 e^{a(t_k-t)}, & t \in [t_p, t_k]. \end{cases}$$

Новый критерий оптимальности запишется как

$$F = \int_{t_0}^{t_k} (u_1^2(t) + u_2^2(t)) dt + \lambda(L - l). \quad (7)$$

Здесь единственное накладываемое ограничение типа равенство ($L - l = 0$) – соответствие начальным и конечным значениям фазовой координаты. Как видно, при выполнении условия равенства левой и правой частей синтезирующей переменной, критерий (7) вырождается к виду (4).

Частные производные критерия определяются по всем переменным [4], то есть по $c_1, c_2, c_3, t_p, \lambda$. При этом, все частные производные в точке экстремума должны равняться нулю. Решая систему из полученных уравнений, получим следующие значения параметров управления и времени переключения: $c_1 = c_2 = c_3 = 2.871465321$, $t_p = 12.2293653$ б.

Графики функций ОУ, соответствующие полученным значениям параметров, показаны на рисунке 1 сплошными линиями. Как видно из графиков, в данном случае ограничения на управляющие воздействия (3) выполняются.

В результате решения задачи методом неопределенных множителей Лагранжа, после перераспределения управления при нарушении ограничений,

параметры управления $c_1 = c_2 = c_3$, а $u_1(t_p) = 1$. Таким образом, на практике, правая часть синтезирующей переменной примет вид

$$L = b_1 \int_{t_0}^{t_p} b_1 c e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_0}^{t_p} b_2 c e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds + \\ + b_1 \int_{t_p}^{t_k} e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_p}^{t_k} b_2 c e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds$$

или

$$L = b_1 \int_{t_0}^{t_p} b_1 c e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds + b_1 \int_{t_p}^{t_k} e^{a(t_k-s)} ds + b_2 \int_{t_0}^{t_k} b_2 c e^{a(t_k-s)} e^{a(t_k-s)} ds. \quad (8)$$

Используя условие $u_1(t_p) = 1$ (в нашем случае $b_1 c e^{a(t_k-t_p)} = 1$) и формулу (8), получим систему из двух уравнений с двумя неизвестными (c, t_p), решив которую можно получить аналитические формулы для расчета параметров ОУ задачи (1)-(4).

Заключение

Рассмотренный подход, за счет применения метода синтезирующих переменных, позволяет существенно снизить размерность задачи и оперативно в реальном времени получить виды и параметры функций оптимального управления многомерным объектом с учетом ограничений на управляющие воздействия.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект №12-08-31106.

Список литературы

1. Грибков, А.Н. Аналитико-графический метод исследования области существования решения задачи оптимального управления многомерным объектом / А.Н. Грибков, И.А. Куркин // Информатика и системы управления. – 2011. – №3(29). – С. 141-152.
2. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.В. Мищенко. – М.: Физматгиз, 1969. – 384 с.
3. Муромцев, Ю.Л. Метод синтезирующих переменных при оптимальном управлении линейными объектами / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, Е.В. Сатина // Приборостроение. Изв. вузов. – 1993. – №11-12. – С.19-25.
4. Брайсон, А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю Ши. – М.: Мир, 1972. – 544 с.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ВОДО-ВОДЯНОГО РЕАКТОРА

Аннотация

Рассмотрен алгоритм идентификации динамического объекта, учитывающий априорную информацию о его параметрах. Алгоритм преобразовывал блок исходных данных в множество блоков меньшей размерности. Для каждого из этих блоков вычислялись оценки параметров объекта и запоминались номера строк, использованных для вычисления этих оценок. Оператор, реализующий описанный алгоритм, преобразовывал матрицу исходных данных в специальную матрицу, учитывающую частоту попадания оценок в область h_i , тем самым отсекая малоинформативные строки.

1. Введение

В работе строится математическая модель физического объекта отвода тепла от стержней экспериментальной установки – модели кассеты ядерного реактора [1]. Рассматриваемая в работе модель строится по экспериментальным данным работы [1]. Результаты этой работы приведены в таблице 1 в виде зависимостей двух параметров, обозначенных X и Q , от третьего параметра, который в данном случае трактуется как некоторый временной масштаб t . Параметр Q соотносится с критическим тепловым потоком – КТП, а параметр X – с характеристикой теплоносителя – балансным паросодержанием.

Таблица 1.

Блок исходных данных

t	X(t)	Q(t)
дискретное время	баланс паросодержания	тепловой поток кВт/м ²
1	0,279	856
2	0,268	876
3	0,256	913
...
567	-0,299	3050
568	-0,317	3020
569	-0,336	2830

2. Постановка задачи

Рассмотрим алгоритм идентификации динамического стационарного объекта, учитывающего априорную информацию о параметрах объекта. Будем рассматривать динамический стационарный объект вида

$$Q(t) = \sum_{i=1}^a h_i Q(t-i) + \sum_{i=1}^b h_{a+i} X(t-i), \quad (1)$$

где $Q(t)$ – скалярный выход объекта (тепловой поток) в момент времени t , $X(t)$ – вход объекта (балансное паросодержание) в момент времени t , h_i – по-

стоянные (не зависящие от времени) параметры динамического объекта, a – глубина памяти по выходу, b – глубина памяти по входу.

Дополнительно об объекте (1) известно, что параметры h , принадлежат априорно известной области H , т.е.

$$h \in H. \quad (2)$$

Будем предполагать, что модель, соответствующая объекту (1), имеет ту же структуру

$$Q^*(t) = \sum_{i=1}^a k_i Q(t-i) + \sum_{i=1}^b k_{a+i} X(t-i), \quad (3)$$

где k_i есть оценки параметров объекта h_i , и параметры модели должны удовлетворять тем же ограничениям (2), что и неизвестные параметры объекта. Для конкретной физической модели параметры структуры (3) были равны $a=b=3$. То есть модель для прогноза теплового потока на один такт вперед имела вид

$$Q^*(t) = \sum_{i=1}^3 k_i Q(t-i) + \sum_{i=4}^6 k_i X(t-i) \quad (4)$$

Ниже анализируется точность именно этой модели.

По экспериментальным данным, содержащим 563 замера, методом МНК была построена динамическая модель вида (4) с параметрами, представленными в таблице 2. Коэффициент корреляции между прогнозом теплового потока на один такт вперед и его фактическим значением для модели с параметрами из таблицы 2 равен 0,928, что соответствует среднеквадратической ошибке (СКО) прогноза 211.

Таблица 2.

Параметры МНК-модели

Коэффициент	Оценка	СКО
K1	0,7767	0,070
K2	0,1048	0,095
K3	0,1100	0,0706
K4	-600	417
K5	458	580
K6	371	420

Достаточно представительная выборка (563 опыта) и высокий множественный коэффициент корреляции ($R=0,928$) с высокой степенью вероятности предопределяют, что истинные параметры объекта лежат в области ± 3 СКО около средних МНК-оценок параметров из таблицы 2.

Целью работы является, среди всех проведенных экспериментов найти те, которые в наибольшей степени отвечают за ошибки оценок и повысить точность модели, используя условие (2). В качестве области H будем принимать область около МНК-оценок из таблицы 2. Границу этой области для каждого коэффициента выберем в пределах ± 3 СКО. Алгоритм идентификации, основанный на использовании этой информации, описан ниже.

3. Алгоритм идентификации

Первоначальные исходные данные, полученные с экспериментальной установки, имеют вид, показанный в таблице 1. Из этой таблицы видно, что в со-

ответствии с моделью (4) $Q(5)$ зависит от 6 переменных, находящихся в трех строках выше $Q(5)$.

Для дальнейшей обработки эти данные в соответствии со структурой динамического объекта (1) должны быть преобразованы в вид, показанный в таблице 3. Принципиальное значение такого преобразования состоит в том, что выход объекта $Q(t)$ в произвольной строке блока данных зависит только от переменных в этой же строке. Таким свойством не обладает блок данных в таблице 1.

Таблица 3.

Блок преобразованных исходных данных

t	X(t-3)	X(t-2)	X(t-1)	Q(t-3)	Q(t-2)	Q(t-1)	Q(t)
4	0,279	0,268	0,256	856	876	913	947
5	0,268	0,256	0,248	876	913	947	996
6	0,256	0,248	0,243	913	947	996	1030
...
567	-0,051	-0,053	-0,052	3120	3030	3030	3050
568	-0,053	-0,052	-0,299	3030	3030	3050	3020
569	-0,052	-0,299	-0,317	3030	3050	3020	2830

Структура блока преобразованных исходных данных позволяет использовать для получения оценок параметров модели (4) произвольный набор строк из таблицы 3. Это свойство будет использовано для перехода в пространство оценок параметров.

Выбирая случайным образом из таблицы 3 некоторый блок в m ($m > 6$) строк, можем вычислить соответствующий ему набор оценок параметров модели (4). Количество таких наборов – число сочетаний из количества экспериментов 560 по m ($m > 6$), то есть астрономическое число, создающее проблемы и для современных вычислительных машин. Важно отметить, что точность оценок параметров модели в каждом блоке зависит от конкретного набора экспериментов, а не от всех экспериментов вместе, как в МНК. Это позволяет оценить вклад каждого отдельного эксперимента в ошибку оценки.

Для перехода в пространство оценок параметров используется следующая процедура. Из общего блока исходных данных (таблица 3) выбирается текущий блок, содержащий m строк. Текущий блок обрабатывается с помощью метода наименьших квадратов, а результаты обработки заносятся в таблицу 4. Кроме оценок параметров, которые помещаются в столбцы 7-10, в столбцы 2-6 таблицы 4 заносятся и номера строк блока исходных данных (таблица 3), которые были использованы для их вычисления. В столбец 11 вносится ошибка оценки параметра k_1 , которая вычисляется следующим образом

$$\Delta(i) = |k_1(i) - k_{1mnk}|, \quad (5)$$

где $k_1(i)$ – оценка k_1 параметра модели (4) с помощью i -го текущего блока; k_{1mnk} – оценка k_1 параметра модели (4) из таблицы 1 (средняя по всем данным). Если ошибка (5) превышает заранее заданный предел (как правило, 3 СКО для данного параметра), то в 12 столбце таблицы 4 ставится 1, что свидетельствует о том, что строки из i -го текущего блока участвовали в формировании большой ошибки оценки. Такая процедура вычислений выполняется для всех $(566-m)$ текущих блоков. В результате формируется таблица 4.

Полный блок промежуточных оценок

Номер текущего блока	Номера строк исходного блока данных					Текущие оценки параметров				Ошибка оценки k_1	Индикатор большой ошибки
	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	n1	n2	n3	...	n20	k1	k2	...	k6	Δ	Ind
1	4	5	6	...	23						
2	5	6	7	...	24						
3	6	7	8	...	25						
...
i	n1(i)	n2(i)	n3(i)	...	n20(i)						
...
539	542	543	544	...	561						
540	543	544	545	...	562						

Наша следующая задача будет состоять в том, чтобы разработать алгоритм, позволяющий найти, каким конкретно экспериментам в блоке данных (таблица 3) соответствуют большие ошибки оценок. В частности, для k_1 меньше нуля и больше двух. Эта задача не имеет однозначного решения, поскольку в вычислении каждой оценки участвуют данные не одного, а нескольких экспериментов.

В таблице 4 последний, двенадцатый столбец Ind – индикаторный. В нем стоят только нули или единицы. Если в какой-либо строке в этом столбце стоит 1, то это означает, что оценка параметра k_1 (из столбца 7 таблицы 4) отличается от номинального значения k_{1mnk} (из таблицы 1) больше чем на 3 СКО, то есть вычислена с большой ошибкой. При этом под подозрение попадают все входящие в этот блок строки, перечисленные в столбцах 2-6 таблицы 4.

Выберем из таблицы 4 только строки, соответствующие большим ошибкам, и по номерам строк, попавших в столбцы 2-6, построим функцию частоты номеров строк, участвовавших в вычислении плохих ошибок.

Есть две области, в которых резкие отклонения оценок появляются особенно часто. Одна область 115-125, вторая – 330-360. Эксперименты с этими номерами привели к грубым оценкам параметров модели. Исключение из обработки этих строк должно привести к повышению точности модели.

4. Заключение

Множественный коэффициент корреляции для такой модели будет равен $R=0,934$. СКО прогноза от истинных значений с вырезанными “плохими” строками критического потока составляет 200, то есть уменьшается на 5%. Сравнивая эти результаты с идентификацией по 566 экспериментам, видим, что точность оценок увеличилась.

Список литературы

1. Безруков Ю.А., Астахов В.И., Брантов В.Г., Абрамов В.И., Тестов И.Н., Логвинов С.А., Рассохин Н.Г. Экспериментальные исследования и статистический анализ данных по кризису теплообмена в пучках стержней для реакторов ВВЭР // Теплоэнергетика. 1976. №2. С. 80 – 82.

СЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ СИСТЕМАМИ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ИНФОРМАЦИОННЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

Аннотация

Рассматривается сетевая система управления, состоящая из множества объектов, которые должны воспроизводить заданную траекторию движения с требуемой точностью в условиях неопределенности и возможных информационных нарушений в сети. Построен сходящийся алгоритм сетевого управления с итеративным обучением. Эффективность алгоритма продемонстрирована на примере.

Постановка задачи.

Рассматривается множество линейных дискретных систем с неопределенными параметрами и возможными нарушениями.

$$x_i(t+1) = A_i(\delta(t))x_i(t) + B_i(\delta(t))u_i(t), \quad y_i(t) = C_i x_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где $x_i \in R^n$ - вектор состояния i -й системы, $u_i \in R^m$ - вектор управления i -й системы, $y_i \in R^p$ - вектор выходных переменных i -й системы, $\delta \in R^l$ - вектор неопределенных параметров, A, B, C - действительные матрицы параметров системы, N число систем. Предполагается, что неопределенности носят аффинный характер [2].

Системы (1) связаны информационной сетью и работают в повторяющемся режиме на интервале времени $[0, T]$ с известными начальными условиями. При этом предполагается, что только одна из систем (лидер или ведущий) получает информацию о заданной траектории непосредственно, остальные получают эту информацию от лидера (ведомые). Задача состоит в нахождении такого закона управления, при котором выходные переменные всех систем, воспроизводили бы заданную траекторию движения с требуемой точностью. При возможных нарушениях в какой-либо из систем, вызванных недостаточной надежностью информационной структуры сети, эта система начинает получать информацию от другой, информация от которой в данный момент ей доступна. Если доступ к информации от лидера восстанавливается, то система вновь переключается на получение информации от лидера.

Нарушения моделируются однородной марковской цепью $\rho(t)$ с заданным конечным числом состояний $N = \{1, \dots, v\}$ и заданными вероятностями перехода [1]:

$$P[\rho(t+1) = q | \rho(t) = r] = \pi_{rq}.$$

При таких условиях для достижения требуемой точности можно предложить следующий подход. Используя информацию с одного или нескольких предыдущих повторений построить алгоритм изменения входной переменной, который позволил бы повысить точность на текущем повторении. Этот подход, активно развивающийся в современной литературе [3], особенно в задачах робототехники, получил название управления с итеративным обучением. Таким образом, зададим алгоритм управления с итеративным обучением на $k + 1$ -м повторении следующим образом:

$$u_i(t, k + 1) = u_i(t, k) + \Delta u_i(t, k + 1), \quad (2)$$

где $\Delta u_i(t, k)$ - корректирующая добавка к входной переменной i -й, системы, которая должна выбираться из условия достижения требуемой точности.

Таким образом, система (1) с законом управления (2) может быть представлена как 2D система [3,4].

$$x_i(t + 1, k) = A_i(\delta)x_i(t, k) + B_i(\delta)u_i(t, k), y_i(t, k) = C_i x_i(t, k), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

с граничными условиями $x_i(0, k) = x_0, k = 0, 1, \dots, u_i(t, 0) = 0, t = 0, 1, \dots, T$.

Введем в рассмотрение ошибки систем

$$e_1(t, k) = y_{ref}(t, k) - y_1(t, k), \quad e_i(t, k) = y_{I_i[\rho(t)]}(k) - y_i(t, k),$$

где $I_i[\rho(t)]$ принимает любые значения от 1 до N в зависимости от информационных нарушений (состояния марковской цепи $\rho(t)$).

Для достижения требуемой точности корректирующие добавки должны обеспечивать условия

$$\lim_{k \rightarrow \infty} |e_i(t, k)| = 0, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} |u_i(t, k) - u_i(t, \infty)| = 0.$$

В соответствии с этим введем следующее определение сходимости.

Определение 1. Алгоритм управления с итеративным обучением (2) называется сходящимся в среднем квадратическом, если для любых начальных условий $x_{i0} \in R^n$ и для любой начальной управляющей последовательности $\{u_i(t, 0)\}$ он задает такую последовательность $u_i(t, k)$ для системы (3), что

$$E[|e_i(t, k)|^2] \rightarrow 0,$$

при $k \rightarrow \infty, t \in [0, T], i = 1, 2, \dots, N$, E - оператор математического ожидания.

Вводя вспомогательные переменные

$$\eta_i(t + 1, k + 1) = x_i(t, k + 1) - x_i(t, k), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

перепишем систему (3) в стандартной форме линейного дискретного повторяющегося процесса:

$$\begin{aligned} \eta_i(t + 1, k + 1) &= A_{11}(\delta(t))\eta(t, k + 1) + A_{12}e(t, k) + B_1(\delta(t))\Delta u(t - 1, k + 1), \\ e(t, k + 1) &= A_{21}(\delta, \rho(t))\eta(t, k + 1) + A_{22}e(t, k) + B_2(\delta(t), \rho(t))\Delta u(t - 1, k + 1), \end{aligned} \quad (5)$$

где матрицы A_{21} и B_2 имеют случайную структуру, определяемую информационными нарушениями.

Предположим, что переменные состояния доступны измерению и сформируем величину $\Delta u_i(t - 1, k + 1)$ в виде

$$\Delta u_i(t-1, k+1) = F_1(r)\eta_i(t, k+1) + F_2(r)e_i(t, k), \quad \rho(t) = r, \quad r \in N. \quad (6)$$

В результате задача сводится к нахождению матриц F_1 и F_2 , при которых обеспечивается глобальная асимптотическая устойчивость системы (5), (6). Условия устойчивости таких систем в литературе неизвестны, поэтому в работе доказана соответствующая теорема об устойчивости в терминах векторных функций Ляпунова. Она доказана для общего случая нелинейных повторяющихся процессов, описываемых следующими уравнениями состояния:

$$\begin{aligned} x(t+1, k+1) &= f_1(x(t, k+1), y(t, k), \rho(t)), \quad k = 0, 1, \dots, \\ y(t, k+1) &= f_2(x(t, k+1), y(t, k), \rho(t)), \quad t \in [0, T], \end{aligned} \quad (7)$$

где $f_1 \in R^n$, $f_2 \in R^m$ - нелинейные функции, такие что $f_1(0, 0, r) = 0$, $f_2(0, 0, r) = 0$, $r \in N$. Граничные условия предполагаются заданными в виде: $x(0, k+1) = d_{k+1}$, $k = 0, 1, \dots$, $y(t, 0) = s(t)$, $t \in [0, T]$, где d_{k+1} и $s(t)$ - векторы размерности $n \times 1$ и $m \times 1$, удовлетворяющие условиям

$$\sum_{k=0}^{\infty} |d_{k+1}|^2 < \infty, \quad \sum_{t=0}^{\infty} |s(t)|^2 < \infty. \quad (8)$$

Определение 2. Систему (7) назовем глобально асимптотически устойчивой в среднем квадратическом (ГАУСК), если при любых граничных условиях d_{k+1} и $s(t)$, удовлетворяющих (8),

$$E[|x(t, k+1)|^2 + |y(t, k)|^2] \rightarrow 0 \text{ при } k+t \rightarrow \infty.$$

Очевидно, что ГАУСК гарантирует сходимость алгоритма с обучением (2).

Выберем функцию Ляпунова в векторной форме:

$$V(t, k) = \begin{bmatrix} V_1(x(t, k+1), \rho(t)) \\ V_2(y(t, k), \rho(t)) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$V_1(0, r) = 0, \quad V_2(0, r) = 0, \quad x \in R^n, \quad y \in R^m, \quad r \in N.$$

Для этой функции определим оператор D в силу системы (7) следующим образом

$$\begin{aligned} D_{\xi, \zeta, r} V(t, k) &= E[V_1(x(t+1, k+1), \rho(t+1)) + V_2(y(t, k+1), \rho(t)) - \\ &- V_1(x(t, k+1), \rho(t)) - V_2(y(t, k), \rho(t)) |_{x(t, k+1)=\xi, y(t, k)=\zeta, \rho(t)=r}]. \end{aligned} \quad (10)$$

Этот оператор является дискретным аналогом дивергенции векторного поля V в декартовых координатах k и t .

Теорема 1. Рассмотрим систему (7) с граничными условиями, удовлетворяющими (8). Пусть существуют положительные постоянные c_1, c_2, c_3 такие, что функция (9) и её оператор (10) в силу системы удовлетворяют неравенствам

$$\begin{aligned} c_1 |x|^2 \leq V_1(x, r) \leq c_2 |x|^2, \quad c_1 |y|^2 \leq V_2(y, r) \leq c_2 |y|^2, \\ D_{\xi, \zeta, r} V(t, k) \leq -c_3 (|\xi|^2 + |\zeta|^2), \quad r \in N. \end{aligned}$$

Тогда система (7) глобально асимптотически устойчива в среднем квадратическом.

Для системы (5), (6) выберем компоненты векторной функции Ляпунова в виде квадратичных форм:

$$V_1 = \eta^T(t, k+1)P_1(\rho(t))\eta(t, k+1),$$

$$V_2 = e^T(t, k)P_2(\rho(t))e(t, k),$$

где $P_1(\rho) = \text{diag}[P_{11}(\rho) \dots P_{1N}(\rho)]$, $P_2(\rho) = \text{diag}[P_{21}(\rho) \dots P_{2N}(\rho)]$.

Применяя теорему 1, получим условия ГАУСК в форме билинейных матричных неравенств, которые с использованием теоремы о дополнении Шура сводятся к системе линейных матричных неравенств [2].

На основе полученных результатов было проведено моделирование динамики вертикального канала упрощенной модели портального робота [4]. Предполагалось, что имеется три таких робота, и они связаны локальной сетью. Один из роботов (ведущий) получает информацию о заданной траектории непосредственно. Остальные (ведомые) роботы получают информацию от ведущего и их матрицы параметров имеют отклонения в пределах 10% от матриц параметров ведущего робота.

Был промоделирован случай возникновения поочередных нарушений в ведомых системах: потеря связи между первым ведомым и ведущим роботами при $k \in [5,7]$, а между вторым ведомым и ведущим при $k \in [10,15]$. При этом предполагалось, что на момент потери связи с ведущим роботом ведомые роботы получают информацию один от другого.

Результаты моделирования показали, что в случае без нарушений ошибка монотонно убывает, а в случае возникновения информационных нарушений процесс убывания ошибки становится немонотонным, что нежелательно для задач итеративного обучения.

Таким образом, результаты моделирования определили направление дальнейших исследований - построение алгоритмов, которые обеспечивают монотонность сходимости ошибки при информационных нарушениях. Кроме того в процессе исследования находится задача сетевого управления с обратной связью по выходу.

Список литературы

1. Пакшин, П.В. Дискретные системы со случайными параметрами и структурой. - М.: Физматлит, 1994. - 304 с.
2. Boyd, S. Linear matrix inequalities on system and control theory // S. Boyd, et al. - Philadelphia: SIAM, 1994. - 193 p.
3. Hyo-Sung, Ahn. Iterative Learning Control: Brief Survey and Categorization // Hyo-Sung Ahn, Yang Quan Chen, and Kevin L. Moore. - IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics - part C: Applications and reviews, 2007, Vol. 37, no. 6. - P. 1099-1121.
4. Pakshin, P. Iterative Learning Control under Parameter Uncertainty and Failures // P. Pakshin, J. Emelianova, et al - 2012 IEEE Multi-conference on Systems and Control, Croatia, October 3-5, 2012, ISBN: 978-1-4673-4504-0.

ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЗАКОНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ *riv*-ФУНКЦИЙ

Аннотация

В работе предложена оценка сложности законов функционирования дискретных детерминированных динамических систем (автоматов) на основе нового геометрического представления законов функционирования и использования дискретных *riv*-функций. Проведен анализ более 1 млн. дискретных *riv*-функций (соответствующих классам геометрических образов автоматных отображений). Рассмотрены *riv*-функции, содержащие более 25 млрд. дискретных графиков, по которым синтезированы законы функционирования автоматов. На основе полученных теорем, а также использования ЭВМ определена специфика всех рассматриваемых *riv*-функций.

1. Введение

Одной из фундаментальных составляющих математических моделей динамических систем являются алгоритмы, реализуемые системой в соответствии с ее целевым предназначением. Для алгоритмически разрешимого класса задач существует бесконечное множество алгоритмов (решающих класс задач), которое может быть упорядочено по сложности. Со сложностью алгоритма в общем случае связана реализация алгоритмов в системе, определяющая ряд важнейших показателей: быстродействие, объем требуемой памяти, надежность, энергозатраты и т.п. Существует большое число вариантов понятия сложности. Например, оценки алгоритмов по их принадлежности к *NP* и *P* классам (детальный обзор содержится, например в работах [5,6]), Колмогоровская сложность [7], сложность снизу, сверху, сложность в среднем, битовая сложность [8], мультипликативная сложность, алгебраическая сложность, асимптотические оценки сложности [2,9] и др.

В данной статье рассматриваются дискретные детерминированные динамические системы (автоматы). Основным, используемым в статье способом задания автоматных моделей, является задание законов функционирования автоматов геометрическими образами, предложенное и разработанное В.А.Твердохлебовым (см., например [3,4]). Аппарат геометрических образов автоматов (основанный на использовании числовых структур при задании законов функционирования) позволяет в ряде случаев эффективно преодолевать барьер размерности множеств состояний автоматных моделей сложных дискретных систем большой размерности. Одной из базовых характеристик автоматных моделей является число состояний автомата в минимальной (приведенной) форме. Использование традиционных способов задания автоматов (таблицами, матрицами, графами, логическими уравнениями, формулами языка регулярных выражений) для реальных систем большой размерности в явном, конструктивном виде на практике не

осуществимо. Классические методы минимизации автоматов (см., например [1]) также труднореализуемы на практике ввиду огромной размерности множества состояний автомата (и множества входных сигналов автомата). В связи с этим предложен новый метод оценки числа состояний автомата в минимальной форме, основанный на анализе его геометрического образа и не требующий явного построения функций переходов и выходов автомата и последующей минимизации автомата.

2. Оценка сложности законов функционирования автоматов на основе дискретных *riv*-функций

Для получения оценок числа состояний в приведенной форме автомата, геометрический образ которого расположен в заданных конфигурациях границ предлагаются и рассматриваются конечные дискретные детерминированные *riv*-функции вида $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$, где $h_1^{d,k}(t)$ и $h_2^{d,k}(t)$ - конечные дискретные детерминированные функции вида $h^{d,k} : \{1, 2, \dots, d\} \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, k\}$, определенные на начальных отрезках натурального ряда, принимающие значения из начальных отрезков натурального ряда и удовлетворяющие условию: для любого t , где $1 \leq t \leq d$, $d, k \in \mathbb{N}^+$, $h_1^{d,k}(t) \leq h_2^{d,k}(t)$. Функция вида $h^{d,k}$ в связи с тем, что область определения линейно упорядочена, однозначно определяется соответствующей последовательностью вторых координат пар вида (значение аргумента, значение функции), т.е. последовательностью вида $\xi(h^{d,k}) = \langle pr_2 h^{d,k}(1), pr_2 h^{d,k}(2), \dots, pr_2 h^{d,k}(d) \rangle$. Поэтому задание дискретной *riv*-функции $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ эквивалентно определению функции вида $H^{d,k} = [\xi(h_1^{d,k}), \xi(h_2^{d,k})]$. Точные формальные определения используемых структур содержатся, например, в работе [4] (ввиду ограничений на объем статьи, в явном виде приводятся только некоторые определения).

Определение 1. Функцию $h^{d,k}$ вида $h^{d,k} : \{1, 2, \dots, d\} \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, k\}$, где $d, k \in \mathbb{N}^+$, будем называть дискретной детерминированной целочисленной (d,k) -функцией (или просто (d,k) -функцией).

Очевидно, что мощность $\Theta(H^{d,k})$ множества $W(H^{d,k})$ дискретных (d,k) -функций, определяемого дискретной *riv*-функцией $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$, равна

$$\prod_{t=1}^d (h_2^{d,k}(t) - h_1^{d,k}(t) + 1). \quad (1)$$

Например, мощность $\Theta(H^{d,k})$ множества $W(H^{d,k})$ дискретных (d,k) -функций, определяемого дискретной *riv*-функцией $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$, где $d=40$, $k=9$, $h_1^{d,k}(t)$ - характеристическая функция для простых чисел, а верхняя граница $h_2^{d,k}(t)$ задана первыми 40 знаками числа π , составляет более 10^{27} .

Введенная дискретная *riv*-функция $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ представляет собой множество (d,k) -функций, специфика которых в связи с тем, что область опре-

деления (d,k) -функции линейно упорядочена, представлена последовательностями вторых координат пар вида (аргумент функции, значение функции). В данной работе такие последовательности рассматриваются как последовательности вторых координат точек геометрических образов инициальных автоматов [3,4]. По построению дискретная riv -функция $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ при выбранном множестве $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ входных сигналов автомата и линейном порядке ω_1 на множестве X^* входных последовательностей (см.[3-4]) определяет геометрические образы семейства инициальных автоматов $\alpha = \{A_{s_{0_i}}\}_{i \in I}$. (Возможна и другая интерпретация множества последовательностей, определяемого дискретной riv -функцией $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$. Дискретная riv -функция $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ в целом определяет поведение одного конечного детерминированного автомата типа Мили $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$.)

Определение 2. Семейство инициальных конечных детерминированных автоматов типа Мили $\alpha = \{A_{s_{0_i}}\}_{i \in I}$, где $A_{s_{0_i}} = (S_i, X, Y, \delta_i, \lambda_i)$, $s_{0_i} \in S_i$, $|X|=m$ и $|Y|=l$, геометрические образы которых заданы последовательностями множества, определенного дискретной riv -функцией $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$, будем обозначать $\Psi(H^{d,k}, m, l)$.

Теорема 1. Пусть $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ - дискретная riv -функция, где $h_1^{d,k} = C_1, h_2^{d,k} = C_2$, $C_1, C_2 \in \mathbb{N}^+$, $C_2 - C_1 + 1 = l$, $l \geq 2$ и $m \in \mathbb{N}^+$, $m \geq 2$, и для семейства автоматов $\Psi(H^{d,k}, m, l)$ выполняется условие $l^m \geq \left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil$, то при любом способе доопределения функции переходов δ автомата в семействе $\Psi(H^{d,k}, m, l)$ приведенный автомат (автоматы) с максимальным числом состояний имеет не более $\left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil$ состояний. Оценка достижима.

Определение 3. Пусть $\tau = \left\lceil \frac{\left(\left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil - 1\right)}{m} \right\rceil$, $\eta = l^m$ и $\tau_1 = \min(\eta, \tau)$. Способ

доопределения функции переходов δ конечного детерминированного автомата типа Мили $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$, где $|X|=m$, $|Y|=l$, построенного по числовой последовательности ξ длины d , при котором

$$\delta(s_{\tau_1+1}, x_1) = s_1 \ \& \ \delta(s_{\tau_1+1}, x_2) = s_1 \ \& \ \dots \ \& \ \delta(s_{\tau_1+1}, x_m) = s_1 \ \&$$

$$\& \ \delta(s_{\tau_1+2}, x_1) = s_1 \ \& \ \delta(s_{\tau_1+2}, x_2) = s_1 \ \& \ \dots \ \& \ \delta(s_{\tau_1+2}, x_m) = s_2 \ \&$$

$$\dots$$

$$\& \ \delta(s_{\tau_1+\eta}, x_1) = s_1 \ \& \ \delta(s_{\tau_1+\eta}, x_2) = s_1 \ \& \ \dots \ \& \ \delta(s_{\tau_1+\eta}, x_m) = s_\eta \ \&$$

$$\& \ \delta(s_{\tau_1+\eta+1}, x_1) = s_1 \ \& \ \delta(s_{\tau_1+\eta+1}, x_2) = s_1 \ \& \ \dots \ \& \ \delta(s_{\tau_1+\eta+1}, x_{m-1}) = s_2 \ \& \ \delta(s_{\tau_1+\eta+1}, x_m) = s_1 \ \&$$

$$\dots$$

$$\& \ \delta(s_n, x_1) = s_\eta \ \& \ \delta(s_n, x_2) = s_\eta \ \& \ \dots \ \& \ \delta(s_n, x_{m-1}) = s_\eta \ \& \ \delta(s_n, x_m) = s_\eta$$

, будем называть доопределением способом 3.

В теореме 2 приводится условие (при использовании специфического способа допределения (способа 3) функции переходов δ автомата), достаточное для достижения максимальной оценки числа состояний в приведенном автомате из семейства $\Psi(H^{d,k}, m, l)$ равной $\left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil$ состояний.

Теорема 2. Пусть $H^{d,k} = [h_1^{d,k}, h_2^{d,k}]$ - дискретная гив-функция, где $h_1^{d,k} = C_1, h_2^{d,k} = C_2$, $C_1, C_2 \in \mathbb{N}^+$, $C_2 - C_1 + 1 = l$, $l \geq 2$ и $m \in \mathbb{N}^+$, $m \geq 2$ и для семейства автоматов $\Psi(H^{d,k}, m, l)$, определенного гив-функцией $H^{d,k}$, выполняется условие $(l^m)^m \geq \left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil - l^m - 1$, то при способе 3 допределения функции переходов δ автомата в семействе $\Psi(H^{d,k}, m, l)$ приведенный автомат (автоматы) с максимальным числом состояний имеет не более $\left\lceil \frac{d}{m} \right\rceil$ состояний. Оценка достижима.

3.Краткие выводы

Используемый геометрический подход позволяет исследовать свойства законов функционирования дискретных детерминированных динамических систем большой размерности на основе анализа свойств геометрических кривых и числовых последовательностей. В статье предложен новый метод оценки сложности законов функционирования автоматов, основанный на использовании геометрического представления законов и использования дискретных гив-функций. Построены и проанализированы классы дискретных детерминированных автоматов, определенные на основе математических свойств их геометрических образов.

Список литературы

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966.
2. Лупанов О.Б. Асимптотические оценки сложности управляющих систем. -М.: Изд-во МГУ, 1984.
3. Твердохлебов В.А. Геометрические образы законов функционирования автоматов. – Саратов: Научная книга, 2008.
4. Твердохлебов В.А., Елифанов А.С. Представление автоматных отображений геометрическими структурами. – Саратов: Наука, 2013.
5. Sipser M. The history and status of the P versus NP question. Proceeding of 24th annual symposium on the theory of computing, 1994.
6. Hofman R. Complexity considerations, cSAT lower bound. IMECS2007, Conference proceedings published by IAENG, 2007.
7. Li M., Vitanyi P. Introduction to Kolmogorov complexity and its applications. Springer-verlag, 1993.
8. Borodin A., Munro I. The computational complexity of algebraic and numeric problems. American Elsevier, New York, 1975.
9. Khalil H., Ulery D. A review of current studies on complexity of algorithms for partial differential equations. ACM '76 proceedings of the annual conference, 1976.

ВИХРЕВОЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Аннотация

В настоящее время электропривода являются основным видом исполнительных устройств в системах автоматизации, в частности, они широко используются как тяговые в транспортных средствах. Вопросы повышения точности, надежности, улучшение эксплуатационных показателей и энергосбережения (рекуперации) в электроприводах является актуальнейшей проблемой. В работе рассмотрены вопросы синтеза электроприводов различного типа с использованием теории разрывных систем и блочного подхода.

1. Постановка задачи

Рассматриваются задачи управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением, математическая модель которого описывается системой дифференциальных уравнений пятого порядка следующего вида [1]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \quad \dot{x}_2 = a_{21}[x_3x_4 + m_L(t)], \quad \dot{x}_3 = a_{32}(u_1 - x_2x_4 - a_{31}x_3), \\ \dot{x}_4 &= a_{41}[u_2 - f(x_4)], \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1 – угол поворота вала двигателя, x_2 – угловая скорость, x_3 – ток якоря, x_4 – магнитный поток, u_1, u_2 – напряжение якоря и обмотки возбуждения, соответственно, m_L – момент нагрузки (полагается постоянной величиной), a_{21}, a_{32}, a_{41} – конструктивные коэффициенты, $f(x_4)$ – функция кривой намагничивания, $M_e = x_3x_4$ – электрический момент.

Относительно момента нагрузки предполагается, что его первая вторая и третья производные ограничены некоторыми константами

$$|m_L(t)| \leq M_1, \quad |\dot{m}_L(t)| \leq M_2, \quad |\ddot{m}_L(t)| \leq M_3.$$

В качестве целей управления рассматриваются основные задачи управления ДПТ: отработка заданного сигнала $x_{1d}(t)$ по углу поворота вала двигателя или обеспечения сходимости невязки в нуль:

$$\bar{x}_1(t) = x_1(t) - x_{1d}(t) \rightarrow 0. \quad (2)$$

Предполагается, что заданный сигнал $x_{1d}(t)$ описывается гладкой ограниченной функцией времени, производные которой до третьего порядка существуют и ограничены.

Для решения задачи слежения (2) разработана пошаговая процедура синтеза обратной связи в первых трех уравнениях системы (1) в рамках предложенных вихревых алгоритмов [2], которые позволяют синтезировать

инвариантные системы управления без получения оценок внешних возмущений широкого класса.

Отметим, задача поддержания заданного (обычно номинального) значения магнитного потока x_{4d}

$$\bar{x}_4 = x_4 - x_{4d} = 0 \quad (3)$$

в четвертом уравнении (1) решается автономно посредством управления u_2 .

2. Алгоритм управления на релейных вихревых алгоритмах

Шаг 1. В первом уравнении системы (2.1), записанном относительно невязки (2)

$$\dot{\bar{x}}_1 = x_2 - \dot{x}_{1d}, \quad (4)$$

решается элементарная задача выбора стабилизирующей обратной связи. Согласно блочному подходу [2], в качестве фиктивного управления принимается фазовая переменная

$$x_2 = -k_1 \bar{x}_1 + \dot{x}_{1d},$$

где $k_1 > 0$ – коэффициент обратной связи, обеспечивающий желаемые темпы сходимости в замкнутой системе

$$\dot{\bar{x}}_1 = -k_1 \bar{x}_1 + \bar{x}_2. \quad (5)$$

На втором шаге решается задача стабилизация невязки между фактическим и выбранным фиктивным управлением

$$\bar{x}_2 = x_2 + k_1 \bar{x}_1 - \dot{x}_{1d} \rightarrow 0. \quad (6)$$

Шаг 2. С учетом (2.1) составим дифференциальное уравнение относительно невязки (2.6)

$$\dot{\bar{x}}_2 = a_{21} x_3 x_4 + \xi_1(t). \quad (7)$$

где $\xi_1(t) = a_{21} m_L - k_1^2 \bar{x}_1 + k_1 \bar{x}_2 - \ddot{x}_{1d}$.

Шаг 3. Запишем дифференциальное уравнение относительно новой переменной $\bar{x}_3 = a_{21} x_3 x_4 + \xi_1(t)$ с учетом (1), (5)–(6) в предположении, что поток намагничивания постоянен $x_4 = \text{const} > 0$

$$\dot{\bar{x}}_3 = -a_2 \bar{x}_2 - a_3 \bar{x}_3 + b_0 u_1 + \xi_2(t), \quad (8)$$

где $b_0 = a_{21} a_{32} x_4$, $a_2 = (k_1^2 + a_{21} a_{32} x_4^2)$, $a_3 = (a_{31} a_{32} - k_1)$,

$\xi_2(t) = k_1 (k_1^2 + a_{21} a_{32} x_4^2) \bar{x}_1 - a_{21} a_{32} x_4^2 \dot{x}_{1d} - \ddot{x}_{1d} + a_{31} a_{32} \xi_1(t) + a_{21} \dot{m}_L$.

Выберем управляющее воздействие u_1 в виде

$$b_0 u_1 = -(L_\alpha - a_3) a_{21} x_4 x_3 - M \text{sign}(\bar{x}_2), \quad (9)$$

где $L_\alpha = \text{const} > 0$, $M = \text{const} > 0$ – параметры закона управления, выбор которых поясним ниже, $\text{sign}(\cdot)$ – функция знака.

Введем обозначение

$$\xi(t) = (L_\alpha - a_3) \xi_1(t) + \xi_2(t), \quad (10)$$

где согласно ограничениям на класс задающих и возмущающих воздействий для возмущения $\xi(t)$ справедливы неравенства

$$|\xi(t)| \leq \Sigma, |\dot{\xi}(t)| \leq \bar{\Sigma}, \quad (11)$$

где $\Sigma, \bar{\Sigma}$ – некоторые положительные константы.

Справедлив следующий результат.

Теорема 1. Пусть в замкнутой системе (5), (7)–(9) выполнены следующие условия:

1) возмущение $\xi(t)$ удовлетворяет ограничениям (11)

2) параметры α, M алгоритма управления (9) выбраны согласно выражениям

$$M > \Sigma, L_\alpha = \alpha, \alpha(M - \Sigma) > \bar{\Sigma}.$$

Тогда переменные замкнутой системы (5), (7)–(9) экспоненциально сходятся к нулю независимо от внешних возмущений.

Доказательство теоремы 1. Подставляя управляющее воздействие (9) систему (8), получим с учетом обозначения (10)–(11)

$$\dot{\bar{x}}_1 = -k_1 \bar{x}_1 + \bar{x}_2, \dot{\bar{x}}_2 = \bar{x}_3, \dot{\bar{x}}_3 = -\beta \bar{x}_2 - \alpha \bar{x}_3 - M \operatorname{sign}(\bar{x}_2) + \xi(t),$$

где $\beta = a_2$.

Далее рассматриваются все возможные случаи соотношения коэффициентов α, β . Перепишем последние два уравнения в новых координатах

$$x_2^* = \sqrt{\left| \frac{\alpha^2}{4} - \beta \right|} \bar{x}_2, y = \frac{\alpha}{2} \bar{x}_2 + \bar{x}_3 \text{ и вначале рассмотрим случай, когда } \frac{\alpha^2}{4} - \beta \neq 0$$

$$\dot{x}_2^* = -\frac{\alpha}{2} x_2^* + \gamma_1 y, \dot{y} = \gamma_2 x_2^* - \frac{\alpha}{2} y - M \operatorname{sign}(\bar{x}_2) + \xi(t). \quad (12)$$

где $\gamma_1 = \gamma_2 = \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - \beta}$, при $\frac{\alpha^2}{4} - \beta > 0$, и $\gamma_2 = -\gamma_1 = \sqrt{\beta - \frac{\alpha^2}{4}}$ при $\frac{\alpha^2}{4} - \beta < 0$.

При $\frac{\alpha^2}{4} - \beta = 0$ преобразование выбирается в виде $x_2^* = \bar{x}_2, y = \frac{\alpha}{2} \bar{x}_2 + \bar{x}_3$

и уравнения замкнутой системы принимают вид

$$\dot{x}_2^* = -\frac{\alpha}{2} x_2^* + y, \dot{y} = -\frac{\alpha}{2} y - M \operatorname{sign}(\bar{x}_2) + \xi(t). \quad (13)$$

Рассмотрим составную функцию Ляпунова для двух случаев. Вначале при $\frac{\alpha^2}{4} - \beta \neq 0$

$$V = |x_2^*| - \frac{\xi}{M} x_2^* + \frac{x_2^{*2}}{2M} + \frac{y^2}{2M}. \quad (14)$$

Дифференцируя функцию Ляпунова с учетом уравнений (12), получим

$$\dot{V} = -\frac{\alpha}{2} |x_2^*| + \frac{\alpha \xi}{2M} x_2^* - \frac{\dot{\xi}}{M} x_2^* - \frac{\alpha}{2M} x_2^{*2} + \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{M} y x_2^* - \frac{\alpha}{2M} y^2 \quad (15)$$

$$\leq x^T Q x - \bar{\alpha} |x_2^*| \leq -\lambda_{\min}(Q)[x_2^{*2} + y^2] - \bar{\alpha} |x_2^*|.$$

где $x^T = (x_2^* \quad y)$, матрица $Q = \begin{pmatrix} -\frac{\alpha}{2M} & \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{M} \\ \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{M} & -\frac{\alpha}{2M} \end{pmatrix}$, $\bar{\alpha} = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\Sigma}{M} - \frac{2\bar{\Sigma}}{\alpha M} \right)$, $\lambda_{\min}(Q)$

– минимальное собственное число матрицы Q .

Отметим, что квадратичная форма $x^T Q x$ отрицательно определена при любых $\alpha > 0$, $\beta > 0$, что легко проверяется по критерию Сильвестра. Как видно при $\bar{\alpha} > 0$ или $\alpha(M - \Sigma) > 2\bar{\Sigma}$ производная функции Ляпунова отрицательна. Следовательно, замкнутая система асимптотически убывает к нулю.

Из выражения (14) можем записать неравенство

$$\dot{V} \leq |x_2^*| \left(1 + \frac{\Sigma}{M} \right) + \frac{1}{2M} (x_2^{*2} + y^2) \leq c_0 (|x_2^*| + x_2^{*2} + y^2),$$

где $c_0 = \max \left\{ 1 + \frac{\Sigma}{M}, \frac{1}{2M} \right\}$.

Из выражения (15) можем записать следующее неравенство

$$\dot{V} \leq -\lambda_{\min}(Q) [x_2^{*2} + y^2] - \bar{\alpha} |x_2^*| \leq c_1 (|x_2^*| + x_2^{*2} + y^2),$$

где $c_1 = \min \{ \lambda_{\min}(Q), \bar{\alpha} \}$.

Окончательно из двух последних неравенств запишем

$$\dot{V} \leq -\gamma V, \text{ где } \gamma = \frac{c_1}{c_0}.$$

Из этого выражения следует экспоненциальная сходимость при любых α , β , удовлетворяющих условиям теоремы. Теорема 1 доказана.

Заключение

В работе предложены новые алгоритмы синтеза электроприводов постоянного тока в задаче слежения на основе предложенных разрывных вихревых алгоритмов, разработанных на первом этапе совместного гранта РФФИ и ОАО «Российские железные дороги» №12–08–13105-офи_м_ржд.

Список литературы

1. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979.
2. Принцип блочного управления / Дракунов С.В., Изосимов Д.Б., Лукьянов А.Г., Уткин В.А. и др. // Автоматика и телемеханика // Автоматика и телемеханика. 1990. Ч. I. № 5. С. 3–13. Ч. II. 1990. №6. С. 20–31.
3. Инвариантность в системах с несогласованными возмущениями / Кочетков С.А., Уткин В.А. // Автоматика и телемеханика. 2013. № 10. Сдано в печать.
4. Компенсация неустранимых неидеальностей исполнительных устройств / Кочетков С.А., Уткин В.А. // Автоматика и телемеханика. 2010. № 5. С. 21–47.

ПЕРКОЛЯЦИЯ ДАННЫХ И ПОТЕРЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В СЕТЯХ, ИМЕЮЩИХ ДВУМЕРНЫЕ РЕГУЛЯРНЫЕ И СЛУЧАЙНЫЕ СТРУКТУРЫ

Аннотация

В статье представлено теоретическое рассмотрение процессов перколяции данных и потери работоспособности в информационно – вычислительных сетях с регулярными и случайными 2D и 3D структурами. В результате исследований было показано, что для поддержки работоспособности опорных узлов ИВС доля однотипного оборудования и программного обеспечения не должна превышать значений от 10% до 15%.

Введение

Очень важной и острой проблемой обеспечения надежной работы компьютерных сетей является изучение вопросов образования групп физически связанных между собой каналами связи заблокированных (исключенных по тем или иным причинам из работы) узлов. При определенных условиях такие группы могут увеличиваться в своих количественных размерах, что может привести к общей потере работоспособности сети по передаче данных. В частности такая ситуация может возникнуть при распространении в ИВС и сетях мобильной связи эпидемии компьютерных вирусов, при которой может происходить блокирование основных узлов передачи данных и различного сетевого оборудования.

Методика исследования

В силу исторически сложившихся обстоятельств любая ИВС, начиная с уровня района, города, имеет нерегулярную структуру. Наиболее ярким примером информационно – вычислительной сети с нерегулярной структурой является Интернет. Это определяется множеством факторов, среди которых можно выделить: наличие провайдеров с различным сетевым и коммуникационным оборудованием, переменным числом абонентов с постоянно изменяющейся топологией подключения и многим другим.

Очевидно, что если заблокированных узлов будет много, то может сложиться такая ситуация при которой между двумя произвольно выбранными не близлежащими узлами А и В (не обязательно на противоположных сторонах сети) будет хотя бы один “открытый” путь (путь из неблокированных узлов).

Исследование влияния топологии сети на процесс потери её работоспособности при блокировании узлов с точки зрения обеспечения работоспособности представляется очень интересным. В данном случае мы имеем дело с задачами, похожими на те, которые решает теория перколяции:

какое будет распределение заблокированных узлов по кластерам различного размера, и при какой вероятности обнаружить отдельный узел в заблокированном состоянии вся сеть потеряет работоспособность в целом, т.е. между двумя произвольно выбранными на противоположных сторонах сети узлами А и В между ними не будет ни одного пути, не состоящего целиком из незараженных узлов (эта вероятность носит название порога перколяции, или порога протекания).

Следует отметить, что проводить натурные эксперименты в данном случае не представляется возможным, т.к. это потребует соединения в единую физическую сеть большого числа устройств. Цена такого эксперимента слишком велика для натурального моделирования. Кроме того, в связи с реконфигурации физической сети для каждого эксперимента, такая работа заняла бы слишком много человеко - часов труда. В связи с этим наиболее подходящим способом изучения процессов блокирования узлов при распространения вирусной эпидемий в компьютерных сетях представляется численное моделирование. Отметим, что для регулярных сетей типа: треугольная, квадратная, шестиугольная решетка в теории перколяции могут быть получены аналитические решения, а для нерегулярных структур только численные.

Возьмём сеть, состоящую из 1000000 узлов, при вероятности единичного заражения равной, например 0,005 и числе рассылаемых одним вирусом копий равном 100.

В качестве примера рассмотрим, как реализуются в сетях (см. рис. 1) (треугольная, квадратная, шестиугольная, $3,12^2$, сеть Кэйли со случайным числом связей для одного узла, случайная с множеством узлов между узлами) процессы перколяции данных и потери работоспособности. Для квадратной решетки порог протекания (перколяции) в задаче узлов равен 0,410, для треугольной решетки 0,602, для шестиугольной решетки 0,348; а решетки $3,12^2$ – 0,192.

В таблице 1 представлены данные, показывающие зависимость доли зараженных узлов, при которой сеть с данной структурой теряет способность к передачи данных (порог перколяции) от среднего числа связей на один узел в сети с данной структурой.

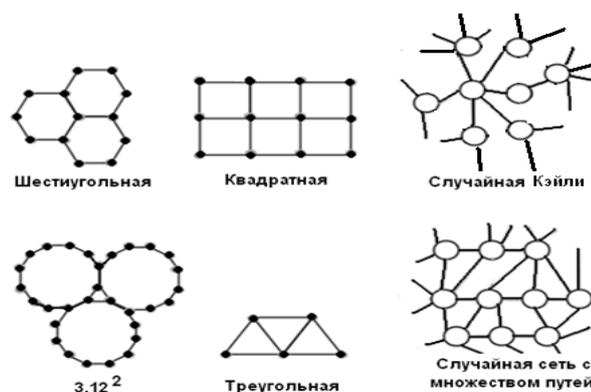


Рис. 1. Графическое представление некоторых возможных регулярных и нерегулярных 2D структур

Таблица 1

Тип сети	Число связей на один узел (для сетей со случайной структурой)	Среднее число связей на один узел в сети конечного размера с данной структурой	Среднее число связей на один узел в бесконечной сети с данной структурой (если исключить влияние границ)	Доля зараженных узлов, при которой сеть теряет способность к передаче данных (n_c)
Сеть Кэйли со случайным числом связей на один узел	от 3 до 5	1,99	4	0,210 (0,053)
	от 3 до 6		4,5	0,245 (0,054)
	от 3 до 7		5	0,280 (0,056)
	от 3 до 10		6,5	0,290 (0,045)
	от 3 до 15		9	0,365 (0,041)
	от 4 до 9		6,5	0,290 (0,045)
	от 4 до 12		8	0,335 (0,042)
	от 4 до 15		9,5	0,295 (0,031)
	от 4 до 17		10,5	0,330 (0,031)
	от 7 до 10		8,5	0,340 (0,040)
	от 7 до 15		11	0,355 (0,032)
	от 7 до 20		13,5	0,360 (0,027)
	от 10 до 15		12,5	0,350 (0,028)
от 10 до 20	15	0,440 (0,029)		
Случайная сеть с множеством путей между узлами	от 3 до 5	2,36	4	0,485 (0,121)
	от 3 до 6	2,82	4,5	0,575 (0,128)
	от 3 до 7	3,29	5	0,635 (0,127)
	от 3 до 10	4,7	6,5	0,730 (0,112)
	от 3 до 15	6,15	9	0,850 (0,094)
	от 4 до 9	4,75	6,5	0,750 (0,115)
	от 4 до 12	6,17	8	0,815 (0,102)
	от 4 до 17	9,41	10,5	0,830 (0,079)
	от 4 до 19	10,02	11,5	0,850 (0,074)
	от 7 до 10	6,75	8,5	0,825 (0,097)
	от 7 до 17	10,31	12	0,870 (0,073)
	от 10 до 15	10,69	12,5	0,865 (0,069)
	от 7 до 20	11,07	13,5	0,885 (0,066)
от 10 до 20	13,10	15	0,885 (0,059)	
Сеть Кэйли со случайным числом связей на один узел и дополнительными каналами	от 3 до 7	1,99	5	0,270 (0,054)
	от 3 до 10		6,5	0,340 (0,052)
	от 3 до 15		9	0,315 (0,035)
	от 4 до 9		6,5	0,355 (0,055)
	от 4 до 12		8	0,320 (0,040)
	от 4 до 17		10,5	0,300 (0,029)
	от 4 до 19		11,5	0,330 (0,029)
	от 7 до 10		8,5	0,340 (0,040)
	от 7 до 15		11	0,320 (0,029)
	от 7 до 17		12	0,375 (0,031)
	от 7 до 20		13,5	0,375 (0,028)
	от 10 до 15		12,5	0,375 (0,030)

	от 10 до 20		15	0,375 (0,025)
Решетка 3,12 ²	–	2,66	2,7	0,185 (0,069)
Треугольная решетка	–	5,99	6	0,525 (0,088)
Квадратная решетка	–	3,99	4	0,405 (0,101)
Шестиугольная решетка	–	2,99	3	0,305 (0,101)

Первый вывод, который позволяют сделать данные, представленные в таблице 1, говорит о том, что если в сети Кэйли со случайным числом связей на один узел добавить между узлами случайным образом какое-то число дополнительных каналов связи, то это приводит к увеличению порога перколяции (увеличение надежности).

Второй вывод, заключается в том, что случайные сети с множеством путей между узлами являются с точки зрения потери работоспособности самыми эффективными, т.к. имеют порог перколяции от 0,5 до 0,9 (см. таблицу 1).

Третий вывод заключается в том, что по своим перколяционным свойствам случайные сети с множеством путей между узлами оказываются очень близки к таким регулярным структурам. Сети Кэйли со случайным числом связей на один узел и сети Кэйли со случайным числом связей на один узел и дополнительными каналами по перколяционным свойствам близки к шестиугольной решетке и структуре 3,12².

Порог протекания (перколяции) данных позволяет взглянуть на проблему обеспечения надежности с очень важной стороны. Существующие компьютерные угрозы, как правило, используют для своего проникновения уязвимости определенного типа, которые являются различными для разных программно – аппаратных платформ, коммуникационного оборудования, программного обеспечения и т.д. которое обеспечивает работу отдельных узлов всей сети в целом. Если, например, считать, что глобальная сеть Интернет по своей топологии является структурой Кэйли со случайным числом связей на один узел и дополнительными каналами с порогом перколяции от 0,10 до 0,15, то доля однотипного оборудования и программного обеспечения для обеспечения его работоспособности также не должна превышать значений от 10% до 15% (а если случайной сетью с множеством путей между узлами, то не более 30%). Это пассивным образом может предотвратить потерю работоспособности сети в целом, несмотря на то, что работоспособность и передача данных отдельных её узлов и сегментов может оказаться блокированной вирусами. Таким образом, возможно необходимо ввести антимонопольный запрет на возможную долю рынка используемого оборудования и программного обеспечения.

Список литературы

1. А. А. Захарченко. Бой с тенью: компьютерные вирусы и причины сетевого хаоса. // Защита информации. Конфидент, 2003, № 6, с. 49 – 52.

2. Гусаров А.Н. Стратегии и алгоритмы распространения угроз в информационно-вычислительных средах. / Материалы Международной научно-технической школы – конференции «Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию», Под редакцией член – корреспондента РАН А.С. Сигова, Москва, 2008, С.75 – 80.

3. C.C. Zou, L. Gao, W. Gong, D. Towsley. Monitoring and Early Warning for Internet Worms. // Proceedings of the 10th ACM Conference on Computer and Communications Security, CCS 2003. – Washington DC, USA. – October 27-30, 2003. – ACM PRESS 2003. – ISBN 1-58113-738-9.

4. The Workshop on Rapid Malcode (WORM). – Washington DC, USA. – ACM PRESS. – October 27 2003. – ISBN 1-58113-785-0.

УДК 517.977.58

А.О. Новикова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОЖЕСТВ ДОСТИЖИМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Аннотация

Реализованы методы построения множеств достижимости управляемых систем с использованием параллельных вычислений на графических процессорах. Проведен анализ результатов для контрольных примеров, в том числе для известной задачи Ли-Маркуса.

Введение

Оптимальное управление охватывает широкий круг задач, в которых, при определённых ограничениях на ресурсы, требуется минимизировать (максимизировать) заданный критерий качества. Задачи оптимального управления встречаются в различных областях науки, техники, медицины, экономики, экологии. Актуальными являются задачи ядерной энергетики (управление охлаждением реактора), робототехники (движение роботов, управление всевозможными станками и автоматами), механики полёта (самонаводящиеся ракеты, автопилоты, автоматическая стыковка на орбите, управление самолетом), экономики (задачи долговременного планирования), экологии (расчёт допустимого воздействия на экосистему), биофизики и медицины (модели распространения эпидемии) и т. д.

В задачах оптимального управления важную роль играет множество достижимости [1]. Оно описывает все возможные положения управляемой системы в заданный момент времени.

Множество достижимости отвечает на вопрос: куда можно перейти к моменту времени t по траекториям дифференциального уравнения $x' = f(t, x, u)$, исходящим в начальный момент времени t_0 из различных точек множества

начальных значений M_0 при использовании всевозможных управлений $u(\cdot) \in Y$. Множество концов всех таких траекторий в момент времени t образует множество достижимости — $X(t_0, t, M_0)$.

Численные методы

В данной работе рассмотрены два метода построения множеств достижимости для управляемых систем: первый метод — метод, основанный на принципе максимума Понтрягина, второй — пиксельный метод [3].

Пиксельный метод основан на покрытии фазового пространства сеткой. Сетка строится в виде разбиения рассматриваемой области на квадраты (примитивы). При визуализации множество достижимости закрашивается пикселями в форме квадратов. Работа с пикселями множеств достижимости осуществляется при помощи характеристических матриц множества. Обращение к элементам матрицы осуществляется через элементы характеристической матрицы. Каждому элемент множества достижимости сопоставляется только один элемент матрицы и наоборот. Для правильного построения характеристической матрицы множества важно учитывать расположение квадратов на множестве, чтобы получить корректное соответствие элемента множества его позиции.

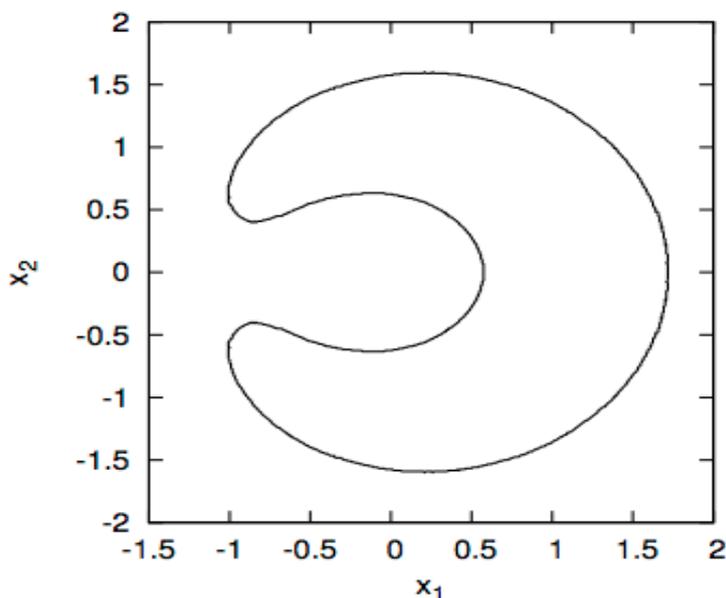


Рис. 1. Множество достижимости в задаче Ли-Маркуса.

Для начального множества M_0 характеристическая матрица строится следующим образом: множество разбивается на примитивы, в матрице на соответствующую i, j позицию примитива ставится 1, если примитив принадлежит множеству M_0 , в противном случае 0.

По матрице для множества M_0 восстанавливаются значения элементов и подставляются в формулы для решения задачи Коши.

Таким образом вычисляются точки множества достижимости на каждом шаге по времени.

Задача Коши решается одним из трех методов:

- метод Эйлера
- метод Рунге-Кутты второго порядка
- метод Рунге-Кутты четвертого порядка

В каждый момент времени t_i множеству $X(t_i)$ соответствует матрица A , элементы которой a_{mn} определяются следующим образом с помощью узлов сетки λ_{mn} :

$$a_{mn} = \begin{cases} 1, & \lambda_{mn} \in X(t_i) \\ 0, & \lambda_{mn} \notin X(t_i) \end{cases} \quad (1)$$

По этой матрице A в каждый момент времени можно однозначно построить приближение к множеству достижимости $X(t_i)$.

Предлагаемые алгоритмы позволяют эффективно разделить процедуру вычисления на множество независимых параллельных процессов.

Реализация

Разработана программа, реализующая данные методы, исследованы контрольные задачи, в частности, пример Ли-Маркуса. Результаты вычисления сопоставлены с известными аналитическими решениями [1], [2]. Для пиксельного метода исследована зависимость точности полученного результата от набора параметров. Эта зависимость отражена на рисунке 3. Описаны преимущества применяемых методов. Проведённые исследования показывают эффективность предлагаемых алгоритмов. Подготовленная программа позволила провести численные исследования множеств достижимости ряда линейных и нелинейных двумерных управляемых систем с различными областями управления и множествами начальных состояний управляемого объекта.

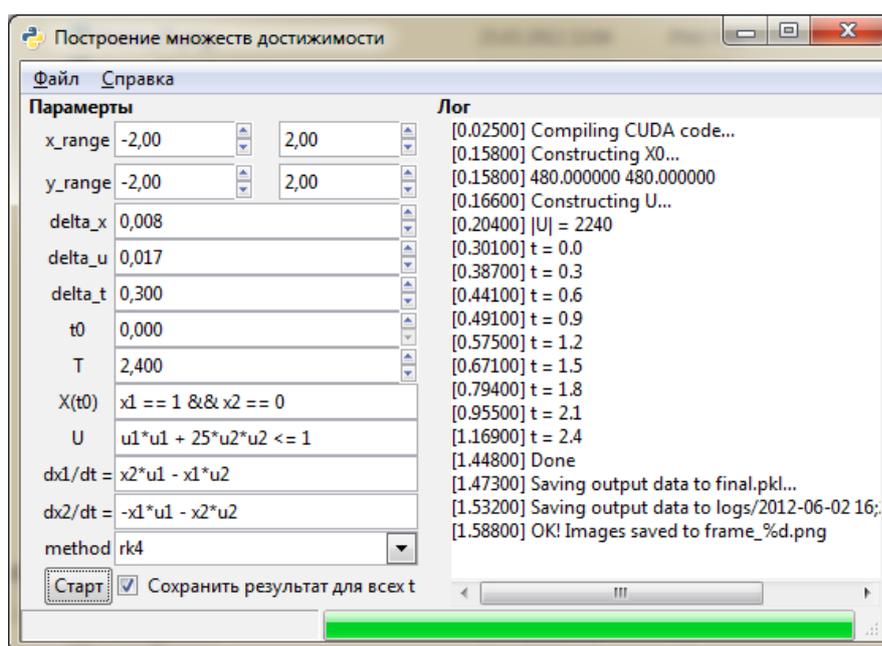


Рис. 2. Дружественный интерфейс реализованной программы.

Вывод

Разработанная программа может быть полезной при анализе управляемых моделей, представляющих прикладной интерес. Например, данный подход может быть эффективным при решении задачи оптимального программного управления ракетой-носителем типа Союз-2 [5] с целью выведения максимальной массы РН на заданные околоземные эллиптические орбиты.

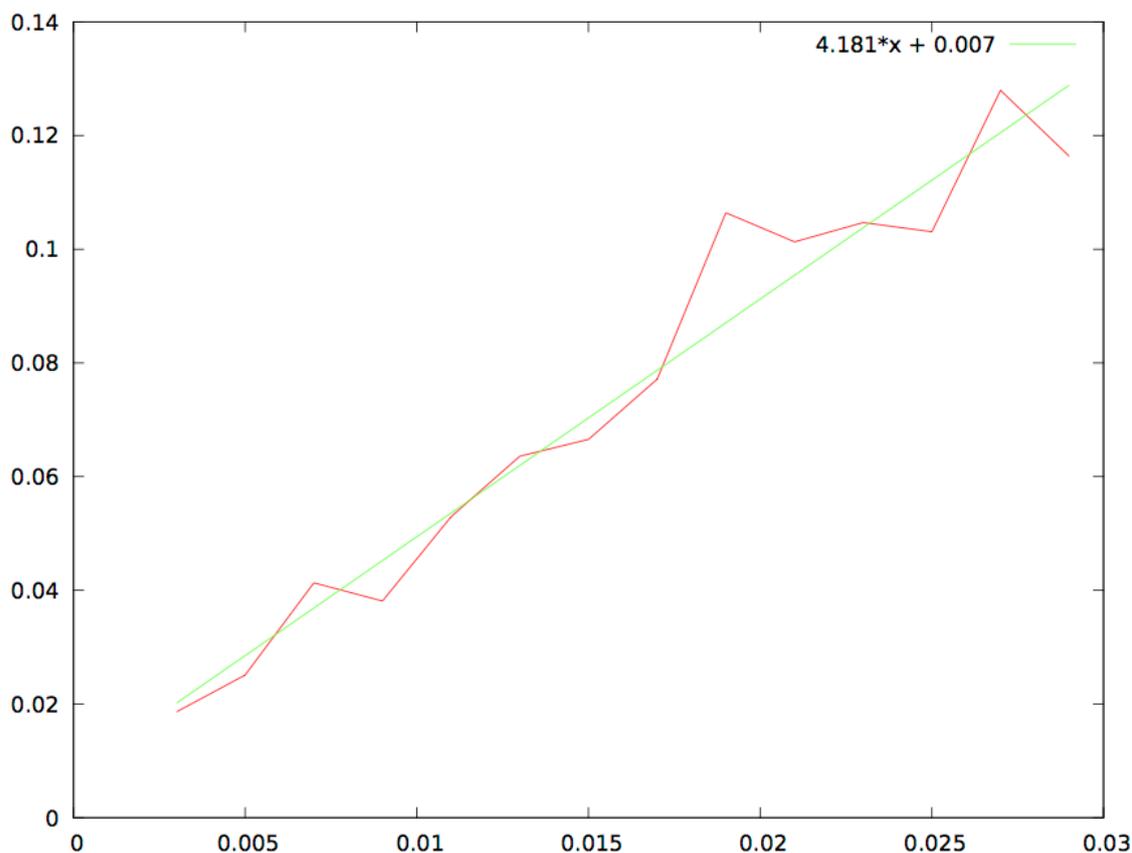


Рис. 3. Применение метода наименьших квадратов для исследования зависимости расстояния Хаусдорфа от шага разбиения сетки для задачи о математическом маятнике.

Список литературы

1. Киселёв Ю. Н., Аввакумов С. Н., Орлов М. В. Оптимальное управление. Линейная теория и приложения: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2007.
2. Киселёв Ю. Н. Построение точных решений \square для нелинейной задачи быстрогодействия специального вида: *Фундаментальная и прикладная математика*. 1997. Т. 3. Выпуск 3, с. 847–868.
3. Гусейнов Х. Г., Моисеев А. Н., Ушаков В. Н. Об аппроксимации областей достижимости управляемых систем. — *Прикладная математика и механика*. 1998. Т. 62. Выпуск 2, с. 179–187.
4. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA: Учебное пособие. М.: ДМК-Пресс, 2010.

5. Костоусова Е. К., Починский В. И. О задачах выведения ракеты-носителя на заданные эллиптические орбиты. Труды института математики и механики УрО РАН, 2011. Т. 17. Выпуск 3, с. 201–216.

6. Новикова А.О. Построение множеств достижимости. Сборник тезисов XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Ломоносов — 2012”, секция “Вычислительная математика и кибернетика”, с. 63.

УДК 517.9

М.С. Осинцев

Самарский государственный аэрокосмический университет им. Академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА С ГИБКИМ СОЧЛЕНЕНИЕМ

Аннотация

Работа посвящена анализу задачи оптимального оценивания для модели манипулятора с гибким сочленением. Для понижения размерности дифференциальной системы Риккати ковариационной матрицы фильтра Калмана-Бьюси используется метод интегральных многообразий.

Введение

Проблема разработки алгоритмов решения задач управления, способных обеспечивать допустимый уровень точности в условиях отсутствия больших вычислительных мощностей остается весьма актуальной. Как известно, задача оптимального оценивания может быть решена при помощи построения фильтра Калмана-Бьюси, доставляющего несмещенную, оптимальную, в смысле минимума дисперсии ошибки, оценку состояния системы. Основная сложность при построении данного фильтра для динамической системы

$$\dot{x} = Ax + B\dot{w}, \quad (1)$$

с уравнением наблюдения $z = Cx + \dot{v}$, заключается в необходимости отыскания численного решения матричного уравнения Риккати для ковариационной матрицы P фильтра:

$$\dot{P} = AP + PA^T - PC^T R^{-1} CP + BQB^T, \quad (2)$$

где Q - ковариационная матрица случайного воздействия \dot{w} , а R - ковариационная матрица аддитивного шума \dot{v} в канале связи. Обе случайные величины являются белыми гауссовскими некоррелированными шумами. В случае наличия в системе (1) малого параметра, система (2) становится сингулярно возмущенной и может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, y, t, \varepsilon) \\ \varepsilon \dot{y} &= g(x, y, t, \varepsilon) \end{aligned} \quad (3)$$

где ε - малый параметр [1]. Такая система состоит из быстрых, изменяющихся со скоростью порядка $1/\varepsilon$, и медленных переменных, скорость изменения которых имеет порядок единицы.

Для такой системы возможно применение метода интегральных многообразий. Суть метода заключается в выделении медленных движений системы, которые описывают качественное поведение системы. При этом быстрые движения, которые в большинстве случаев представляют собой либо быстро затухающие экспоненты, либо быстро осциллирующие периодические функции с медленно затухающей амплитудой, удаляются из рассмотрения. Это приводит, во-первых, к понижению размерности системы (2) до размерности медленной подсистемы, во-вторых, при построении фильтра Калмана-Бьюси исчезает необходимость получения численного решения системы (2) с большой частотой для точной работы фильтра, так как в системе отсутствуют быстро изменяющиеся переменные.

Манипулятор с гибким сочленением

В данной работе представлен метод понижения размерности задачи оптимального оценивания для манипулятора с гибким сочленением [2], движение которого вблизи начала координат описывается уравнениями

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{q}_1 + Mglq_1 + c(\dot{q}_1 - \dot{q}_m) + k(q_1 - q_m) &= 0, \\ J_m \ddot{q}_m - c(\dot{q}_1 - \dot{q}_m) - k(q_1 - q_m) &= \dot{w}, \end{aligned} \quad (4)$$

Для измерения доступен лишь некоторый выходной сигнал системы $z = q_1 + \dot{v}$. На практике гибкое сочленение может представлять собой металлическую пружину или упругий шарнир, обладающий достаточно большой жесткостью, поэтому можно ввести в систему малый параметр, выражение для которого задается формулой $\varepsilon^2 = 1/k$. В этом случае система (4) может быть представлена в виде:

$$\dot{x} = Ax + B\dot{w}$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\beta & 0 & -\varphi\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\varepsilon} \\ -\varepsilon I\beta\mu & 0 & -\frac{1}{\varepsilon}\gamma - \varepsilon I\varphi & -c\gamma \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \\ 0 \\ -\varepsilon I_m \end{pmatrix}.$$

$$\alpha = \frac{1}{J_1 + J_m}, \beta = Mgl\alpha, \gamma = \frac{1}{\alpha J_1 J_m}, I = \frac{1}{J_1}, I_m = \frac{1}{J_m}, \varphi = \beta J_m, \mu = \frac{1}{\alpha}$$

Несложно показать, что дифференциальная система Риккати для ковариационной матрицы фильтра для такой системы является сингулярно возмущенной.

Сравнение работы фильтров Калмана-Бьюси

Используя тот факт, что интегральные многообразия допускают разложение по степеням малого параметра [3], было построено интегральное многообразие медленных движений для системы дифференциальных уравнений Риккати матрицы ковариации фильтра с точностью $O(\varepsilon^2)$.

Уравнения на многообразии имеют вид

$$\dot{\xi} = \begin{pmatrix} 2\xi_1 - 2\frac{1}{r}\alpha J_m h_0 \xi_0 - \frac{1}{r}h_0^2 \alpha^2 J_m^2 - \frac{1}{r}\xi_0^2 \\ \xi_2 - \beta\xi_0 - \alpha\varphi h_0 - \frac{1}{r}\xi_0 \xi_1 - \frac{1}{r}\alpha J_m h_0 \xi_1 - \frac{1}{r}h_0 h_1 \alpha^2 J_m^2 - \frac{1}{r}\alpha J_m h_1 \xi_0 \\ -2\beta\xi_1 - 2\alpha\varphi h_1 - \frac{1}{r}\alpha^2 J_m^2 h_1^2 - \frac{2}{r}\alpha J_m h_1 \xi_1 - \frac{1}{r}\xi_1^2 + \alpha^2 q \\ -2\gamma c \xi_3 + 2\gamma^2 c h_2 - 2\varepsilon I \varphi h_5 - \varepsilon \frac{2}{\alpha} I \beta h_3 - \frac{1}{r}v + \varepsilon^2 \frac{q}{J_m^2} \end{pmatrix} + O(\varepsilon^3),$$

где $v = (\gamma h_0^2 + h_3^2 + \alpha^2 J_m^2 (h_5 + h_2^2 \gamma) + 2\alpha J_m (h_3 h_5 + \gamma h_0 h_2))$, а $h_0 - h_5$ - суть выражения для вычисления значений быстрых переменных на интегральном многообразии медленных движений.

Таким образом, размерность дифференциальной системы была понижена с десяти уравнений до четырех. Важно отметить тот факт, что система (5) не содержит сингулярных возмущений, поэтому ее численное решение может быть найдено с большим шагом по времени.

На рисунке 1-а) представлена траектория движения звена манипулятора при наличии внешнего случайного воздействия. В начальный момент времени звено манипулятора повернуто на некоторый угол, вследствие чего оно начинает вращаться. На рисунке 1-б) представлены графики ошибок фильтров Калмана-Бьюси. Черный график – ошибка полного фильтра, серый – ошибка фильтра на многообразии.

Из представленных результатов ясно, что точность работы фильтра на многообразии сравнима с точностью работы полного фильтра, однако для расчета фильтра на многообразии требуется значительно меньшее количество алгебраических операций. Это означает, что применение фильтра на многообразии позволит уменьшить количество необходимых вычислительных операций с сохранением точности получаемой оценки.

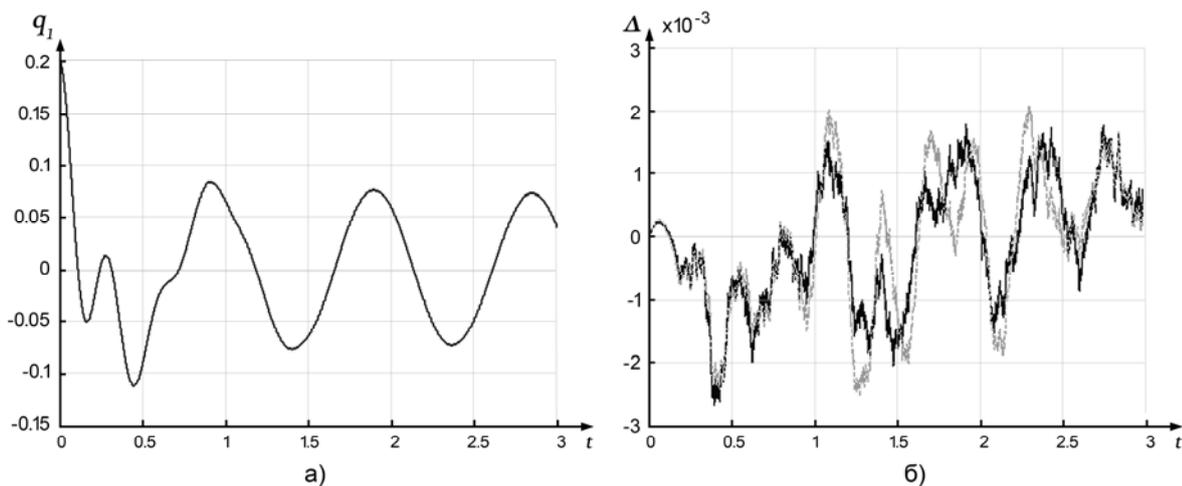


Рис. 1. а) Результат численного моделирования движения манипулятора в условиях наличия внешнего случайного воздействия; б) ошибка полного фильтра (черным) и фильтра на многообразии (серым).

Заключение

В работе рассмотрена задача оптимального оценивания для однозвенного манипулятора с гибким сочленением. В случае достаточно большой жесткости сочленения уравнения движения такого манипулятора становятся сингулярно возмущенными. При решении задачи оптимального оценивания возможно применение метода интегральных многообразий для дифференциальной системы Риккати фильтра Калмана-Бьюси и последующее рассмотрение ее решения на интегральном многообразии медленных движений.

Несмотря на то, что рассматриваются только медленные переменные, точность работы фильтра на многообразии сравнима с точностью работы полного фильтра, что подтверждают численные эксперименты, проведенные в математическом пакете MATLAB. Таким образом, применение полученного фильтра возможно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Список литературы

1. Стрыгин В. В., Соболев В. А. Разделение движений методом интегральных многообразий. М:Наука, 1988.
2. Spong M. W., Khorasani K., Kokotovic P. V. An integral manifold approach to the feedback control of flexible joint robots // IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, v. 3, № 4, p. 291–300.
3. Воропаева Н. В., Соболев В. А. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем. М: Физматлит, 2009.

ДОСТИЖЕНИЕ КОНСЕНСУСА ЗА ЗАДАННОЕ ВРЕМЯ

Аннотация

Синтезируется закон управления для достижения консенсуса за конечное время, ограниченное для любых начальных условий. Структура сети взаимодействующих агентов задается неориентированным графом с постоянными весами ребер. Модель агента описывается интегратором.

Введение

Задача достижения консенсуса является центральной проблемой децентрализованного управления мультиагентными системами [1, 5]. Отчасти такой интерес связан с применением этой теории для решения широкого круга прикладных задач коммерческого и военного характера. Типовая непрерывная модель достижения консенсуса была рассмотрена в [5], изучены вопросы разрешимости задачи и предложены разные законы (протоколы) управления. Скорость сходимости алгоритма консенсуса является важным показателем его качества. Например, для линейного алгоритма консенсуса с моделями агентов в виде интеграторов [5] второе наименьшее собственное значение лапласовской матрицы графа, которое называют алгебраической связностью, определяет скорость сходимости. Следует отметить, что увеличивая алгебраическую связность, можно получить более высокое быстродействие линейной системы, но консенсус по-прежнему будет достигаться асимптотически [8, 9]. При этом время переходного процесса существенно зависит от начальных условий.

В связи с этим появились нелинейные протоколы финитной стабилизации, обеспечивающие достижение консенсуса за конечное время. Законы финитной стабилизации могут быть как разрывными [2], [4], так и непрерывными [10]. Особенностью этих законов является точное попадание решения в положение равновесия за конечное время, зависящее от начального состояния системы. Существенным недостатком законов финитной стабилизации является необходимость точного измерения состояния системы вблизи положения равновесия и низкая скорость сходимости (в сравнении с линейным законом) вдали от него.

В [3] и [7] предложены алгоритмы глобальной финитной стабилизации за заданное время независимо от начальных условий. Такое свойство замкнутой системы получило название сверхфинитной устойчивости. Решение одной из задач управления формацией с использованием теории сверхфинитной устойчивости было предложено в [6].

Основной целью работы является синтез нового закона достижения консенсуса за заданное время, которое не зависит от начального положения агентов.

Постановка задачи

Рассмотрим мультиагентную систему, структура которой задается следующим образом: каждому агенту ставится в соответствие вершина неориентированного графа. Наличие ребра между вершинами означает, что агентам, ассоциированным с ними, доступны измерения состояния соседа. Пусть $x_i(t) \in \mathbb{R}$ – координата положения в момент времени $t \geq 0$ i -го агента. Движение каждого агента описывается интегратором

$$\dot{x}_i = u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Положим, что граф, определяющий структуру мультиагентной системы, является связным. Решается задача синтеза управления в виде обратной связи, которое 1) обеспечивает точное достижение консенсуса за предопределенное время для любых начальных условий; 2) использует локальную информацию о соседях каждого из агентов с учетом структуры графа.

Определение 1. Под достижением консенсуса в теории мультиагентных систем понимают сходимость процесса согласования характеристик, т.е. сближение состояний агентов:

$$|x_i - x_j| \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Для синтеза закона управления используются положения теории сверхфинитной устойчивости положения равновесия системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Изложим кратко необходимые в дальнейшем теоретические результаты.

Сверхфинитная устойчивость

Рассмотрим систему вида:

$$\dot{z} = g(t, z), \quad z(0) = z_0, \quad (2)$$

где $z \in \mathbb{R}^n$ и $g: \mathbb{R}_+ \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ — нелинейная функция (в общем случае разрывная). В этом случае решения (2) понимаются в смысле Филиппова. Пусть точка $z = 0$ является положением равновесия системы (2).

Определение 2. [7] Нулевое положение равновесия системы (9) будем называть глобально финитно устойчивым, если оно глобально асимптотически устойчиво и каждое решение $z(t, z_0)$ системы (2) достигает его за конечное время, т.е., $\forall z_0 \in \mathbb{R}^n \quad \exists T(z_0) \geq 0: z(t, z_0) = 0 \quad \forall t \geq T(z_0)$, где $T: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}_+ \cup \{0\}$ - функция времени установления.

Определение 3. [7] Нулевое положение равновесия системы (2) будем называть сверхфинитно устойчивым, если оно глобально финитно устойчиво и функция времени установления $T(z_0)$ ограничена, т.е.,

$$\exists T_{max} > 0: T(z_0) \leq T_{max} \quad \forall z_0 \in \mathbb{R}^n.$$

Нелинейный сверхфинитный закон управления

Прежде чем синтезировать нелинейный протокол управления, введем следующее обозначение $s^{[k]} := \text{sign}(s)|s|^k$.

Предлагается следующий нелинейный закон управления для каждого агента:

$$u_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij}(x_j - x_i), \quad i=1,2,\dots,n. \quad (3)$$

Функции ϕ_{ij} имеют вид:

$$\phi_{ij} = \alpha \left(a_{ij} (x_j - x_i) \right)^{[\mu]} + \beta \left(a_{ij} (x_j - x_i) \right)^{[\nu]}, \quad i, j=1,2,\dots,n, \quad (4)$$

где $\alpha, \beta > 0$, $0 < \mu < 1$, $\nu > 1$, $a_{ij} = a_{ji} \geq 0 \quad \forall i, j=1,2,\dots,n$.

Теорема. Положим, что граф, определяющий структуру системы, связный. Тогда протокол управления (3) с нелинейными функциями (4) обеспечивает достижение общего для всех агентов состояния $x^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(0)$ (решается задача достижения *average-consensus*) каждым агентом за время, которое глобально ограничено величиной

$$T_{\max 1} = \frac{2}{\alpha(1-\mu)} + \frac{2}{\beta(\nu-1)} \quad \forall x_0 \in R^n, \quad (5)$$

где $0 < \mu < 1$, $\nu > 1$, $\bar{\alpha} = 2^\mu \alpha \lambda_2^{\frac{\mu+1}{2}}(L_1)$, $\bar{\beta} = 2^\nu \beta n^{\frac{1-\nu}{2}} \lambda_2^{\frac{\nu+1}{2}}(L_2)$, $\lambda_2(L_1)$ и $\lambda_2(L_2)$ – алгебраические связности графов того же вида, что и исходный граф системы, но с весами ребер $a_{ij}^{\frac{2\mu}{\mu+1}}$ и $a_{ij}^{\frac{2\nu}{\nu+1}}$ соответственно, $i, j=1,2,\dots,n$.

Более точная оценка времени установления может быть получена при особом выборе параметров μ и ν .

Следствие. Если соблюдены условия теоремы и константы μ, ν закона управления имеют вид: $\mu = 1 - \frac{1}{\gamma}$ и $\nu = 1 + \frac{1}{\gamma}$, $\gamma > 1$, то оценка времени установления определяется равенством

$$T_{\max 2} = \frac{\pi \gamma n^{\frac{1}{4\gamma}}}{2\sqrt{\alpha\beta} \lambda_2^{\frac{1}{4\gamma}}(L_1) \lambda_2^{\frac{1}{4\gamma}}(L_2)}. \quad (6)$$

Формулы оценок (5) и (6) приводят к важному выводу, а именно: для мультиагентной системы априори может быть задано любое время достижения консенсуса путем надлежащего выбора параметров μ, ν (либо γ) и α, β .

Заключение

В работе синтезирован сверхфинитный закон достижения average-consensus и доказано, что гарантированное время точного достижения консенсуса может быть выбрано заранее независимо от начальных условий (сверхфинитная сходимоссть). Основная теорема дает довольно консервативную оценку на время установления, более точная оценка может быть получена с использованием следствия.

Список литературы

1. Агаев Р.П., Чеботарев П.Ю. Сходимость и устойчивость в задачах согласования характеристик (Обзор базовых результатов) // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении», 2010. С. 470-505.
2. Cortés J., Finite-time convergent gradient flows with applications to network consensus, *Automatica*, 42(11): 1993-2000, 2006.
3. Cruz-Zavala E., Moreno J.A., Fridman L.M., Uniform robust exact differentiator, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 56(11): 2727-2733, 2011.
4. Hui Q., Haddad W.M., Bhat S.P., Finite-time semistability, Filippov systems, and consensus protocols for nonlinear dynamical networks with switching topologies, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 4(3): 557-573, 2010.
5. Olfati-Saber R., Murray R.M., Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 49(9): 1520-1533, 2004.
6. Parsegov P., Polyakov A., Shcherbakov P., Nonlinear fixed-time control protocol for uniform allocation of agents on a segment, *Proc. CDC-2012*, pp. 7732-7737, 2012.
7. Polyakov A., Nonlinear feedback design for fixed-time stabilization of linear control systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 57(8): 2106-2110, 2012.
8. Shafi Y., Arcak M., El Ghaoui L., Graph weight design to meet Laplacian spectral constraints, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 57(7): 1872-1877, 2012.
9. Xiao L., Boyd S., Fast linear iterations for distributed averaging, *Syst. Control Lett.*, 53(1): 65-78, 2004.
10. Wang L., Xiao F., Finite-time consensus problems for networks of dynamic agents, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 55(4): 950-955, 2010.

ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

Аннотация

В статье сформулирована технология построения интегральных критериев оценки эффективности для сложных антропогенных систем, Представлен иерархический подход, заключающийся в поэтапном конструировании критерия. Выделены общие требования к интегральному критерию оценки эффективности, а также принципы свёрстки критериев оценки эффективности.

Оценка эффективности различных объектов и процессов в различных областях деятельности человека ещё на стадии разработки может позволить во многом сократить ресурсы, связанные с их последующим производством и применением. Для этих целей необходим инструментарий, устанавливающий определенные правила решения таких задач. Таким инструментарием может стать комплексный оценочный критерий, который сможет выделить круг частных показателей эффективности, увязав их воедино по определённым правилам, подчинённым общей цели оценки. Современное развитие техники требует для оценки эффективности деятельности объектов четких алгоритмов построения оценочных критериев. Специалистами предпринимаются попытки разработки интегральных критериев эффективности, которые бы в численном выражении давали наиболее точную оценку свойств объекта. Построение критерия эффективности является сложным процессом, что обусловлено наличием многочисленных требований и множеством подходов к решению данной задачи.

В общем случае применение оценочных критериев может быть связано с решением следующих задач:

- Для оценки эффективности реализуемых системами процессов;
- Для идентификации системы, эффективность которой является оптимальной для заданных условий;
- Для принятия оптимального решения по управлению системой.

Задача разработки интегрального критерия эффективности определяет ряд требований к критерию [2].

1. Критерий оценки эффективности должен быть объективно определен, т.е. физически измеримой величиной.
2. Оценка эффективности требует цельного охвата системы. Процедура оценки эффективности может быть как математической, так и экспертной.
3. Структура интегрального критерия должна быть удобной для практического использования.
4. Необходимо чтобы критерий включал минимальное число параметров.

5. Критерий должен отвечать следующим локальным требованиям:

- сопоставлять полезный эффект и затраты на его обеспечение;
- определять различного рода ограниченные ресурсы;
- отражать многоуровневый подход;
- учитывать неопределенности.

В результате изучения ряда работ, посвящённых оценке эффективности в различных областях был сформулирован подход, определяющий принципы и технологию построения оценочных критериев [3]. Разработка оценочного критерия основана на определении эффективности применительно к рассматриваемой системе. Под эффективностью сложной системы принимается мера её приспособленности к достижению ее целевого назначения. В общем случае целевым назначением или целью системы является удовлетворение тех или иных потребностей в результате реализуемых системой функций.

Порядок конструирования интегральных критериев имеет иерархическую схему, заключающуюся в поэтапном конструировании критерия, когда оценка эффективности каждого следующего уровня иерархической системы осуществляется с учетом уже полученной оценки подсистемы предыдущего уровня. Иерархический подход к задаче синтеза комплексных критериев оценки эффективности определяется применением следующей методики [1]:

- Формулируется целевая функция системы, отражающая обобщенный показатель эффективности системы. Целевая функция может определяться единой (главной) целью системы, или составом целей. Исходная цель разбивается на совокупность более частных, но и более простых и конкретных подцелей, часть которых, в дальнейшем также разбивается на подцели. Процесс нахождения таких подцелей является квантификацией цели. Процесс квантификации приводит к построению многоуровневого дерева целей. Число уровней иерархии определяется числом этапов квантификации, что зависит от степени детализации, требуемой для получения на нижнем уровне дерева полного набора локальных целей определяющих перечень частных показателей эффективности системы.

- Для обоснования допустимости последующей свертки полученного набора целей проверяется их измеримость и сравнимость. Измеримость может характеризоваться качественными и количественными показателями. Критериальная оценка эффективности системы предусматривает использование количественных показателей эффективности. Сравнимость локальных целей определяется требованием соотношения предпочтительности или эквивалентности.

- С учетом полученной квантификации обобщенной целевой функции системы производится разбиение исходной системы на иерархически связанные подсистемы так, чтобы на нижнем уровне иерархии были получены подсистемы, отражающие соответствие частным показателям эффективности системы.

- Далее производится нормализация и приведение частных показателей эффективности. Нормализация представляет процедуру приведения частных физически разнородных показателей эффективности к единому безразмерному масштабу измерения. Большинство применяемых способов нормализации основывается на введении понятия решения X , обладающего идеальным значением вектора $K^{\Pi}(x)$. С помощью $K^{\Pi}(x) = (k_i^{\Pi})$ вектор критериев $K(x)$ приводится к безразмерной форме $k_i = k_i / k_i^{\Pi}$. Каждая компонента принадлежит диапазону $[0, 1]$.

Для практического выполнения нормализации можно использовать выражение:

$$E = \varphi(k_1, \dots, k_m) = \sum_{i=1}^l \frac{(k_i^0 - k_i)}{(k_i^0 - k_i^{\min})} + \sum_{j=l+1}^m \frac{(k_j - k_j^0)}{(k_j^{\max} - k_j^0)}; \quad (1)$$

где: k_i^{\min} , $i = \overline{1, l}$; k_j^{\max} , $j = \overline{1+l, m}$ - наименьшие значения для минимизируемых и наибольшие для максимизируемых критериев по множеству альтернатив.

Приведение производится для учёта неравнозначности частных показателей эффективности при их включении в обобщающий критерий эффективности системы. Для этого определяются коэффициенты важности критериев:

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l), \sum_{i=1}^l \lambda_i = 1; \quad (2)$$

где: λ_l - коэффициент важности критерия k_i .

Определение коэффициентов важности критериев может быть проведено с использованием формальных процедур, либо применением экспертных оценок. В общем случае для выравнивания влияния каждого из критериев необходимо привести диапазоны изменения частных критериев к диапазону $[0;1]$. В результате нормализации и учета приоритетов критериев образуется комплексная оценка, представляющая обобщённый критерий эффективности системы:

$$k(a) = (\lambda_1 k_1(a), \lambda_2 k_2(a), \dots, \lambda_l k_l(a)); \quad (3)$$

где: $k_i(a)$ - нормированный критерий.

• Полученная совокупность частных показателей эффективности может быть преобразована в комплексный критерий эффективности системы с использованием одного из существующих принципов свертки. Методы свертывания частных показателей критерия эффективности в обобщающий показатель в общем виде представляют задачу экстремизации частных показателей:

$$k(a) \rightarrow \underset{a \in A}{extr}. \quad (4)$$

где $k(a)$ - обобщающий критерий, представляющий собой некоторую функцию от значений частных показателей эффективности:

$$k(a) = f(k_1(a), k_2(a), \dots, k_l(a)); \quad (5)$$

Функция f является сверткой компонентов обобщающего критерия.

Конструирование комплексного критерия представляет собой итерационную процедуру. На первом этапе производится конструирование критерия эффективности для подсистем самого нижнего уровня иерархии, определяемого уровнем квантификации обобщённого показателя эффективности системы. Эффективность каждой подсистемы нижнего уровня иерархии определяется исходя из частных показателей эффективности. На следующем этапе выполняется построение критерия эффективности для подсистем следующего более высокого уровня иерархии, который включает полученные ранее критерии оценки эффективности в качестве частных, и т.д. Указанная процедура позволяет выполнять конструирование комплексного критерия оценки эффективности.

На каждом иерархическом уровне свертка показателей эффективности подсистем в обобщённый показатель производится с использованием одного из

принципов свёртки [4]. Ряд основных принципов, применяемых для свёртки частных показателей эффективности представлен в таблице 1.

Таблица 1

Принципы свёртки частных показателей эффективности

№ п/п	Принцип свёртки критерия	Выражение функции свёртки критерия
1.	Принцип максимина	$opt_1 K(x) = \max_{x \in X_k} \min k_i(x);$
2.	Принцип квазиравенства	$opt_2 K(x) = (K(x) k_{i1}(x) - k_{i2} \leq \delta, i_1, i_2 \in I, x \in X);$
3.	Принцип абсолютной уступки.	$opt_3 K(x) = \left(K(x) \sum_{i \in I_1} \Delta k_i(x, x') \geq \sum_{i \in I_2} \Delta k_i(x, x') , x \in X^k, x' \in X^k \right);$
4.	Принцип максимума аддитивности.	$opt_4 K(x) = \max_{x \in X^k} \sum_{i \in I} k_i(x);$
5.	Принцип относительной уступки	$opt_5 K(x) = \max_{x \in X^k} \prod_{i \in I} k_i(x);$ или $opt_5 K(x) = \max_{x \in X^k} \sum_{i \in I} \log k_i(x);$
6.	Принцип выделения главного критерия	$opt_6 K(x) = \max K(x);$
7.	Принцип максимизации взвешенной суммы критериев	$opt_7 K(x) = \max_{x \in X^k} \sum_{i \in I} a_i k_i(x); \quad \sum_{i \in I} a_i = 1;$
8.	Принцип максимизации мультипликативности	$opt_8 K(x) = \max_{x \in X^k} (1 - \prod_{i \in I} [1 - k_i(x)])$
9.	Принцип, основанный на использовании аппарата нечетких множеств с учетом неопределенности	$opt_9 K = \max_{x \in X} \mu_k;$

Выбор принципа свертки критерия зависит от характера показателей эффективности и целей оценивания системы.

- В результате выполнения свёртки частных показателей эффективности на каждом иерархическом уровне, определяемом квантификацией целевой функции, на самом верхнем уровне будет получен интегральный критерий эффективности, отвечающий общей целевой функции рассматриваемой системы.

Представленный метод позволяет выполнять конструирование интегральных критериев для оценки эффективности различных объектов и процессов в различных областях деятельности человека.

Список литературы

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении //Учебное пособие Москва Изд-во «Финансы и статистика» 2003. - 367 с.
2. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М: Радио и связь, 1981. - 560 с.
3. Николаев В.Л. Брук В.М. Системотехника: методы и приложения // Ленинград: изд-во Машиностроение, 1985. - 199 с.
4. Самойленко А.П., Черный С.А Прикладные элементы теории эффективности архитектур объектно ориентированных ЭВМ. // Учебное пособие Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. - 79 с.

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ ВРЕМЕНЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА

Аннотация

На основе блочного подхода [1] и фракционного анализа [2] предложен подход к синтезу систем с дискретным временем в задаче стабилизации. Декомпозиция исходной задачи на цепочку последовательных элементарных подзадач меньшей размерности позволяет синтезировать регулятор по упрощенной модели объекта.

Введение

В работе рассмотрен вопрос адаптации известных методов синтеза непрерывных систем к микропроцессорной реализации. Предложен метод построения дискретных моделей объектов управления на основе блочного подхода и метода разделения движений. Для точного разностного представления требуется получить аналитическое решение дифференциальных уравнений (ДУ). Для линейных систем решение ДУ записывается в явном виде, однако возникают известные трудности в случае большой размерности системы. Для нелинейных систем в общем случае получить аналитическое решение не представляется возможным. Предложенный метод позволяет разделить поиск фундаментального решения систем высокой размерности на независимые подзадачи меньшей размерности. Тот факт, что каждая подзадача полученной блочной формы является элементарной, позволяет в процессе пошагового синтеза задачи стабилизации компенсировать нестационарные и нелинейные составляющие модели объекта управления и осуществить конечношаговую сходимости в дискретной модели.

Конструктивной основой работы является блочный подход, который состоит из двух этапов. Первый этап включает в себя анализ структурных свойств математической модели объекта, который определяет разрешимость поставленной задачи (стабилизации, слежения, наблюдения и т.п.). С целью понизить размерность задачи уже на этапе анализа, вводятся пошаговые процедуры невырожденных преобразований математической модели объекта управления к блочной форме, которая отражает структурные свойства исходной системы. Отмечая тот факт, что блочная форма может быть представлена как цепочка интеграторов, на основе метода разделения движений проводится построение дискретного представления объекта. На основе полученной блочной формы на втором этапе осуществляется блочный синтез в терминах преобразованных координат, который сводится к последовательному решению элементарных подзадач, размерности которых соответствуют индексам управляемости блочной формы.

Необходимо также заметить, что «разделение движений» обычно вводится в систему искусственно, на этапе синтеза обратной связи. В данной работе предлагается использовать анализ структуры объекта, который сопровождает построение БФУ. Такой анализ, предшествующий этапу синтеза, обеспечивает соответствие корней замкнутой системы естественным свойствам объекта.

Построение дискретной модели

Рассмотрим математическую модель линейной непрерывной многомерной стационарной системы

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния, $u \in R^m$ – вектор управления, $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times m}$ – известные матрицы с постоянными коэффициентами, пара (A, B) управляема. Как показано в [1], управляемая система (1) с помощью неособого преобразования может быть представлена в виде БФУ:

$$\dot{x}_j = \sum_{i=r}^j A_{ji} x_i + B_j x_{j-1}, j = \overline{r, 0}, x_{-1} = u. \quad (2)$$

Согласно теории размерности, единицы измерения всех участвующих в описании задачи величин могут выбираться произвольным образом. Тогда с помощью неособой замены переменных систему (2) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}_j &= k_j \bar{x}_j + \bar{x}_{j-1}, j = \overline{r, 1} \\ \dot{\bar{x}}_0 &= \sum_{i=r}^0 \tilde{A}_{0i} \bar{x}_i + B_0 u \end{aligned} \quad (3)$$

где $k_l > k_n$, если $l < n$. Тогда можно рассматривать систему (3) с помощью методов разделения движений [2]. Постоянная времени для блока переменных x_0 определяется ограничениями на управляющие воздействия. Утверждается, что для системы вида (3), последовательно применяя метод разделения движений, т.е. последовательно выбирая масштаб времени T^* , соответствующий рассматриваемому блоку переменных, можно построить дискретную математическую модель с заданной точностью ε . Для наглядности, рассмотрим подробнее первый шаг дискретизации. Характерное время нулевого звена выберем равным $T_0 < (1/k_j) \forall j$. В нулевом приближении система (3) имеет вид регулярно-возмущённой системы ОДУ:

$$\begin{aligned} \dot{x}_r &= 0 \\ \dot{x}_j &= 0, j = \overline{r-1, 1} \\ \dot{x}_0 &= \sum_{i=r}^1 A_{0i} x_i(0) + A_{00} x_0 + B_0 u(0) \end{aligned} \quad (4)$$

Для системы (4), в силу оговоренных условий задачи можно записать точное аналитическое решение соответствующей задачи Коши. Условия

существования и единственности выполняются в силу рассуждений, приведённых выше:

$$x_j(t) = x_j(0) = \text{const}, j = \overline{r, 1}$$

$$x_0(t) = \exp(A_{00}t)x_0 + (I - \exp(A_{00}t)) \left(\sum_{i=r}^1 A_{0i}x_i(0) + B_0u(0) \right) \quad (5)$$

Выделенная подзадача для блока переменных x_0 обладает рядом преимуществ при синтезе обратной связи. Полный ранг матрицы B_0 позволяет отнести задачу к классу элементарных, а пониженная размерность снижает вычислительную нагрузку.

Последовательно применяя аналогичные рассуждения для каждого блока переменных, получим приближённые решения с требуемой точностью для системы (4), поскольку такая декомпозиция позволит организовать вложенные разновременные циклы расчета алгоритмов управления – в более «медленных» подсистемах интервал дискретизации по времени больше, чем в более «быстрых».

Двигатель постоянного тока

Математическая модель ДПТ с независимым возбуждением описывается системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= a_{21}(x_3x_4 - m_L), \\ \dot{x}_3 &= a_{32}(u_1 - x_2x_4 - a_{31}x_3), \\ \dot{x}_4 &= a_{41}(u_2 - f(x_4)), \end{aligned} \quad (6)$$

где x_1 – угол поворота вала двигателя; x_2 – угловая скорость; x_3 – ток якоря; x_4 – магнитный поток; u_1, u_2 – напряжение якоря и обмотки возбуждения, соответственно; момент нагрузки m_L в работе полагается постоянной величиной. Положительные коэффициенты $a_{21}, a_{31}, a_{32}, a_{41}$ зависят от параметров конструкции ДПТ. Для построенной математической модели необходимо получить дискретное представление [3], и в терминах новой системы решить задачу стабилизации в предположении о том, что все переменные состояния доступны для измерения.

Конструкция микропроцессорного устройства определяет последовательность моментов квантования $\{t_k\}_{k=0}^{\infty}$. Для удобства изложения можно все последовательности значений функций $x(t_k)$ записывать как $x(k)$. В работе интервал квантования полагался постоянным, обозначим $(t_{k+1} - t_k)$ за T . Тогда дискретное представление всей системы (6) будет иметь вид

$$\begin{aligned}
x_1(k+1) &= x_1(k) + Tx_2(k), \\
x_2(k+1) &= x_2(k) + Ta_{21}(x_3(k)x_4(k) - m_L(k)), \\
x_3(k+1) &= x_3(k)e^{-a_{31}a_{32}T} + \frac{u_1(k) - x_2(k)x_4(k)}{a_{31}a_{32}}(1 - e^{-a_{31}a_{32}T}), \\
x_4(k+1) &= x_4(k)e^{-a_{41}c_kT} + \left(1 - e^{-a_{41}c_kT}\right) \frac{u_2(k) - d_k}{c_k}
\end{aligned} \tag{7}$$

Полагая x_2 фиктивным управлением в уравнении для x_1 , назначаем последовательность фиктивных управлений $x_2(k) = -x_1(k)/T$.

Для того, чтобы обеспечить необходимые значения x_2 , рассмотрим второе уравнение из (3). Приравняв записанные в соответствующие моменты времени выражения для $x_2(k)$ из (3) и (4), выразим фиктивное для x_2 управление $x_3(k-1)$, которое обеспечит $x_2(k)$:

$$x_3(k-1) = \frac{1}{x_4(k-1)} \left(\frac{1}{T_k a_{21}} \left(\frac{x_1(k)}{T_k} - x_2(k-1) \right) + m_L \right).$$

Выразим u_1 из 3-го уравнения из системы (3):

$$u_1(k-2) = x_2(k-2)x_4(k-2) + \frac{a_{31}a_{32}(x_3(k-1) - x_3(k-2)e^{-a_{31}a_{32}T})}{1 - e^{-a_{31}a_{32}T}}.$$

При отсутствии ограничений на управление, задача обеспечения заданного значения величины потока $x_{4d}(k)$ решается за один шаг, и выражение для напряжения на статоре принимает вид

$$u_2(k) = c_k \frac{x_{4d}(k+1) - x_4(k)e^{-a_{41}c_kT}}{1 - e^{-a_{41}c_kT}} + d_k,$$

где c_k, d_k – коэффициенты, вычисляемые через приближение значения функции намагничивания. Сформированные таким образом управляющие воздействия позволяют решить задачу стабилизации в условиях полных измерений.

Список литературы

1. Принцип блочного управления / Дракунов С.В., Изосимов Д.Б., Лукьянов А.Г., Уткин В.А., Уткин В.И. // Автоматика и Телемеханика, 1990. Часть 1. №5. С.38–47; Часть 2. №6. С.20–32.
2. Новожилов, И.В. Фракционный анализ – М.: Издательство МГУ, 1991. – 192 с.
3. Куо, Б. Теория и проектирование цифровых систем управления – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

СИНТЕЗ ТОЧНОСТНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБЪЕКТА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА В СОСТАВЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация

Рассматривается алгоритм синтеза точностного регулятора на примере объекта третьего порядка с одним входом и одним выходом. Объект записывается в форме Коши, при синтезе используется процедура LQ -оптимизации и восстановление вектора состояния объекта при помощи прямого наблюдателя.

Введение

Подзадача синтеза точностного регулятора возникает в частотном адаптивном управлении [1], использующем идентификационный алгоритм [2]. Уравнение объекта имеет вид:

$$\begin{cases} x(k) = Ax(k-1) + bu(k-1) + f(k-1), \\ y(k) = cx(k), \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

где $x \in R^n$ — вектор состояния объекта, $n = 3$ — порядок объекта, $u \in R^n$ — управление, $y \in R^1$ — выход объекта, $f \in R^n$ — неизмеряемое внешнее возмущение, ограниченное известным числом: $|f| \leq f^*$. Требуется построить регулятор по выходу

$$u(k) + g_1 u(k-1) + g_{n-1} u(k-n+1) = r_0 y(k) + \dots + r_{n-1} y(k-n+1) \quad (2)$$

так, чтобы в замкнутой системе под действием внешнего возмущения удовлетворялось требование точности, начиная с некоторого момента времени k^* , определяющим переходный процесс:

$$|y(k)| \leq y^*, \quad k > k^*.$$

Алгоритм синтеза регулятора

Алгоритм синтеза регулятора состоит из пяти этапов.

Первый этап.

Вначале найдём оптимальное управление $u(k) = Kx(k)$, доставляющее минимум функционалу J на возмущённых движениях системы:

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} (x^T(k) Q x(k) + R u^2(k)), \quad (3)$$

здесь $Q = c^T \begin{pmatrix} f^* \\ y^* \end{pmatrix}^2 c$ — матрица [1], определяющая точность управления; $R=1$.

Эта задача решается с помощью алгебраического уравнения Риккати. Пусть вектор–строка $K \in R^{1 \times 3}$ найден:

$$u(k) = Kx(k). \quad (4)$$

Неизвестный вектор $x(k)$ найдём с помощью прямого метода восстановления [3]. Для этого запишем три уравнения объекта в матричной форме:

$$\bar{y} = L^0 x(k-2) + l_1 u(k-2) + l_2 u(k-1), \quad (5)$$

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} y(k-2) \\ y(k-1) \\ y(k) \end{bmatrix}, \quad L^0 = \begin{bmatrix} c \\ cA \\ cA^2 \end{bmatrix}, \quad l_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ cb \\ cAb \end{bmatrix}, \quad l_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ cb \end{bmatrix}.$$

Уравнение (5) можно переписать как:

$$\psi(q)y(k) = q^2 L^0 x(k) + [l_1 \ l_2] \phi(q)u(k),$$

где $\psi^T(q) = [q^2 \ q \ 1]$, $\phi^T(q) = [q^2 \ q]$, q — оператор сдвига: $q^i x(k) = x(k-i)$.

Отсюда следует:

$$q^2 x(k) = l(q)u(k) + \lambda(q)y(k), \quad (6)$$

где $l(q) = -(L^0)^{-1}[l_1 \ l_2]\phi(q)$, $\lambda(q) = (L^0)^{-1}\psi(q)$.

Применив наблюдатель (6) к регулятору (3), получим регулятор по выходу

$$[q^2 - Kl(q)]u(k) = K\lambda(q)y(k), \quad (7)$$

здесь порядок числителя больше чем порядок знаменателя на единицу, т.е. регулятор (7) нереализуем.

Второй этап. Составляем расширенную систему. Для реализуемости регулятора введём новые переменные:

$$x_4(k) = u(k), \quad x_5(k) = \frac{x_4(k+1) - x_4(k)}{h}, \quad \mu(k) = \frac{x_5(k+1) - x_5(k)}{h}, \quad (8)$$

$$\bar{x}^T(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k) \ x_4(k) \ x_5(k)], \quad \tilde{x}(k) = \begin{bmatrix} x_4(k) \\ x_5(k) \end{bmatrix}. \quad (8')$$

Запишем теперь систему с вектором состояния $\bar{x}(k)$ и управлением $\mu(k)$ в форме Коши:

$$\bar{x}(k) = \Phi \bar{x}(k-1) + p\mu(k-1), \quad (9)$$

где $\Phi \in R^{5 \times 5}$, $p \in R^5$, член $\mu(k)$ — сигнал управления этой расширенной системы. Таким образом, ставится задача поиска оптимального закона управления для системы (9) в смысле функционала

$$\bar{J} = \sum_{k=0}^{\infty} \{x^T(k)Qx(k) + x_4^2(k) + \varepsilon_1^2 x_5^2(k) + \varepsilon_2^2 [\mu(k)]^2\}, \quad (10)$$

где $\varepsilon_i^2 = \frac{C_2^i}{5^{2i} \omega_{cp}^{2i}}$ — достаточно малые коэффициенты [3], которые зависят от частоты среза системы ω_{cp} , а C_2^i — число сочетаний из 2 по i . Выражение (10) с учетом обозначений (8) переписывается как

$$\bar{J} = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ x^T(k) \bar{Q} x(k) + \bar{R} \mu^2(k) \right\}, \quad (11)$$

который с точностью до обозначений совпадает с функционалом (3).

Выражение (8) может быть записано как:

$$\begin{cases} x_4(k+1) = hx_5(k) + x_4(k), \\ x_5(k+1) = x_5(k) + h\mu(k). \end{cases} \quad (12)$$

С учетом уравнения объекта (1) и выражения (12), расширенная система управления (9) запишется как:

$$\begin{cases} x(k) = Ax(k-1) + bx_4(k-1) \\ x_4(k) = hx_5(k-1) + x_4(k-1), \\ x_5(k) = x_5(k-1) + h\mu(k-1). \end{cases} \quad (13)$$

С учетом (13) матрицы системы (9) в блочной форме записи примут вид:

$$\Phi = \begin{bmatrix} A & B \\ 0_3^2 & G \end{bmatrix}, \quad p^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ h],$$

где $\Phi \in R^{5 \times 5}$, $p \in R^5$, 0_3^2 — обозначение нулевой матрицы размером 2×3 ,

$B = [b \ 0_1^3] \in R^{3 \times 2}$, $G = \begin{bmatrix} 1 & h \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in R^{2 \times 2}$, а матрицы \bar{Q}, \bar{R} функционала (11) примут

вид:

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} & & & 0 & 0 \\ & Q & & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \varepsilon_1^2 \end{bmatrix}, \quad \bar{R} = \varepsilon_2^2, \quad (14)$$

где $Q \in R^{3 \times 3}$.

На третьем этапе для системы (9) ищется оптимальное в смысле (11) управление

$$\mu(k) = \bar{K} x(k), \quad \bar{K} \in R^5. \quad (15)$$

На четвертом этапе составляется уравнение регулятора по выходу. Для этого представим выражение (15) в виде

$$\mu(k) = \tilde{u}(k) + K^{[2]} \tilde{x}(k), \quad \tilde{u}(k) = K^{[1]} x(k). \quad (16)$$

Тогда \bar{K} запишется как $[K^{[1]} K^{[2]}] = \bar{K}$, здесь $K^{[1]}$ — строка длины 3, $K^{[2]}$ — строка длины 2.

Заметим, что справедливо выражение

$$u(k) = \tilde{c}\tilde{x}(k) \quad (17)$$

где $\tilde{c} = [1 \ 0]$

С учетом (16) и (17) выражение (12) запишется в компактной форме:

$$\begin{cases} \tilde{x}(k+1) = \tilde{A}\tilde{x}(k) + \tilde{b}\tilde{u}(k), \\ u(k) = \tilde{c}\tilde{x}(k), \end{cases} \quad (18)$$

с матрицами $\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & h \\ hK^{[2]}(1) & hK^{[2]}(2) + 1 \end{bmatrix}$, $\tilde{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ h \end{bmatrix}$.

Для получения уравнения регулятора запишем выражение, связывающее $\tilde{u}(k)$ и $u(k)$ в системе (18):

$$u(k) = \tilde{c}(Iz - \tilde{A})^{-1}\tilde{b}\tilde{u}(k). \quad (19)$$

$$c(Iz - A)^{-1}\tilde{b} = \frac{\xi(z)}{\tilde{d}(z)}, \quad (21)$$

где z — оператор сдвига: $z^i x(k) = x(k+1)$.

По построению $\xi(z) = h^2$,

$$\tilde{d}(z) = z^2 + z(-hK^{[2]}(2) - 2) + hK^{[2]}(2) - h^2 K^{[2]}(1) + 1.$$

Добавив к (19) уравнение наблюдателя (6) $q^2 x(k) = l(q)u(k) + \lambda(q)y(k)$, с учетом обозначений (21), (16) получим:

$$\tilde{d}(z)u(k) = h^2 K^{[1]}x(k),$$

откуда

$$\tilde{d}(q)u(k) = h^2 K^{[1]}(l(q)u(k) + \lambda(q)y(k)), \quad (22)$$

где $\tilde{d}(q) = z^{-2}\tilde{d}(z)$.

Регулятор (22) окончательно примет реализуемый вид:

$$(\tilde{d}(q) - h^2 K^{[1]}l(q))u(k) = h^2 K^{[1]}\lambda(q)y(k).$$

Список литературы

1. Александров А.Г. Частотное адаптивное управление устойчивым объектом при неизвестном ограниченном возмущении // *АиТ*. 2000. № 4. С. 106-116.
2. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981.
3. Александров А.Г. Синтез регуляторов многомерных систем. М.: Машиностроение, 1986.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СЕПАРАТНЫХ КАНАЛОВ МНОГОСВЯЗНОЙ САУ

Аннотация

В данной статье предлагается методика расчёта коэффициентов пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора на основе анализа частотной передаточной функции отдельных подсистем МСАУ.

Введение

К многосвязным системам автоматического управления (МСАУ) относятся системы управления и регулирования, имеющие несколько связанных между собой регулируемых величин y_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Данные системы характеризуются невысоким качеством работы – длительным временем переходного процесса, наличием статической ошибки и существенным перерегулированием [3], поэтому эффективней использовать пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Методики расчета параметров для данного класса систем требуют множество математических расчетов и достаточно сложны для применения [4]. Поэтому разработка методики расчета коэффициентов ПИ регулятора для МСАУ является актуальной.

Постановка задачи

Рассмотрим МСАУ с гомогенными подсистемами. Каждый отдельный канал описывается структурной схемой, представленной на Рис. 1.

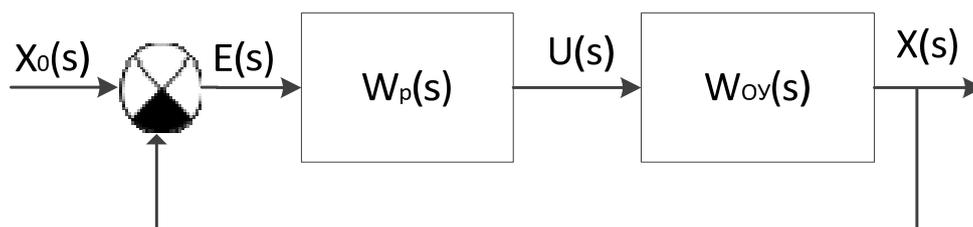


Рис. 1 – Структурная схема подсистемы МСАУ

где $W_p(s)$ – регулирующее устройство, $W_{oy}(s)$ – объект управления.

Данная система описывается уравнениями (1):

$$X(s) = U(s)W_{oy}(s); U(s) = E(s)W_p(s); E(s) = X_0(s) - X(s); \quad (1)$$

где $U(s)$, $X(s)$, $X_0(s)$, $E(s)$ – соответственно регулируемый, управляющий, управляемый сигнал и значение ошибки.

Требуется разработать методику расчёта коэффициентов ПИ регулятора на основе анализа частотной передаточной функции отдельных подсистем МСАУ.

Анализ частотной передаточной функций сепаратного канала

Рассмотрим сепаратный канал в составе МСАУ, работающий в автономном режиме. Разомкнутая передаточная функция в частотной области имеет вид:

$$W(s) = \frac{K_{\Pi}s + K_{И}}{T_1s^3 + T_0s^2 + s} \rightarrow W(j\omega) = -\frac{K_{И} + jK_{\Pi}\omega}{T_0\omega^2 + j\omega(T_1\omega^2 - 1)}; \quad (2)$$

Данное уравнение описывает частотную передаточную функцию, с помощью которого можно определить устойчивость системы [1].

Выделим из (2) вещественную и мнимую часть:

$$\operatorname{Re}(W(j\omega)) = \frac{-T_1\omega^2 K_{\Pi} + (K_{\Pi} - K_{И}T_0)}{T_0^2\omega^2 + (T_1\omega^2 - 1)^2}; \quad (3)$$

$$\operatorname{Im}(W(j\omega)) = \frac{\omega^2(K_{И}T_1 - K_{\Pi}T_0) - K_{И}}{\omega(T_0^2\omega^2 + (T_1\omega^2 - 1)^2)}; \quad (4)$$

Для проведения анализа введем переменную L вещественной части частотной передаточной функции на частоте $\omega = 0$:

$$L = K_{\Pi} - K_{И}T_0 \rightarrow K_{\Pi} = L + K_{И}T_0; \quad (5)$$

Запас устойчивости по амплитуде A характеризуется расстоянием от начала координат $(0; j0)$ до точки A , являющейся пересечением (2) с вещественной осью на частоте $\omega_{\text{п.}}$. Для ее нахождения определим частоту, при которой (4) равно нулю:

$$\operatorname{Im}(W(j\omega)) = 0 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{K_{И}}{K_{И}T_1 - K_{\Pi}T_0}}; \quad (6)$$

Подставив (6) в (3) определим зависимость параметров ПИ регулятора от запаса устойчивости по амплитуде A и от параметров объекта управления:

$$K_{\Pi} = K_{И} \frac{T_1}{T_0} + A; \quad (7)$$

Запас устойчивости по фазе характеризуется углом φ между прямой, проходящей через начало координат $(0; j0)$ и точкой пересечения годографа единичной окружности на частоте $\omega_{\text{с}}$, и вещественной осью. Зададим $\varphi = 90^\circ$. Тогда $\omega_{\text{с}}$ является частотой, при которой годограф пересекает мнимую ось в точке $(0; -j1)$. Для ее нахождения определим частоту, при которой (3) равно нулю:

$$\operatorname{Re}(W(j\omega)) = 0 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{K_{\Pi} - K_{И}T_0}{K_{\Pi}T_1}} = \sqrt{\frac{L}{K_{\Pi}T_1}}; \quad (8)$$

Подставив (8) в (4):

$$\operatorname{Im}(W(j\omega)) = -\frac{\sqrt{K_{\Pi}^3 T_1}}{T_0 \sqrt{(K_{\Pi} - K_{И}T_0)}} = -1; \quad (9)$$

Таким образом, на основе уравнений (5) и (7) уравнение (9) преобразуется:

$$\begin{aligned} & \text{если } T_0^2 \geq T_1 & \text{если } T_0^2 < T_1 & \quad (10) \\ & \left\{ \begin{array}{l} K_{И} = 3\sqrt{\frac{L}{T_1 T_0}} - \frac{L}{T_0} \\ K_{П} = K_{И} T_0 + L \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} K_{И} = \frac{T_0^2 \sqrt{(T_1 - T_0^2)^3}}{T_1^2 (T_1 - T_0^2)} \\ K_{П} = K_{И} \frac{T_1}{T_0} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Для того чтобы МСАУ была устойчивой необходимо и достаточно, чтобы годограф замкнутого сепаратного канала не охватывал корни уравнения связи [1]. Для достижения высокого быстродействия, при данных соотношениях между параметрами регулятора достаточно, чтобы минимум (4) с учетом влияния связей был не менее -0.8 [2]. Проведем декомпозицию системы по управляющим сигналам. Передаточная функция i -того сепаратного канала с учетом связей:

$$W_{КАН_i}(s) = W_{РЕГ_i}(s) W_{ОУ_i}(s) K_{ii} \left(1 + \sum_{j \neq i}^n \left(\frac{K_{ij}}{K_{ii}} \frac{W_{РЕГ_j}(s) W_{ОУ_j}(s)}{1 + W_{РЕГ_j}(s) W_{ОУ_j}(s)} K_{ji} \right) \right); \quad (11)$$

Так как каждый сепаратный канал является астатическим, то в установившемся режиме статическая ошибка исключена. Введем параметр K_i для компенсации влияния связей в i -ом сепаратном канале n -связной САУ:

$$K_i = \left(K_{ii} \left(1 + \sum_{j \neq i}^n \left| \frac{K_{ij}}{K_{ii}} K_{ji} \right| \right) \right)^{-1}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (12)$$

Пример

Рассмотрим гомогенную трехсвязную систему. Объект управления описывается:

$$W_{ОУ}(s) = \frac{1}{5s^2 + 6s + 1} \begin{bmatrix} 2 & 0.3 & -0.4 \\ -0.3 & 2 & 0.2 \\ 0.2 & -0.1 & 2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Значения коэффициентов ПИ регулятора:

$$L = 0.0001; K_{П} = 2.88; K_{И} = 0.48; \quad (14)$$

Значения параметров компенсации влияния связей в каждом сепаратном канале:

$$K_1^{-1} = 2.17; K_2^{-1} = 2.11; K_3^{-1} = 2.1; \quad (15)$$

На первый канал подается сигнал 1, на второй – 1.1, на третий – 1.3. График переходного процесса по каждому каналу представлен на Рис. 2.

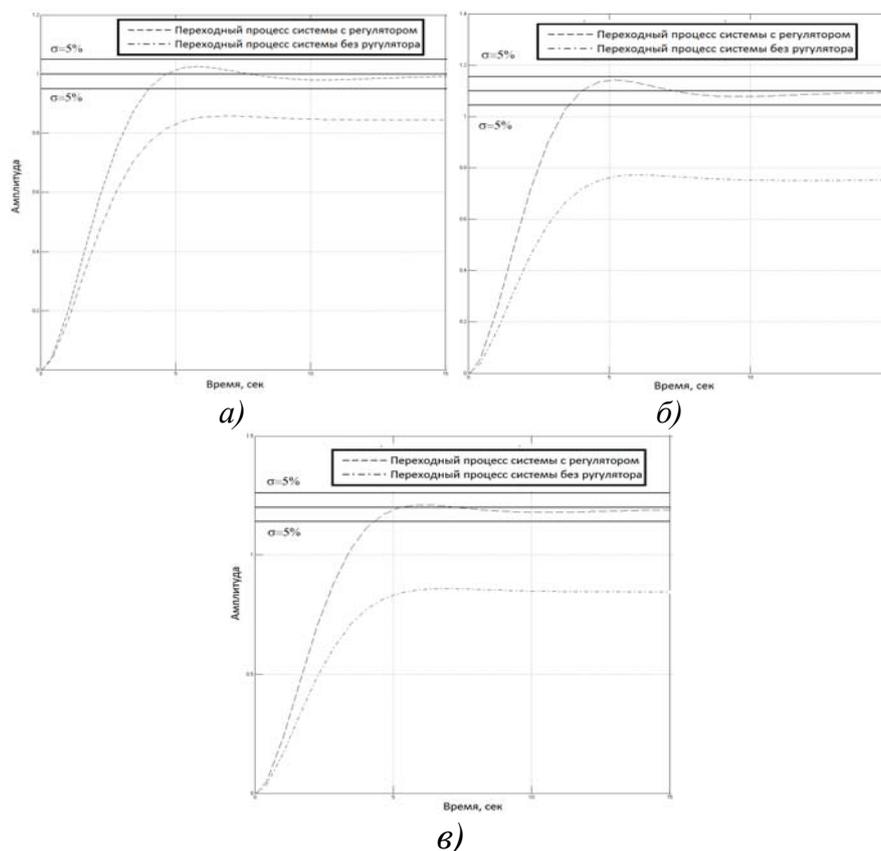


Рис. 2 – График переходного процесса в первом (а), втором (б) и третьем (в) канале

Вывод

Разработана методика расчета коэффициентов ПИ регулятора (10) для подсистем МСАУ с учетом связей на основе анализа частотной передаточной функции. МСАУ с ПИ регулятором, коэффициенты которого рассчитаны по предложенной методике, характеризуются увеличением быстродействия, уменьшением перерегулирования и исключением статической ошибки.

Список литературы

1. Ильясов Б.Г., Кабальнов Ю.С. Исследование устойчивости однотипных многосвязных систем автоматического управления с голономными связями между подсистемами. // Автоматика и телемеханика. – М., РАН, 1995, № 8. – С. 82-90.
2. Ильясов Б.Г., Сайтова Г.А., Сабитов И.И. Разработка нелинейной модели определения коэффициентов регулятора с помощью откликов искусственной нейронной сети // Сборник научных трудов 2-ой международной научной конференции “ Информационные технологии и системы ”. – Чел.: ЧелГУ – С. 90-92.
3. Astrom K.J., Hagglund T.. Advanced PID control. – ISA, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
4. Wang Q.-G., Nie Z.-Y. PID Control for MIMO Processes // PID Control in the Third Millennium, Advances in Industrial Control. L.: Springer London. 2012. P. 177 – 204.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Аннотация

В статье рассмотрено прогнозирование характеристик комплексной системы защиты информации на примере некоторого типового предприятия. Произведен расчет прогнозных значений 3-х временных рядов по методу скользящей средней. По полученному прогнозу предложены рекомендации для принятия управленческих решений.

Актуальность

Актуальность проблемы обеспечения безопасности информации возрастает с каждым годом. Наиболее часто потерпевшими от реализации различных угроз безопасности являются финансовые и торговые организации, государственные организации, медицинские и образовательные учреждения. Статистика лишь подтверждает необходимость комплексной системы защиты информации (КСЗИ) [2, 3].

Объектом исследования в настоящей работе является комплексная система защиты информации (КСЗИ) предприятия, которой присущи многие характерные черты «сложности» систем: большое число элементов, многообразие возможных форм связи элементов системы между собой; сложное функционирование; иерархичность структуры и т.д. [1, 2].

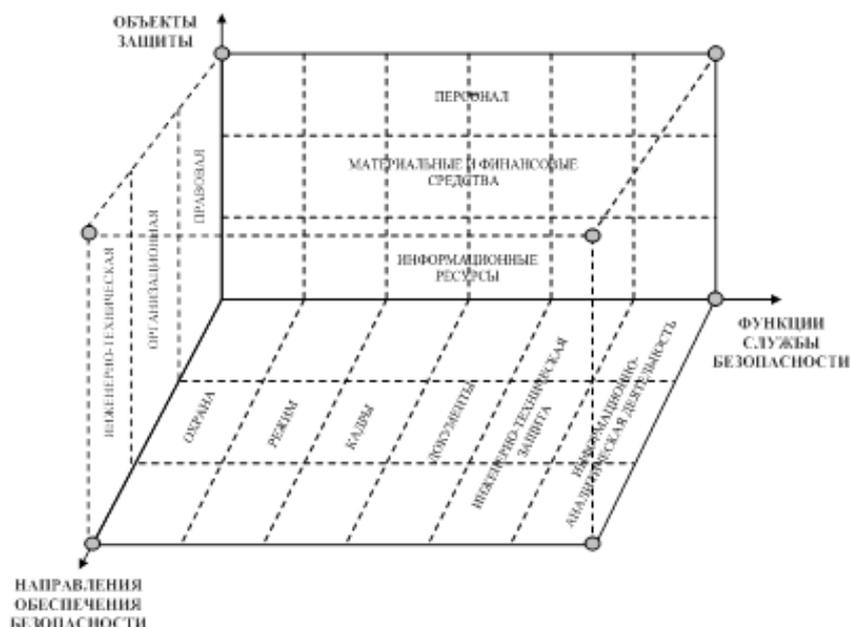


Рис. 1. Составляющие комплексной системы защиты информации

Под защитой информации [5] понимают комплекс организационных, правовых и технических мер по предотвращению угроз информационной безопасности и устранению их последствий. КСЗИ предприятия представляет собой взаимодействие 3-х составляющих: объекты защиты, функции службы безопасности, направления обеспечения безопасности, которые представлены на рис.1.

Управленческие решения направлены на [1]: стратегическое планирование; управление человеческими ресурсами (производительность, активизация знаний, умений, навыков), производственной и обслуживающей деятельностью, внутренними и внешними коммуникациями; формирование системы управления компании (методология, механизм); управленческое консультирование. Принятие управленческих решений в КСЗИ представляет собой выбор мероприятий, средств, методов защиты информации, обеспечивающих требуемый уровень защищенности [6]. Знание возможных значений параметров КСЗИ на будущий период времени позволит принимать адекватные управленческие решения.

Методы и результаты исследования.

Предметом исследования в настоящей статье являются 3 временных ряда еженедельных показателей: количество обнаруженных атак на информационную систему, вероятность безотказной работы программного обеспечения, непосредственные расходы на поддержку средств защиты информации. Обозначим эти временные ряды соответственно через $X^k = \langle x_i^k \rangle$, $k = 1, 2, 3$, $i = 1, \dots, 52$.

Для прогнозирования временных рядов X^k выбран метод скользящей средней [4], являющийся одним из наиболее простых приемов сглаживания периодических и случайных колебаний и получения зависимостей от главных факторов. Данный метод используется при краткосрочном прогнозировании,

его рабочая формула: $\hat{x}_{i+1} = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q x_i$, где q – интервал сглаживания. В каждом

случае средняя центрирована, т.е. отнесена к срединной точке интервала сглаживания и представляет собой уровень для этой точки. В работе проведено прогнозирование временных рядов $X^k = \langle x_i^k \rangle$ с интервалом сглаживания $q = 3$.

В таблице 1 приведены полученные прогнозные значения временных рядов X^k со средними величинами относительной погрешности.

Таблица 1

Прогнозные величины временных рядов X^k

	Обозначение временного ряда		
	X^1	X^2	X^3
Значение x_{52}^k	6	0,10	582,20
Прогноз \hat{x}_{53}^k	8	0,34	566,17

На рис. 2 приведено изображение прогнозной и фактической линий для временного ряда X^1 .



Рис. 2. Прогнозная и фактическая линии временного ряда X^1

На рис. 3 приведено изображение прогнозной и фактической линий для временного ряда X^2 .



Рис. 3. Прогнозная и фактическая линии временного ряда X^2

На рис. 4 приведено изображение прогнозной и фактической линий для временного ряда X^3 .



Рис. 4. Прогнозная и фактическая линии временного ряда X^3

Как видно из таблицы 1, во временном ряде X^1 намечается возрастание количества атак на информационную систему по сравнению со значением x_{52}^1 , во временном ряде X^2 наблюдается повышение вероятности безотказной работы программного обеспечения, во временном ряде X^3 – уменьшаются расходы на поддержку средств защиты информации.

Выводы.

На основе проведенного прогнозирования 3-х показателей КСЗИ можно сделать выводы о необходимости усиления мер противодействия атакам на информационную систему предприятия и сохранении существующих средств обеспечения безопасного функционирования.

Список литературы

1. Варфоломеев В.И., Воробьев С.Н. Принятие управленческих решений: Учеб. пособие для вузов. – С. 54.
2. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. – К.: ООО ТИД «Диасофт», 2004. – 992 с.
3. Ерошкин П. Информационные технологии //«финансовая газета»: «комплексная система защиты информации», 2011.
<http://www.technoserv.com/about/company/press/articles/554/>
4. Ефимова М.Р., Петрова Е.В., Румянцев В.Н. Общая теория статистики: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 416 с.
5. Шиверский А.А. Защита информации: проблемы теории и практика. – М.: Юрист, 1996.
6. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник для студентов Вузов. – М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2003. – 640 с.

СИНТЕЗ НЕМИНИМАЛЬНО ФАЗОВЫХ СИСТЕМ С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЯМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

Аннотация

В данной работе предложена процедура идентификации неизвестных параметров на примере линейной не минимально-фазовой системы второго порядка, относительно выходной координаты которой ставится классическая задача слежения.

Постановка задачи

Рассмотрим управляемую и наблюдаемую систему второго порядка с относительной степенью $\nu = 1$:

$$\dot{x} = Ax + bu, y = c^T x, x \in R^2, y_1 \in R^1 \quad (1)$$

где y_1 - измеряемый и управляемый выход системы.

Для системы (1) ставится классическая задача слежения за заданным сигналом:

$$e_1 = y_1 - \eta_1 \rightarrow 0, \quad (2)$$

где генератор задающих сигналов задан экзогенной системой:

$$\dot{\eta}_1 = \eta_2, \dot{\eta}_2 = h_1 \eta_1 + h_2 \eta_2, \quad (3)$$

в которой измерению доступна переменная η_1 .

Процедура решения задачи слежения в каноническом пространстве

Приведем процедуру решения задачи слежения применительно к системе (1) в предположении, что параметры объекта управления и генератора задания (3) неизвестны.

1. Непосредственным дифференцированием выходной переменной и введением динамического компенсатора первого порядка система (1) может быть приведена к каноническому виду:

$$\dot{y}_1 = y_2, \dot{y}_2 = a_1 y_1 + a_2 y_2 + d\xi + b\bar{u}, \dot{\xi} = \tilde{b}\bar{u} \quad (4)$$

где \tilde{b} - оценка параметра b .

В системе (4) ξ - переменные динамического компенсатора [1], а последнее уравнение характеризует неустойчивую нулевую динамику исходной системы (1). При этом система (1) в форме (4) не может считаться технически реализуемой, т. е. работоспособной.

2. Далее вводится неособая замена переменных вида $\bar{\xi} = \xi - y_2 + (a_2 + d)y_1$, которая «вытесняет» управление из уравнения компенсатора и переменную y_2 .

В новой переменной система (4) примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2, \quad \dot{y}_2 = \bar{a}_1 y_1 + \bar{a}_2 y_2 + d\bar{\xi} + b\bar{u}, \\ \dot{\bar{\xi}} &= -\bar{a}_1 y_1 - d\bar{\xi} + \hat{b}u, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{a}_1 = [a_1 - d(a_2 + d)]$, $\bar{a}_2 = (a_2 + d)$.

Отметим, что в случае равенства нулю невязки $\hat{b} = \tilde{b} - b = 0$ управление не входит в уравнение нулевой динамики. Параметры $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{d}$ в (5) полагаются неизвестными и постоянными $\dot{\bar{a}}_1, \dot{\bar{a}}_2, \dot{\bar{d}} = 0$.

3. На третьем шаге вводится замена переменной y_1 вида

$$\bar{y}_1 = y_1 - f_0 \bar{\xi} - n_1 \eta_1 - n_2 \eta_2 \quad (6)$$

и при этом выполнение равенства

$$g = f_0 \bar{\xi} + n_1 \eta_1 + n_2 \eta_2 = 0, \quad (7)$$

обеспечивает устойчивость уравнения нулевой динамики выбором коэффициента обратной связи $f_0 = \frac{\Delta - d}{\bar{a}_1}$ с темпами сходимости, равными

$\Delta = const > 0$:

$$\dot{\bar{\xi}} = -\Delta \bar{\xi} - \bar{a}_1 (n_1 \eta_1 + n_2 \eta_2) - \bar{a}_1 \bar{y}_1. \quad (8)$$

Применительно к системе нулевой динамики (8) последовательно решая матричные уравнения вида:

$$GP + cq^T = P\bar{W} \quad \text{и} \quad n^T = -f_0^T P$$

находим коэффициенты p_1, p_2, n_1, n_2 , которые выражаются в явном виде по оценкам параметров.

$$-d(p_1, p_2) + (p_1, p_2) \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ h_1 & h_2 \end{pmatrix} = \bar{a}_1 (1, 0), \quad \text{и} \quad (n_1, n_2) = -f_0 (p_1, p_2)$$

$$dp_1 + p_2 h_1 = \bar{a}_1, \quad dp_2 + p_1 + p_2 h_2 = 0 \Rightarrow p_1 = -\frac{p_2}{d + h_2},$$

$$p_2 = \frac{\bar{a}_1 (d + h_2)}{h_1 (d + h_2) - d}, \quad p_1 = -\frac{\bar{a}_1}{h_1 (d + h_2) - d}.$$

$$n_2 = -f_0 \frac{\bar{a}_1 (d + h_2)}{h_1 (d + h_2) - d}, \quad n_1 = f_0 \frac{\bar{a}_1}{h_1 (d + h_2) - d}.$$

4. Показано, что выбор управления в классе разрывных функций вида

$$b\bar{u} = -M \text{sign}(s), \quad (9)$$

где $s = \dot{\bar{e}}_1 + f\bar{e}_1$, $f > 0$,

$\bar{e}_1 = e_1 - f_0 \bar{\xi} - n_1 \eta_1 - n_2 \eta_2$, $\dot{\bar{e}}_1 = y_2 - \eta_2 - f_0 (\bar{a}_1 y_1 + d\bar{\xi}) - n_1 \eta_2 - n_2 (h_1 \eta_1 + h_2 \eta_2)$ обеспечивает за конечное время стабилизацию переменных $\bar{e}_1 = \dot{\bar{e}}_1 = 0$.

Для реализации управления (9) далее требуется решить задачу получения оценок параметров $\bar{a}_1, \bar{a}_2, d, h_2$ и оценку переменной y_2 . Отметим, что в случае использования разрывного управления (9), нет необходимости оценивания параметра b – достаточно иметь информацию лишь о его знаке, для

корректного выбора полки M . Это известное преимущество использования разрывных обратных связей [2] позволяет существенно упростить процедуры синтеза.

Идентификация параметров генератора заданий

Для получения оценок вектора состояния и параметров модели генератора задания (3) построим динамическую систему наблюдения и идентификации в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\eta}}_1 &= \bar{\eta}_2 + N_1 \text{sign}(\varepsilon_{\eta_1}), \\ \dot{\bar{\eta}}_2 &= \tilde{h}_1 \eta_1 + \tilde{h}_2 \bar{\eta}_2 + N_2 \text{sign}(z_{\eta_1}), \\ \tau_{\eta_1} \dot{z}_{\eta_1} &= -z_{\eta_1} + N_1 \text{sign} \varepsilon_{\eta_1}.\end{aligned}\quad (10)$$

Запишем уравнение в невязках $\varepsilon_{\eta_1} = \eta_1 - \bar{\eta}_1$, $\varepsilon_{\eta_2} = \eta_2 - \bar{\eta}_2$ и $\hat{h}_1 = h_1 - \tilde{h}_1$, $\hat{h}_2 = h_2 - \tilde{h}_2$ в силу (3) и (10):

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_{\eta_1} &= \varepsilon_{\eta_2} - N_1 \text{sign}(\varepsilon_{\eta_1}), \\ \dot{\varepsilon}_{\eta_2} &= \hat{h}_1 \eta_1 + \hat{h}_2 \bar{\eta}_2 + h_2 \varepsilon_{\eta_2} - N_2 \text{sign}(z_{\eta_1}).\end{aligned}\quad (11)$$

При достаточно больших амплитудах корректирующих воздействий $N_1, N_2 > 0$ и малой постоянной времени фильтра $\tau_{\eta} \rightarrow 0$ в системе (11) возникает скользящий режим в точке равновесия $\varepsilon_{\eta_1} = \varepsilon_{\eta_2} = 0$.

Эквивалентное значение разрывного корректирующего воздействия во втором уравнении (11), получаемого на выходе фильтра первого порядка $\tau_{\eta_2} \dot{z}_{\eta_2} = -z_{\eta_2} + N_2 \text{sign}(z_{\eta_1})$ и равное $v_{\eta_{eq}} = z_{\eta_2} \approx \tilde{h}_1 \eta_1 + \tilde{h}_2 \bar{\eta}_2$, используется для построения идентификатора параметров вида:

$$\dot{\tilde{h}} = -\lambda(z_{\eta_2})\bar{\eta}, \quad \bar{\eta}^T = (\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2), \quad \lambda > 0. \quad (12)$$

Сходимость оценок параметров генератора задания доказывается на основе функций Ляпунова [4].

Идентификация параметров модели объекта управления

Приведём аналогичную процедуру получения оценок вектора состояния и параметров модели самого объекта управления (5).

Построим наблюдатель состояния в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{y}}_1 &= \bar{y}_2 - M_1 \text{sign}(\varepsilon_1), \\ \dot{\bar{y}}_2 &= \tilde{a}_1 y_1 + \tilde{a}_2 \bar{y}_2 + \tilde{d}\bar{\xi} + \tilde{b}\bar{u} - M_2 \text{sign}(z_1), \\ \tau_1 \dot{z}_1 &= -z_1 + M_1 \text{sign}(\varepsilon_1).\end{aligned}\quad (13)$$

Уравнения в невязках $\varepsilon_i = y_i - \bar{y}_i$, $i = \overline{1,2}$ и $\hat{a}_i = a - \tilde{a}_i$, $i = \overline{1,2}$, $\hat{d} = d - \tilde{d}$, $\hat{b} = b - \tilde{b}$ в силу систем (5) и (13) принимают вид:

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_1 &= \varepsilon_2 - M_1 \text{sign}(\varepsilon_1), \\ \dot{\varepsilon}_2 &= \hat{a}_1 y_1 + \hat{a}_2 \bar{y}_2 + a_2 \varepsilon_2 + \hat{d}\bar{\xi} + \hat{b}\bar{u} - M_2 \text{sign}(z_1).\end{aligned}\quad (14)$$

При выборе достаточно больших амплитуд корректирующих воздействий $M_1, M_2 > 0$ обеспечивается сходимость невязок $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$, а эквивалентное значение разрывного корректирующего воздействия во втором уравнении (14) получается с выхода высокочастотного фильтра $\tau_2 \dot{z}_2 = -z_2 + M_2 \text{sign}(z_1)$ и равно:

$$v_{2eq} = z_2 \approx \hat{a}_1 y_1 + \hat{a}_2 \bar{y}_2 + \hat{d} \bar{\xi} + \hat{b} \bar{u}. \quad (15)$$

Далее синтезируем идентификатор параметров в виде:

$$\dot{\tilde{m}} = \lambda(v_{2eq})z, \quad (16)$$

где $\tilde{m}^T = (\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{d}, \tilde{b})$ - вектор состояния идентификатора, и выбор $\lambda = \text{const} > 0$ обеспечивает сходимость оценок параметров к их истинным значениям [4].

Заключение

Вопросы, связанные с практической реализацией систем наблюдения и идентификации рассмотрены при моделировании в среде *MATLAB*. Показано в частности, что добавление высокочастотного сигнала на вход модели объекта управления позволяет уменьшить время сходимости идентификаторов (12) и (16), а выбор оптимальных параметров фильтров в наблюдателях состояния (10) и (13) позволяет уменьшить время сходимости процесса наблюдения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №12-08-00865-а, №12-08-13105-офи_м_РЖД.

Список литературы

1. Уткин А.В. Метод расширения пространства состояния в задаче синтеза автономного управления // *АиТ*. 2007. № 6. С. 81–98.
2. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления // М.: Наука, 1987.
3. Уткин В.А., Уткин А.В. Идентификация линейных систем: применение скользящих режимов // Труды III конференции SICPRO 2004, ИПУ РАН, С.955-963.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТОЛЕТА

Аннотация

Для уравнения, описывающего движение вертолета, решается задача стабилизации положения равновесия. Применяются преобразование к нормальной форме, частичная линеаризация обратной связью и метод виртуальных выходов, что позволяет стабилизировать систему по всем переменным.

Введение

Беспилотные летательные аппараты являются важным объектом приложения результатов теории управления. Это связано, в первую очередь, с их возрастающим количеством и все более важными ролями, которые приходится выполнять беспилотным аппаратам. В настоящий момент применяются БПЛА различных форм, размеров и компоновок. Выбор конструкции обусловлен решаемыми задачами и условиями применения. Наряду с другими, используется традиционная вертолетная схема с двумя винтами: главным и хвостовым.

При внедрении БПЛА возникает необходимость их оснащения автоматическими системами управления для обеспечения действий в автономном и полуавтономном режиме. Таким образом, актуальной является задача синтеза алгоритмов управления для динамической системы.

Для решения задач управления вертолетами и БПЛА вертолетного типа применяются различные подходы, в том числе преобразование к нормальной форме [5]. В работе [5] система уравнений, описывающих движение вертолета, приводится к нормальной форме относительно некоторых заданных выходов. За счет этого траектория системы стабилизируется по части переменных. В случае, если система является минимально-фазовой, таким образом, может быть достигнута стабилизация положения равновесия. В противном случае стабилизация может быть трудной задачей. Одним из способов решения этой задачи является метод виртуальных выходов, предложенный в работах [1, 2, 3].

Основные результаты метода виртуальных выходов получены для систем со скалярным управлением, для которых относительная степень выхода равна 1 или 2, и для систем с однородной векторной относительной степенью $r = (1, \dots, 1)$, $r = (2, \dots, 2)$.

Математическая модель движения вертолета.

Рассмотрим модель движения вертолета, заданную уравнениями

$$\begin{aligned}m\dot{\bar{r}} &= F, \\ \dot{\Omega} &= D\omega_b, \\ J_b\dot{\omega}_b &= M_b - \omega_b \times J\omega_b, \\ \dot{T}^{mr} &= w_1, \\ \dot{T}^{tr} &= w_2, \\ \dot{\alpha} &= w_3, \\ \dot{\beta} &= w_4.\end{aligned}\tag{1}$$

где $\bar{r} = (x, y, z)$ — радиус-вектор центра масс в земной системе координат, $\Omega = (\psi, \theta, \gamma)$ — углы Крылова ориентации вертолета, в качестве управлений выбраны скорости изменения величин сил тяги, создаваемых рулевым и несущим винтами, а так же скорости изменения углов наклона несущего винта.

Преобразование к нормальной форме

Выберем выходы таким образом, чтобы они имели однородную относительную степень $r = (2, 2, 2, 2)$, и будем применять метод виртуальных выходов. Для этого положим

$$z_1^1 = x_4, z_1^2 = x_5, z_1^3 = x_6, z_1^4 = \hat{D}_1 x_{10,12}.\tag{2}$$

Численное моделирование показывает, что нулевая динамика системы (1) в нормальной форме относительно выходов (2) не является асимптотически устойчивой, то есть система с выходами (2) не является минимально-фазовой. Чтобы стабилизировать положение равновесия по всем переменным, применим метод виртуальных выходов.

Теорема [4]. Пусть система (1) с выходом $y = z_1$ имеет относительную степень $\rho = (2, \dots, 2)$ в точке $(z, \eta) = (0, 0)$, а линеаризация подсистемы нулевой динамики в окрестности этой точки имеет вид

$$\dot{\eta} = A\eta + B_1 z^1 + B_2 z^2,$$

где

$$z^1, z^2 \in R^m, \eta \in R^l, l = n - 2m, A = \left. \frac{\partial q}{\partial \eta} \right|_{z=0, \eta=0}, B_1 = \left. \frac{\partial q}{\partial z^1} \right|_{z=0, \eta=0}, B_2 = \left. \frac{\partial q}{\partial z^2} \right|_{z=0, \eta=0}.$$

Если существует матрица K , такая, что матрица $E + KB_2$ невырождена, а управления

$$\begin{aligned}v^1 &= -K\eta, \\ v^2 &= (E + KB_2)^{-1} K(B_1 K - A)\eta\end{aligned}$$

стабилизируют положение равновесия $\eta = 0$ системы $\dot{\eta} = A\eta + B_1 v^1 + B_2 v^2$. то система (1) с виртуальным выходом $\phi = z_1 + K\eta$ имеет векторную

относительную степень $\rho = (2, \dots, 2)$ в точке $(z, \eta) = (0, 0)$ а система нулевой динамики, соответствующая этому выходу, асимптотически устойчива в точке $\eta = 0$. Таким образом, задача поиска нового выхода сводится к поиску матрицы K , которая удовлетворяет неравенству

$$R = (A - B^1 K + B^2 (E + KB^2)^{-1} (-KA + KB^1 K)) < 0.$$

С помощью среды Maple было найдено решение

$$K = \begin{pmatrix} 1.29 & 0.621 & 0.716 & 0.701 & -3.48 & -1.88 & -0.778 & -0.0319 \\ -1.61 & -0.140 & -0.685 & -1.94 & -2.41 & -1.28 & -0.335 & -1.18 \\ -0.948 & -1.38 & -1.21 & -1.02 & -0.156 & -2.57 & -0.284 & -0.759 \\ -1.29 & -0.842 & -1.06 & -1.0 & -0.776 & -1.19 & 0.425 & -7.98 \end{pmatrix},$$

дающее для матрицы R собственные числа

$$\begin{pmatrix} -10.8 \\ -0.757 + 2.029i \\ -0.757 - 2.029i \\ -0.675 + 0.947i \\ -0.675 - 0.947i \\ -0.687 + 0.356i \\ -0.687 - 0.356i \\ -0.661 \end{pmatrix}.$$

Тогда новые выходы могут быть вычислены по формуле

$$\bar{y} = y + K\eta. \quad (3)$$

Нормальная форма системы будет иметь вид

$$\begin{aligned} \dot{z}_1^{1-3} &= z_2^{1-3}, \\ \dot{z}_1^4 &= z_2^4, \\ \dot{z}_2^{1-3} &= \bar{f}_{1-3}(x) + \bar{g}_{123}(x)u, \\ \dot{z}_2^4 &= \bar{f}_4(x) + \bar{g}_4(x)u, \\ \dot{\bar{\eta}}_{1-3} &= x_{4-6}, \\ \dot{\bar{\eta}}_4 &= \hat{D}_1 x_{\overline{10,12}}, \\ \dot{\bar{\eta}}_{5-6} &= \hat{D}_{23} x_{\overline{10,12}}, \\ \dot{\bar{\eta}}_{7-8} &= \hat{D}_{23} x_{\overline{10,12}} + \hat{D}_{23} J_b^{-1} [\hat{M}_b - x_{\overline{10,12}} \times J_b x_{\overline{10,12}}]. \end{aligned} \quad (4)$$

Функции $\bar{f}(x)$, $\bar{g}(x)$ вычислены с помощью системы Maple и не приводятся здесь ввиду громоздкости.

Результаты и выводы

Система (1), (3) является минимально-фазовой, то есть ее нулевая динамика является локально асимптотически устойчивой. После построения замены переменных, соответствующей выходам (3), переменные z могут быть стабилизированы линеаризацией обратной связью. Таким образом, достигается стабилизация нулевого положения по всем переменным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №12-07-00329-а, и Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.В37.21.0370).

Список литературы

1. Крищенко А.П., Панфилов Д.Ю., Ткачев С.Б. Построение минимально-фазовых аффинных систем // Дифференциальные уравнения. 2002. Т. 38, №11. С. 1483 –1489.
2. Ткачев С.Б. Стабилизация неминимально фазовых аффинных систем с векторным управлением // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. 2012. №10. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/450613.html> (дата обращения: 02.02.13).
3. Ткачев С.Б., Шевляков А.А. Преобразование аффинных систем со скалярным управлением к квазиканоническому виду // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Естественные науки. 2013. №1. С. 3 – 16. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/450613.html> (дата обращения: 02.02.13).
4. Ткачев, С.Б. Стабилизация неминимально-фазовых аффинных систем методом виртуальных выходов: Дис. ... докт. физ.-мат. наук: 05.13.01: защищена 20.04.10.– М., 2010.- 258 с. - Библиогр.: С. 217 – 234.
5. Кoo T.J, Sastry S. Output Tracking Control Design of a Helicopter Model Based on Approximate Linearization // Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision & Control. Tampa (Florida, USA), 1998. V.4. P. 3635–3640.

К АВТОМАТИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ АРИФМЕТИЧЕСКОГО ТИПА И ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ УЧЕНИКУ

Аннотация

В статье описывается стратегия поиска альтернативных решений учебных задач арифметического типа на основе исчисления позитивно-образованных формул. А также алгоритмизируются оценка решений, генерируемых решателем, и выбор «наиболее адекватного» из них для демонстрации ученику на основе модели его знаний.

Введение

Современные образовательные технологии все шире используют интеллектуальные обучающие системы (ИОС) [5]. В ходе обучения, в том числе посредством ИОС, возможны ситуации, когда ученик не в состоянии решить ту или иную учебную задачу (выбранную им самостоятельно или предложенную ему педагогом). Полагая, что имеется программа-решатель, которая способна сгенерировать не одно, а множество альтернативных решений этой задачи, рассмотрим сначала проблему выбора наиболее подходящего решения для демонстрации ученику, например, по критерию максимальной понятности и, возможно, другим. Под решением здесь и всюду далее понимается не ответ, а последовательность действий ученика или ИОС в процессе получения ответа.

Основная часть

Пусть в качестве учебной задачи, с которой имеет дело ученик, выступает учебная задача арифметического типа. Под арифметической задачей следует понимать требование найти числовое значение некоторой величины, если даны числовые значения других величин и существует количественная зависимость, которая связывает эти величины, как между собой, так и с искомой [3]. Решатель P , получая на входе некоторую формулировку F задачи, находит некоторое множество $R = P(F)$ ее альтернативных решений. Выбрать адекватное для демонстрации ученику решение $R_i \in R$ – значит применить некоторую педагогическую функцию T из множества педагогических функций, которые используются в ИОС для управления процессом обучения.

В числе факторов подготовленности ученика к решению задачи будем учитывать только уровень его знаний, причем знаний конструктивного типа [6]. В качестве отдельных фрагментов таких знаний выступают операторы конструктивного преобразования одних величин в другие. То или иное решение арифметической задачи – это последовательность применения операторов, т.е.

композиция некоторых операторов, а само решение - тоже оператор. При принятых упрощениях модель ученика должна включать множество пар $\langle K_i, S(K_i) \rangle$, где K_i - некоторый фрагмент знаний, а $S(K_i)$ - оценка степени освоенности K_i , например, $S(K_i) \in [0, 1]$ (0 - не знает, 1 - знает).

Под влиянием предшествующего опыта человек при решении задач склонен выбирать освоенные (особенно недавно использованные) им операторы [1]. Поэтому для выбора «наиболее адекватного» решения целесообразно предложить, например, следующие педагогические функции: $T_1 = \arg \max_{R_i \in R} \min_{K_j \in R_i} S(K_j)$, $T_2 = \arg \max_{R_i \in R} \sum_{K_j \in R_i} w_j S(K_j)$. В последней для каждого фрагмента знаний K_j имеется весовой коэффициент w_j , в качестве которого может быть, например, величина, выражающая предметную значимость, частоту встречаемости или давность последнего использования соответствующего ему фрагмента знания. В каждом конкретном случае для выбора «наиболее адекватной» педагогической функции также необходимо решать задачу многокритериального принятия решений, но уже на более высоком уровне иерархии управления процессом обучения.

Теперь рассмотрим автоматизацию получения решения задачи в ИОС. Эта процедура основана на применении метода представления и обработки знаний в типово-кванторном языке L позитивно-образованных формул (по-формул) с применением соответствующего первопорядкового логического исчисления J [2] (с единственным правилом вывода ω). В данной работе рассматривается только пропозициональное сужение этих средств (при этом исчисление обладает разрешимостью и более быстрым поиском вывода). Причем используется конструктивный фрагмент исчисления задач [2] вида $M \rightarrow \Pi$, где M - произвольная спецификация средств решения задачи, записанная в языке L по-формул, а Π - спецификация цели в классе по-формул ограниченного синтаксиса (см. [2]). При этом задача $M \rightarrow \Pi$ в конструктивной семантике допускает сведение к классическому опровержению по-формулы G , эквивалентной конъюнкции M и отрицания Π [2], причем каждому дизъюнктивному ветвлению в G можно сопоставить процедуру распознавания в виде композиции процедур из M . Соответствующий язык шире хорновского и, в частности, языка «Утопист» [4].

Чтобы в ИОС организовать выбор решения задачи, нужно иметь возможность формирования множества отличающихся между собой выводов, получаемых с помощью некоторой стратегии. Пусть A - база (единственная или одна из нескольких) по-формулы G , являющаяся множеством известных фактов, а $\{B_1, \dots, B_n\}$ - множество вопросов к базе (управляющих конъюнктивными или дизъюнктивными ветвлениями). С помощью правила вывода ω ищутся ответы на все вопросы к базе A . Пусть m - количество вопросов к этой базе ($m \leq n$), на которые ответы существуют. Применение ω расширяет множество известных фактов базы A . Здесь $m \geq 1$, если задача, по крайней мере, разрешима над знаниями, представленными в G . Применимость операции ω соответствует выполнению включения $B_i \subseteq A$. Так как

применяется булевская логика, то ответ на вопрос к базе знаний может быть только одновариантным. Следовательно, применяя правило ω к каждому из m вопросов, получим m вариантов преобразованной формулы G : G_1, G_2, \dots, G_m . Формула не опровергнута, пока в каждой ее базе не получено противоречие (*False*). В случае, когда корень *True?* формулы имеет дизъюнктивное ветвление, то G содержит более одной базы, и, если вопрос B_i имел ветвления, то количество баз увеличивается (для последующего их независимого опровержения). Каждая формула G_i является объектом такого же рассмотрения, что и G , и так далее, пока на одном из шагов параллельного рассмотрения формул не получим опровержения в соответствующих базах. Для ускорения выводов применяется модификация исчисления путем расширения возможностей правила вывода ω не только к базам, но и другим вершинам дерева структуры по-формулы.

Если в числе критериев «приемлемости» решения, помимо его длины (количество используемых операторов), будут другие, то целесообразно расширить множество наикратчайших альтернативных решений порождением других логических выводов, которым соответствуют более длинные решения. В случае множественности доступных для демонстрации ученику решений следует применить к набору альтернативных решений те или иные педагогические функции, например, рассмотренные выше.

Проиллюстрируем сказанное на примере задачи из школьного курса геометрии. Пусть имеется формулировка задачи F : «В треугольнике известны основание a , боковая сторона c , угол γ , противолежащий этой боковой стороне, и площадь s . Найти r – радиус описанной окружности». Для этой задачи решатель может найти множество решений, например, два: R_1, R_2 , где в решении R_1 сначала находится третья неизвестная сторона, а затем радиус описанной окружности вычисляется через три стороны и площадь. Соответственно $R_1 = \langle K_1, K_2 \rangle$, т.е. для решения необходимо применить:

1) знание оператора, выдающего по площади s этого треугольника, его основанию a и углу γ , между основанием и боковой стороной b , эту боковую сторону b , т.е. $K_1 = (s \ \& \ a \ \& \ \gamma \rightarrow b)$, что соответствует применению формулы $b = (2s)/(a \sin \gamma)$;

2) знание оператора, выдающего по известным трем сторонам (a, b и c) и площади s радиус описанной окружности r - $K_2 = (a \ \& \ b \ \& \ c \ \& \ s \rightarrow r)$, что соответствует формуле $r = (abc)/(4s)$.

Если объединить спецификации операторов K_1 и K_2 , а также добавить к ним данные из формулировки задачи F (т.е. $s \ \& \ a \ \& \ c \ \& \ \gamma$), то получим вывод над знаниями, специфицированными формулой A_1 , который и соответствует решению R_1 . Для спецификации A_1 утверждение о вычислимости r в исчислении высказываний выражается формулой:

$$A_1 = (s \ \& \ a \ \& \ c \ \& \ \gamma \ \& \ (a \ \& \ b \ \& \ c \ \& \ s \rightarrow r) \ \& \ (s \ \& \ a \ \& \ \gamma \rightarrow b) \rightarrow r).$$

В свою очередь, решение $R_2 = \langle K_3 \rangle$ представимо оператором, выдающим по стороне c и углу γ , противолежащему этой стороне, радиус описанной окружности r , т.е. $K_3 = (c \ \& \ \gamma \rightarrow r)$, что соответствует формуле $r = c / (2 \sin \gamma)$. Соответственно для решения R_2 утверждение о вычислимости r примет вид: $A_2 = (s \ \& \ a \ \& \ c \ \& \ \gamma \ \& \ (c \ \& \ \gamma \rightarrow r) \rightarrow r)$.

Можно заметить, что в решениях R_1 и R_2 от ученика требуется различный набор знаний (операторов). Решение R_2 более короткое, но в нем используется формула $r = c / (2 \sin \gamma)$ для нахождения радиуса описанной окружности. Если предположить, что она не известна в отличие от формулы вычисления радиуса описанной окружности через длины сторон и площадь (что соответствует R_1), то для демонстрации ученику выбирается решение R_1 , т.е. решение на базе полностью изученного материала.

Заключение

Наличие автоматических решателей учебных задач, предоставляющих обучающей системе множество альтернативных решений той или иной учебной задачи, позволяет более эффективно и гибко управлять образовательным процессом. Предполагается, что объединение различного рода педагогических функций (например, реализующие планирование, организацию, регулирование, контроль и оценку) в единую систему, может предоставить новые качественные результаты в плане компьютеризированного обучения человека. Также в дальнейшем планируется в модель ученика включить сведения и о других его особенностях (например, умениях, мотивации и др.), учет которых целесообразен для «более адекватного» выбора демонстрируемого решения. Представляется, что такая расширенная модель ученика может найти более широкое применение в различных педагогических функциях, реализуемых в ИОС. Помимо этого, следует расширить класс рассматриваемых учебных задач арифметического типа включением в него более сложных вычислительных задач, а также задачами на оперирование определениями понятий, на доказательство утверждений и др.

Список литературы

1. Андерсон Дж.Р. Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
2. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000. С. 122-147.
3. Овчинникова М.В. Методика работы над текстовыми задачами в начальных классах (общие вопросы). К.: Пед.пресса, 2001. С. 4-5.
4. Тыгу Э.Х. Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984. 256 с.
5. Юрков Н.К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы. Пенза: ПГУ, 2010. 304 с.
6. Kolmogoroff A.N. Zur Deutung der Intuitionischen Logik // Math. Z. 1932. №35. P. 58-65.

КОНДОРЫ НА РЕАЛЬНЫХ РЫНКАХ ОПЦИОНОВ

Аннотация

Рассматриваются вопросы, связанные с перенесением на реальные рынки результатов исследований, проведенных автором в отношении применения континуального критерия VaR на идеальных рынках. На реальном рынке, в отличие от идеального, базисные инструменты разных типов, не различимые по платежным функциям, могут различаться по стоимости. Это обусловливается наличием спреда цен продавца и покупателя, комиссионных расходов, а также случайным характером действия обычных для рынков факторов спроса и предложения. В связи с этим в работе изучается один из аспектов проблем, возникающих в связи с окончательным представлением оптимального портфеля. Используется модификация стандартного алгоритма оптимизации для задач с континуальным критерием VaR , в которой портфель строится из кондоров.

Введение

Континуальный критерий VaR ($CC-VaR$) требует построения из имеющихся на рынке инструментов такого портфеля, чтобы порождаемый им доход q удовлетворял неравенству $P\{q \geq \phi(\varepsilon)\} \geq 1 - \varepsilon$ для всех $\varepsilon \in [0, 1]$ ($P\{M\}$ – вероятность множества M с точки зрения инвестора). Монотонно возрастающая и непрерывная функция $\phi(\varepsilon)$ задается инвестором и определяет его рисковые предпочтения. Применение $CC-VaR$ на идеальных опционных рынках подробно исследуется в [1-3,5]. Там же разработан алгоритм оптимизации, основанный на процедуре Неймана-Пирсона [4]. В основе применения $CC-VaR$ на дискретных по страйкам рынках опционов лежит базис из обычных баттерфляев.

Представление оптимального портфеля на идеальном рынке опционов строится в виде линейной комбинации простейших нормированных баттерфляев, веса которых находятся алгоритмом оптимизации. Этот алгоритм проводит анализ относительных доходов для разных страйков (средних или максимальных) и упорядочивает их по величине. Отметим, что "заполнение" площади под графиком платежной функцией оптимального портфеля в каноническом представлении происходит столбиками (точнее, опционным аналогом – простейшими баттерфляями) высотой, равной весу соответствующего баттерфляя в портфеле. При этом тип баттерфляев (из коллов, из путов, или смешанный) не имеет значения, поскольку на идеальном рынке в силу теорем паритета для опционов все они эквивалентны как по доходам, так и по ценам.

Но на реальном рынке это не так, и для каждого страйка в качестве базисного можно выбирать наилучший по стоимости баттерфляй. Однако такой портфель не обязательно будет наилучшим, поскольку каждый баттерфляй состоит из четырех опционов и суммарные расходы по организации

оптимального портфеля могут становиться чрезмерными. Положение может смягчить окончательное представление, которое предполагает обычное алгебраическое приведение подобных членов в сумме, что может несколько сократить требуемые расходы. Но это не всегда может сработать.

Следует испытать и прочие возможности. Можно, например, использовать выгодные короткие позиции, при наличии таковых, поскольку они охватывают сразу много страйков, что снижает комиссионные. В данной работе речь идет о другом способе, в котором для решения проблемы окончательного представления оптимального портфеля используются так называемые кондоры – обобщение баттерфляя, связанное с «расщеплением» среднего страйка.

Использование кондоров позволяет по-иному «заполнить» площадь под графиком платежной функцией оптимального портфеля. Оно осуществляется слоями, образованными кондорами подходящей ширины и с весом, пересчитываемым из весов баттерфляев. Далее предлагается соответствующая техника.

Трансформация представления оптимального портфеля

Проведем формальную трансформацию произвольного портфеля G в каноническом базисе из простейших баттерфляев $B = \{B_i, i = 1..n\}$ в эквивалентный базис $E = \{K_i, i = 1..n\}$ из кондоров, n – число котируемых страйков опционов. При этом под инструментом B_i можно понимать наилучший по стоимости из всех возможных для страйка $i = 1..n$ типов баттерфляев. Пусть ξ – вектор позиций страйков в порядке возрастания относительных доходов, g – вектор весов оптимального портфеля в базисе B , w – вектор весов в базисе E . Имеем

$$G = \sum_j g_j B_j = \sum_j g_{\xi(j)} B_{\xi(j)} = S_1.$$

Здесь индекс ξ_1 означает позицию в векторе ξ наименьшего относительного дохода, ξ_n – наибольшего. Во второй сумме слагаемые упорядочены по возрастанию компонент вектора g . Проведем трансформацию представления.

$$S_1 = \sum_j g_{\xi(j)} B_{\xi(j)} = g_{\xi(1)} \sum_j B_{\xi(j)} + S_2 = g_{\xi(1)} K_1 + S_2, \quad K_1 = \sum_j B_{\xi(j)} = U;$$

$$S_2 = \sum_{j>1} (g_{\xi(j)} - g_{\xi(1)}) B_{\xi(j)} = (g_{\xi(2)} - g_{\xi(1)}) \sum_{j>1} B_{\xi(j)} + S_3 = (g_{\xi(2)} - g_{\xi(1)}) K_2 + S_3,$$

$$K_2 = \sum_{j>1} B_{\xi(j)};$$

...

$$S_{i+1} = \sum_{j>i} (g_{\xi(j)} - g_{\xi(i)}) B_{\xi(j)} = (g_{\xi(i+1)} - g_{\xi(i)}) \sum_{j>i} B_{\xi(j)} + S_{i+2} = (g_{\xi(i+1)} - g_{\xi(i)}) K_{i+1} + S_{i+2},$$

$$K_{i+1} = \sum_{j>i} B_{\xi(j)}, \quad i = 3..n-2;$$

...

$$S_{n-1} = \sum_{j>n-2} (g_{\xi(j)} - g_{\xi(n-2)}) B_{\xi(j)} = (g_{\xi(j)} - g_{\xi(n-2)}) \sum_{j>n-2} B_{\xi(j)} + S_n = (g_{\xi(n-1)} - g_{\xi(n-2)}) K_{n-1} + S_n,$$

$$K_{n-1} = \sum_{j>n-2} B_{\xi(n-2)}.$$

$$S_n = (g_{\xi(n)} - g_{\xi(n-1)}) B_{\xi(n)} = (g_{\xi(n)} - g_{\xi(n-1)}) K_n.$$

В результате получаем

$$G = \sum_j g_j B_j = \sum_i (g_{\xi(i)} - g_{\xi(i-1)}) K_i, \quad g_{\xi(i)} - g_{\xi(i-1)} > 0, \quad i = 1..n, \quad g_{\xi(0)} = 0.$$

Здесь $K_i, i = 2..n$ – обобщенный кондор (т.е. объединение простых кондоров), получаемый из $K_1 = U$ исключением страйков $\kappa_j, j = \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{i-1}$. Такой кондор будем обозначать также $K\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{i-1}\}$. Все эти кондоры будем рассматривать как инструменты, образующие базис $E = \{K_i, i = 1..n\}$.

Рассмотрим относительно простой пример, оставляя за рамками изложения исходные данные по рынку – вероятностный прогноз и ценовые характеристики. Ограничимся лишь необходимыми для анализа возможными результатами работы алгоритма. Пусть $n = 10$, $h = 1$ (расстояние между страйками)

Пример. Пусть алгоритм оптимизации порождает векторы

$$\xi = \{10, 9, 8, 1, 7, 2, 6, 3, 5, 4\};$$

$$g = \{0.13, 0.32, 0.60, 1.0, 0.79, 0.45, 0.22, 0.08, 0.03, 0.01\}.$$

Простота примера состоит в том, что при таких данных платежная функция оптимального портфеля оказывается унимодальной, принимающей максимальное значение, равное единице, в точке страйка k_4 . Поэтому здесь достаточно будет ограничиться обычными кондорами (хотя усеченность кондора с одного из краев линейки страйков все же потребуется). В соответствии с итеративной процедурой имеем

$$S_1 = g_{10}K_1 + S_2, \quad K_1 = K\{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\};$$

$$S_2 = (g_9 - g_{10})K_2 + S_3, \quad K_2 = K\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\};$$

$$S_3 = (g_8 - g_9)K_3 + S_4, \quad K_3 = K\{1,2,3,4,5,6,7,8\};$$

$$S_4 = (g_1 - g_8)K_4 + S_5, \quad K_4 = K\{1,2,3,4,5,6,7\};$$

$$S_5 = (g_7 - g_1)K_5 + S_6, \quad K_5 = K\{2,3,4,5,6,7\};$$

$$S_6 = (g_2 - g_7)K_6 + S_7, \quad K_6 = K\{2,3,4,5,6\};$$

$$S_7 = (g_6 - g_2)K_7 + S_8, \quad K_7 = K\{3,4,5,6\};$$

$$S_8 = (g_3 - g_6)K_8 + S_9, \quad K_8 = K\{3,4,5\};$$

$$S_9 = (g_5 - g_3)K_9 + S_{10}, \quad K_9 = K\{4,5\};$$

$$S_{10} = (g_4 - g_5)K_{10}, \quad K_{10} = K\{4\}.$$

Переход от канонического базиса $B = \{B_i, i = 1..n\}$ к базису $E = \{K_i, i = 1..n\}$ из кондоров и обратно обеспечивается соответственно матрицей доходов в точках страйков Y и обратной к ней. При этом $w = gY^{-1}$.

Результаты и обсуждение

В этом примере мы, по существу, обходимся обычными длинными кондорами, если не считать того, что кондоры K_2 , K_3 и K_4 являются усеченными слева и сводятся к простейшим спрэдам. Разумеется, выпадают из общего ряда и кондоры $K_1 = U$ (безрисковый актив) и $K_{10} = B_4$ (частный случай – простейший баттерфляй), но такое свойство присуще любой подобной задаче.

Однако уже для задачи с унимодальной платежной функцией, принимающей минимальное значение в точке некоторого внутреннего страйка, большинство из инструментов K_i распадается на два кондора, и их лучше интерпретировать как обобщенные кондоры. Решение усложняется в еще большей степени для более причудливых типов платежных функций.

Из свойств вектора ξ вытекают неравенства ($g_{\xi(0)} = 0$)

$$w_i = g_{\xi(i)} - g_{\xi(i-1)} > 0, \quad i = 1..n.$$

Очевидно, что такое свойство сохраняется для любой возникающей в подобных задачах конфигурации кондоров. В данном примере имеем

$$G = gB = wE,$$

$$w = \{0.01, 0.02, 0.05, 0.05, 0.09, 0.1, 0.13, 0.15, 0.19, 0.21\}.$$

$$G = 0.01 K_1 + 0.02 K_2 + 0.05 K_3 + 0.05 K_4 + 0.09 K_5 + 0.1 K_6 + 0.13 K_7 + 0.15 K_8 + 0.19 K_9 + 0.21 K_{10}.$$

Если все кондоры образуются из коллов, то

$$E_C = \{U, U - C_9 + C_{10}, U - C_8 + C_9, U - C_7 + C_8, C_1 - C_2 - C_7 + C_8, C_1 - C_2 - C_6 + C_7, C_2 - C_3 - C_6 + C_7, C_2 - C_3 - C_5 + C_6, C_3 - C_4 - C_5 + C_6, C_3 - 2C_4 + C_5\};$$

Приводя подобные члены, получаем представление портфеля в коллах

$$G_C = 0.13 U + 0.19 C_1 + 0.09 C_2 + 0.12 C_3 - 0.61 C_4 - 0.13 C_5 + 0.11 C_6 + 0.09 C_7 + 0.09 C_8 + 0.03 C_9 + 0.02 C_{10}.$$

Аналогичным образом можно получить представление в одних путах, а также смешанные представления с участием и коллов, и путов, например, в случае наличия центра рынка. В первом случае имеем

$$E_P = \{U, -P_9 + P_{10}, -P_8 + P_9, -P_7 + P_8, P_1 - P_2 - P_7 + P_8, P_1 - P_2 - P_6 + P_7, P_2 - P_3 - P_6 + P_7, P_2 - P_3 - P_5 + P_6, P_3 - P_4 - P_5 + P_6, P_3 - 2P_4 + P_5\};$$

$$G_P = 0.01 U + 0.19 P_1 + 0.09 P_2 + 0.12 P_3 - 0.61 P_4 - 0.13 P_5 + 0.11 P_6 + 0.09 P_7 + 0.09 P_8 + 0.03 P_9 + 0.02 P_{10}.$$

Во втором (центр рынка совпадает со страйком K_5) –

$$E_M = \{U, U - C_9 + C_{10}, U - C_8 + C_9, U - C_7 + C_8, P_1 - P_2 - C_7 + C_8, P_1 - P_2 - C_6 + C_7, P_2 - P_3 - C_6 + C_7, P_2 - P_3 - C_5 + C_6, P_3 - P_4 - C_5 + C_6, P_3 - 2P_4 + P_5\};$$

$$G_M = 0.13 U + 0.19 P_1 + 0.09 P_2 + 0.12 P_3 - 0.61 P_4 + 0.21 P_5 - 0.34 C_5 + 0.11 C_6 + 0.09 C_7 + 0.09 C_8 + 0.03 C_9 + 0.02 C_{10}.$$

Каноническое представление через баттерфляи, несмотря на свою теоретическую привлекательность, а также возможность выбора среди всех канонических баттерфляев наилучшего, может не всегда устроить инвестора на реальном рынке. Дело в том, что, во-первых, баттерфляи обычно не котируются на рынках непосредственно, а во-вторых, в случае, если в портфеле оказываются разные типы баттерфляев, реализация их алгебраического сокращения будет затруднена и комиссионные расходы могут оказаться чрезмерными.

Поэтому предпочтительнее оказываются представления G_C , G_P и G_M . Более естественным видится последнее из них, что связано с наличием соответствующих котировок на рынке нужных опционов. Допустимы и разновидности этих представлений, когда при наличии на одно и то же место в базисе нескольких претендентов – в качестве крыльев кондора – можно использовать наилучший по стоимости с последующей проверкой суммарной стоимости.

Список литературы

1. Агасандян Г.А. Финансовая инженерия и критерий допустимых потерь (VaR). М.: ВЦ РАН, 2001. 34 с.
2. Агасандян Г.А. Финансовая инженерия и континуальный критерий VaR на рынке опционов // Экономика и математические методы, 2005, т. 41, №4. С. 88-98.
3. Агасандян Г.А. Применение континуального критерия VaR на финансовых рынках. М.: ВЦ РАН, 2011. 299 с.
4. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. – 948 с.
5. Agasandian G.A. Optimal Behavior of an Investor in Option Market // International Joint Conference on Neural Networks. The 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence (Honolulu, Hawaii, Mai 12-17, 2002). Pp. 1859-1864.

КОНТИНУАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ *VAR* НА СОСТАВНЫХ РЫНКАХ ОПЦИОНОВ

Аннотация

Рассматривается рыночная конструкция, связанная с поведением инвестора, строящего свои рискованные предпочтения на основе континуального критерия *Var* на комбинированном, вообще говоря, многомерном рынке опционов. Комбинированный рынок в работе – это два увязанных между собой рынка разных размерностей. Для простоты один из них предполагается двумерным, а другой – одномерным, при этом базовый актив второго рынка является одновременно одним из базовых активов первого. Предлагается решение в форме комбинации двумерного портфеля на первом рынке и одномерного – на втором. Используется модификация стандартного для задач с континуальным критерием *Var* алгоритма оптимизации. Предлагаемые конструкции иллюстрируются численными примерами и графиками портфельных доходов.

Введение

Континуальный критерий *Var* (*CC-Var*) требует построения из имеющихся на рынке инструментов такого портфеля, чтобы порождаемый им доход q удовлетворял неравенствам $P\{q \geq \phi(\varepsilon)\} \geq 1 - \varepsilon$ для всех $\varepsilon \in [0, 1]$ ($P\{S\}$ – вероятность множества S в соответствии с прогнозом инвестора). Подробное исследование применения *CC-Var* на опционных рынках, включая многомерные, можно найти в [1-3, 5]. Монотонно возрастающая и непрерывная функция $\phi(\varepsilon)$ задается инвестором и определяет его рискованные предпочтения. Там же предлагается алгоритм оптимизации портфеля, основанный на анализе функции относительных доходов с использованием процедуры Неймана-Пирсона из статистики [4]. Оптимальный портфель инвестора строится в базисе из простейших баттерфляев опционного рынка.

Содержание настоящей работы связано с интерпретацией доходностей базовых активов, образующих многомерные рынки опционов. Участник рынка строит свое поведение, инвестируя сразу на двух частично увязанных между собой рынках разных размерностей. Один из них – двумерный рынок с двумя базовыми активами, а другой – одномерный, при этом базовый актив одномерного рынка является одним из базовых активов двумерного. Такой рынок называем комбинированным (2,1)-мерным рынком.

Решение ищется в форме комбинации двух портфелей – одного двумерного на первом рынке и другого одномерного – на втором. Решение основывается на использовании расхождения в безрисковых относительных доходах на двух рынках. При этом модификация алгоритма оптимизации учитывает основной финансовый принцип, согласно которому всякий дополнительный риск должен быть адекватно вознагражден.

Предлагается механизм виртуализации двумерного рынка из двух одномерных рынков, позволяющий строить не существующий в реальности двумерный рынок на основе двух существующих одномерных рынков с соблюдением естественно возникающих условий их согласованности. К рассматриваемой задаче применением подобной виртуализации двумерного рынка сводится и другая задача для двух одномерных рынков с взаимонезависимым ценообразованием, что делает ее фактически частным случаем первой. Иллюстративный материал по второй задаче ввиду его схожести с первой здесь не представлен.

Согласование процентных ставок

При рассмотрении теоретических двумерного и двух одномерных рынков используются обозначения X и Y для множеств значений базовых активов X и Y соответственно, при этом ценовая функция и прогнозная плотности обозначаются для двумерного рынка соответственно $c(x, y)$ и $p(x, y)$, для первого одномерного рынка – $c_X(x)$ и $p_X(x)$, для второго – $c_Y(y)$ и $p_Y(y)$, $x \in X$, $y \in Y$.

Плотность $c(x, y)$ является стоимостью δ -инструмента $D(x, y)$ – континуального аналога нормированного простейшего баттерфляя двумерного рынка, $p(x, y)$ – его средний доход. Плотности $c_X(x)$ и $p_X(x)$, $c_Y(y)$ и $p_Y(y)$ – то же самое для δ -инструментов $D_1(x)$ и $D_2(y)$ двух одномерных рынков. Имеют место

$$\int_{X \times Y} c(x, y) dx dy = \theta_{XY}, \int_X c_X(x) dx = \theta_X, \int_Y c_Y(y) dy = \theta_Y;$$

$$c_1(x) = \int_Y c(x, y) dy, c_2(y) = \int_X c(x, y) dx,$$

$$\int_X c_1(x) dx = \int_Y c_2(y) dy = \int_{X \times Y} c(x, y) dx dy = \theta_{XY}.$$

При рассмотрении рынков опционов, как одномерных, так и многомерных (в чистом виде), мы принимали в [1-3,5] без ограничения общности для безрискового относительного дохода за период $r \equiv 1$. Потому и $\theta_{XY} \equiv 1/r = 1$.

Однако теперь нам приходится такое предположение отвергнуть, поскольку у нас уже не один рынок, и в новых условиях оно становится ограничительным. При совместном рассмотрении двумерного рынка и его одномерных компонентных рынков имеется в виду, что ценообразование на них производится отдельно, как для двумерных инструментов, так и двух одномерных, так как это два самостоятельных рынка, хотя и связанных между собой.

Плотность $c(x, y)$ является атрибутом лишь собственно двумерного рынка. Предположим, что на координатных одномерных рынках (или на одном из них) сформированы одномерные плотности $c_X(x)$ и $c_Y(y)$, которые при этом не обязаны совпадать с маргинальными для $c(x, y)$ плотностями $c_1(x)$ и $c_2(y)$ соответственно, т.е.

$$c_X(x) \neq c_1(x) \text{ и } c_Y(y) \neq c_2(y).$$

Важно подчеркнуть суть различий между всеми введенными плотностями. Напомним, что плотность $c(x, y)$ является стоимостью двумерного инструмента $D(x, y)$ на двумерном теоретическом рынке с двумя базовыми активами X и Y . Плотность $c_1(x)$ является стоимостью двумерного инструмента $D_1(x)U_2$, а $c_2(y)$ – двумерного инструмента $U_1D_2(y)$ того же двумерного рынка

(U_1 и U_2 – безрисковые активы двух одномерных рынков с базовыми активами X и Y соответственно).

В отличие от маргинальных плотностей $c_1(x)$ и $c_2(y)$ плотность $c_X(x)$ является стоимостью одномерного инструмента $D_X(x)$ на одномерном рынке с базовым активом X , а $c_Y(y)$ – одномерного инструмента $D_Y(y)$ на одномерном рынке с базовым активом Y .

Вообще говоря, плотности $c_X(x)$ и $c_Y(y)$ могут быть никак не связаны с плотностями $c_1(x)$ и $c_2(y)$, равно как и параметры θ_X и θ_Y могут быть произвольны. Более того, приводимые в последующем конструкции допускают возможность таким произволом пользоваться. Однако в теоретическом случае в предположении недопущения арбитража эти характеристики должны удовлетворять условию согласованности. Возникают жесткие взаимосвязи

$$c_X(x) \equiv \tau_1 c_1(x), \quad c_Y(y) \equiv \tau_2 c_2(y), \quad \theta_{XY} = \theta_X \theta_Y.$$

Для упрощения записи формул и вычислений полагаем

$$\theta_{XY} \equiv 1.$$

В таком случае остается единственный свободный параметр τ и имеет место

$$\theta_X = \tau_1 = \tau, \quad \theta_Y = \tau_2 = \tau^{-1}.$$

Правило переключения между рынками и численные примеры

Использование CC-VaR предполагает анализ относительных доходов для дискретной модели рынка с n страйками по каждой координате. При наличии двух рынков разных размерностей в анализе участвуют относительные доходы для двумерного рынка, его одномерной координатной версии и самостоятельного первого одномерного рынка соответственно

$$\rho_{ij} \equiv p_{ij}/c_{ij}, \quad \rho_{1;j} \equiv p_{1;j}/c_{1;j}, \quad \rho_{X;j} \equiv p_{X;j}/c_{X;j}, \quad i, j \in I = \{1, 2, \dots, n\}.$$

В терминах этих характеристик основное условие переключения между рынками, одновременно вводящее искомое множество индексов M переключения, можно записать в виде

$$\{\forall i \in I: \rho_{X;j} > \rho_{ij} \Leftrightarrow \rho_{1;j} > \tau \rho_{ij}\} \Rightarrow i \in M \subset I.$$

Идея такого переключения состоит в том, что при выполнении его условия для некоторого фиксированного $i \in I$ предлагаемая замена в портфеле двумерного инструмента $D_{1;i}$ (т.е. $D_{1;i}U_2$) одномерным инструментом $D_{X;i}$ гарантирует сохранение прогнозной вероятности с одновременным увеличением доходности портфеля.

Рассматриваются два примера с $n = 12$.

Пример 1. $c(x, y) = 27/160 - (x+1/2)^2/40 - (y-1/2)^2/40 - (z-1/2)^2/40,$
 $p(x, y) = 7/40 - x^2/20 - y^2/20 - z^2/20.$

Пример 2. $c(x, y) = 29/100 - 3(x+y)^2/50, \quad p(x, y) = 3/10 - 3(x-y)^2/40.$

Суть различий в примерах состоит в том, что в первом из них наибольшие относительные доходы возникают в области центра рынка, а во втором – на периферии. Это порождает качественное расхождение в свойствах оптимального решения. Использование стандартного алгоритма оптимизации совместно с правилом переключения между рынками оптимальные комбинированные портфели находятся для произвольного значения параметра $\tau < 1$.

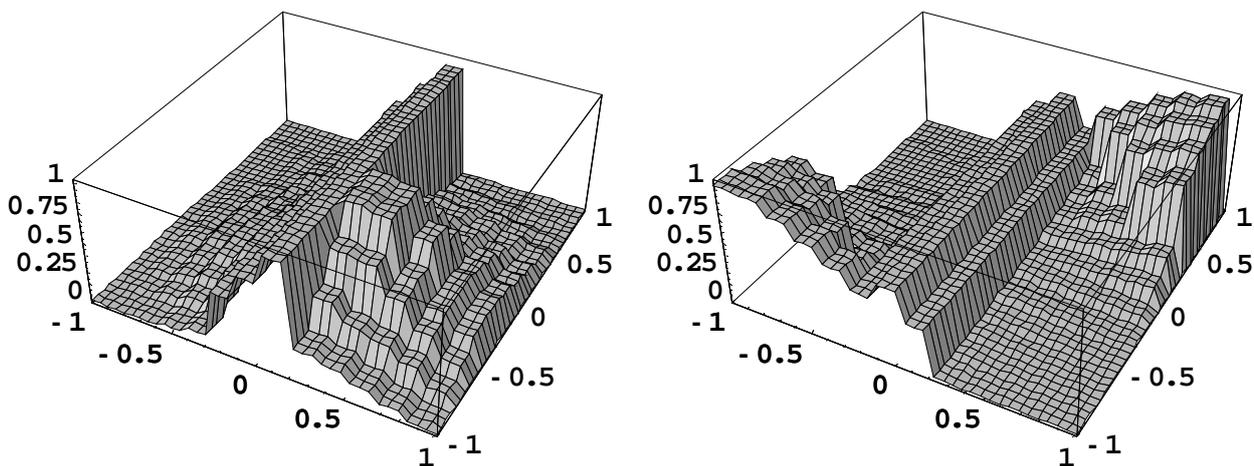


Рис. 1. Доходы комбинированных портфелей для примера 1 при $\tau = 0.75$ (слева) и примера 2 при $\tau = 0.8$ (справа)

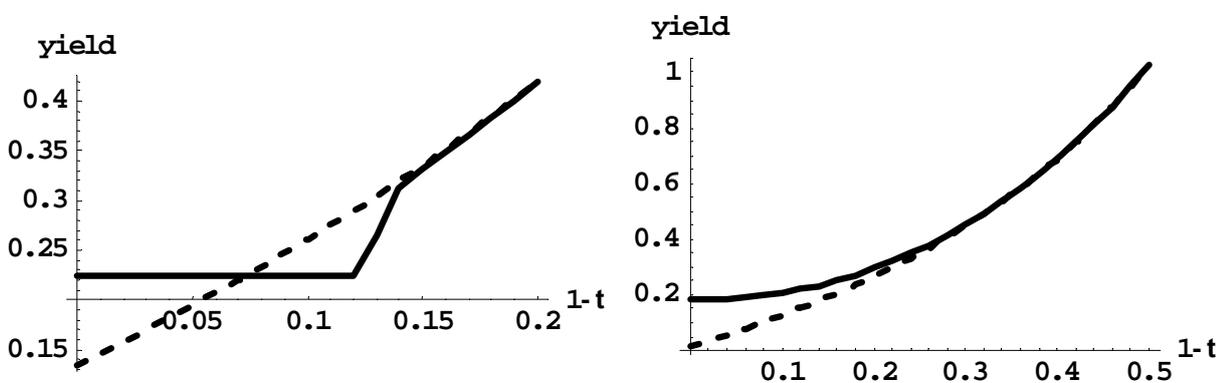


Рис. 2. Доходность одномерного (штриховая линия) и комбинированного (сплошная линия) портфелей (слева – для примера 1, справа – для примера 2)

Из рис. 2 видно, что для примера 1 при $\tau > \tau_{cr} (\approx 0.93)$ лучше использовать чисто двумерный портфель (его доходность вообще не зависит от τ), а при $\tau < \tau_{cr}$ – чисто одномерный портфель; для примера 2 при всех тестируемых значениях параметра τ лучшим оказывается комбинированный портфель – его доходность превышает доходность одномерного портфеля.

Список литературы

1. Агасандян Г.А. Финансовая инженерия и критерий допустимых потерь (VaR). М.: ВЦ РАН, 2001. 34 с.
2. Агасандян Г.А. Финансовая инженерия и непрерывный критерий VaR на рынке опционов // Экономика и математические методы, 2005, т. 41, №4. С. 88-98.
3. Агасандян Г.А. Применение непрерывного критерия VaR на финансовых рынках. М.: ВЦ РАН, 2011. 299 с.
4. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. – 948 с.
5. Agasandian G.A. Optimal Behavior of an Investor in Option Market // International Joint Conference on Neural Networks. The 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence (Honolulu, Hawaii, Mai 12-17, 2002). Pp. 1859-1864.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАСШИРЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БОЛЬШИМИ КОЛЛЕКТИВАМИ РОБОТОВ*

Аннотация

В статье предлагается один из вариантов решения проблемы загруженности каналов обратной связи при управлении большими коллективами роботов, построенный на базе использования беспроводной передачи данных по оптическому каналу и технологий расширенной реальности. Описывается алгоритм кодирования информации с помощью двумерного динамического кода.

Введение

Централизованное управление большими коллективами роботов требует обеспечения постоянной обратной связи между верхним уровнем управления – координатором и самими роботами – агентами коллектива, которых может быть несколько десятков и несколько сотен. Эффективность обратной связи зависит от своевременной передачи информации на верхний уровень управления, т.е. основная нагрузка в системе управления приходится на каналы приёма информации: координатору необходимы полная картина происходящего в рабочей области и данные о функционировании каждого агента коллектива. На основании получаемой информации координатор генерирует и отправляет управляющие команды, объем передаваемых данных ниже на 2-3 порядка, активным роботам. Таким образом, проблема загруженности информационных каналов связана в основном с обеспечением своевременного приёма информации поступающей от агентов.

Наибольшее распространение среди беспроводных каналов связи получили технологии *Bluetooth* [2] и *ZigBee* [4], работающие на частоте 2,4 ГГц. Данные технологии не решают проблему своевременной передачи данных от большого коллектива роботов, так как процесс передачи информации происходит по принципу «точка-точка» вне зависимости от топологии сети. Кроме того, в случае управления коллективом мобильных роботов данный вид передачи данных не позволяет отследить ориентацию и местоположение мобильного робота в пространстве.

Технология расширенной реальности

Решение выявленной проблемы видится в использовании оптического канала обмена информации. Бурное развитие и широкое использование СТЗ в

* Работа осуществляется при финансовой поддержке Программы №1 Отделения ЭММПУ РАН «Научные основы робототехники и мехатроники».

робототехнике позволяет легко организовать одно- и много-камерные системы наблюдения за рабочей областью, где может одновременно находиться достаточно большое количество роботов. Предлагается использовать один из элементов технологии расширенной реальности – оптические маркеры и построить на его базе знаковый (оптический) язык обмена информации, используя пространственно размещённые коды. При этом решаются следующие задачи:

1. Позиционирования (всегда можно отследить, где находится робот: координаты, ориентация и т.д.) с помощью специальных маркеров или выделенных зон на маркере.

2. Параллельной многопоточной передачи информации, если требуется передать информацию, используется пространственно размещённый код – метки расширенной реальности. При этом верхний уровень управления на основе частной информации, поступающей от каждого робота, может обобщить, реконструировать и сформировать новые знания о коллективе.

Передача информации на верхний уровень системы управления актуальна в случае, прохождения мобильным роботом заданного маршрута, когда он может натолкнуться на невидимые верхнему уровню препятствия. Такие препятствия могут иметь небольшие размеры, затрудняющие их распознавание камерой наблюдения, могут быть затенены более крупным препятствием или засвечены ярким светом. Учесть все факторы влияющие на идентификацию объектов невозможно, так как камера работает с двумерным изображением и это всегда будет накладывать ограничения на распознавание трёхмерных объектов. Таким образом, верхний уровень управления способен построить «грубую» карту рабочей зоны, в то время как сенсоры мобильных роботов будут способны оценить своё ближайшее окружение более точно и передать уточняющую информацию на верхний уровень с помощью пространственно размещённого кода. Обнаруженное мобильным роботом новое препятствие нераспознанное камерой наблюдения будет построено на карте в виде виртуального объекта.

Также, в случае, если робот совершает определённые манипуляции с небольшими объектами, которые не фиксируются камерой наблюдения верхнего уровня управления, используя технологию расширенной реальности система может построить виртуальный объект и визуализировать процесс его обработки роботом. Верхний уровень системы управления освобождается от обработки «сырой» информации поступающей с локальных сенсоров каждого робота коллектива и считывает с маркеров уже обработанные данные, на основе которых достраивает картину рабочей области виртуальными объектами.

Кодирование информации

Маркер расширенной реальности представляет собой двумерный штрихкод, отображающий информацию о состоянии мобильного робота, показаний различных датчиков, режимов работы исполнительных механизмов и т.д. При использовании маркеров на борту мобильных роботов важным

параметром является компактность штрихкода. Поэтому, в качестве основы для построения маркера взята технология *DataMatrix* [5]. Для увеличения объёма кодируемой информации и сохранения компактности кода, а также обеспечения достаточной помехозащищённости кода и устойчивой передачи данных был разработан алгоритм формирования пакета данных, а именно динамический двумерный код. Измерительные линейки, расположенные по краям кода позволяют определить ориентацию кода в пространстве, а следовательно и положение робота. Для коррекции ошибок, возможных при передаче данных, при кодировании сообщения применяется алгоритм Рида-Соломона [3].

Допустим мобильному роботу необходимо отправить сообщение, содержащее его идентификатор $R=01$; координаты относительно начального положения $X=01$, $Y=02$; направление $N=3$ (из восьми возможных); информацию с датчиков локации: $O1=01100000b$ $O2=01100010b$ $O3=01100110b$ (по 1 байту для ближней, средней и дальней зоны обнаружения). Представим исходное сообщение в виде последовательности байт, сгруппированных по 4 на каждый кадр. При этом последний байт каждого кадра дублируется в следующем кадре для сохранения целостности пакета при передаче.

В кодах Рида-Соломона сообщение представляется в виде набора символов алфавита поля Галуа. Будем использовать поле Галуа $GF(16)$, состоящее из 16 элементов и построенное с помощью полинома x^4+x+1 и примитивным элементом $a=2$. Полезное сообщение каждого кадра пакета перемножается на порождающий многочлен $g(x)$:

$$g(x) = \prod_{(i=1..D-1)} (x + a^i) = (x + a^1)(x + a^2)...(x + a^{D-1}). \quad (1)$$

Построим порождающий многочлен для следующих параметров: общее количество символов $N=15$, в котором «полезное» количество символов $K=9$ (возведения в степень и умножения производится по правилам полей Галуа):

$$g(x) = (x + 2)(x + 2^2)(x + 2^3)(x + 2^4)(x + 2^5)(x + 2^6) = x^6 + 7x^5 + 9x^4 + 3x^3 + 12x^2 + 10x + 12. \quad (2)$$

Таким образом, полученное закодированное сообщение будет представлено в двоичном коде в виде чёрно-белых элементов матрицы двумерного кода (рисунок 1,а). Отправка сообщения происходит динамическим отображением двумерного кода на специальном дисплее мобильного робота. Для сравнения закодируем то же самое исходное сообщение с помощью стандартного алгоритма кода *DataMatrix* (рисунок 1,б).

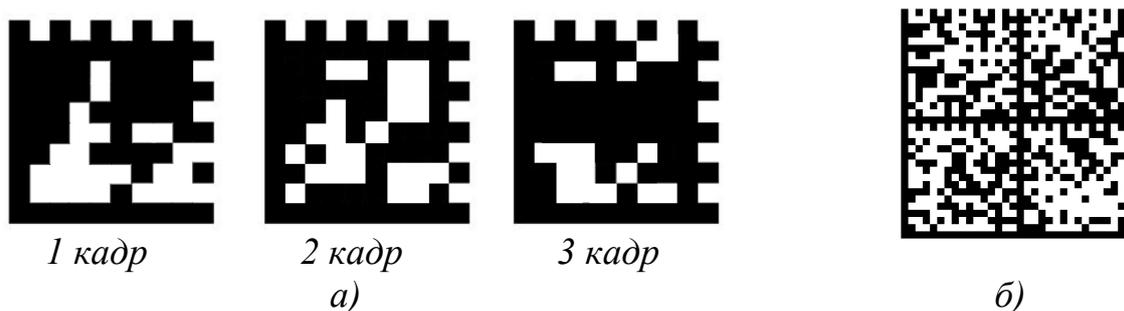


Рис. 1. Динамический двумерный код (а) и *DataMatrix* (б)

Заключение

Как видно из рисунков 1(а) и 2(б), динамический двумерный код по сравнению с *DataMatrix* кодом имеет меньший размер кадра и больший геометрический размер отдельного элемента кода, что приводит к увеличению скорости распознавания кода. Так как скорость распознавания объёмного *DataMatrix* кода ниже скорости распознавания отдельных кадров динамического кода, то в среднем временные затраты на передачу всего пакета данных будут не столь велики. Но при этом достигается компактность кода при любых объёмах передаваемых данных, что очень важно при небольших размерах мобильных минироботов.

Для проведения экспериментов передачи данных и сканирования двумерных кодов с коллектива мобильных роботов ведутся работы по созданию полунатурного робототехнического комплекса на базе миниатюрных мобильных роботов с высокой степенью автономности и открытой архитектурой [1].

С использованием технологий расширенной реальности появляется возможность наблюдать рабочую область из любой точки в пространстве, под любым ракурсом и планом, детализировать изображение интересующей области, сделать «разрез» интересующего устройства и т.д.

Список литературы

1. Алексеев А.Ю. Концепция построения системы управления коллективом мобильных микроботов // Актуальные проблемы в науке и технике. Том 4. Машиностроение, электроника, приборостроение. Сборник трудов пятой всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых учёных, 17-20 февраля 2010 г. / Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2011. – с. 17-20.
2. Борзенко Алексей. Технология Bluetooth / Журнал BYTE №9 (50), сентябрь 2002. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=6611> (дата обращения 20.02.2013).
3. Крис Касперски. Могущество кодов Рида-Соломона или информация, воскресшая из пепла. [Электронный ресурс]. URL: http://www.insidepro.com/kk/027/027r.shtml#_ftn3 (дата обращения 20.02.2013).
4. Яманов А.Д., Алевский Д.А., Плеханов А.Е. Технология развертывания локальных беспроводных радиосетей ZigBee в системах промышленной автоматизации и диспетчеризации / Журнал «ИСУП», № 6(36)_2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://isup.ru/articles/3/1212/> (дата обращения 20.02.2013).
5. Russ Adams. Specifications For Popular 2D Bar Codes. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adams1.com/stack.html> (дата обращения 20.02.2013).

СВЯЗИ НА ФИНАНСОВЫХ СЕТЯХ. УСТОЙЧИВОСТЬ В НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЯХ

Аннотация

Феномен экономического кризиса рассматривается в контексте различных научных подходов, применяемых в моделировании сложных систем. Предпринята попытка формализованного описания модели кредитного рынка с позиций нелинейной динамики и теории систем на сетях. Рассмотрены также другие подходы (в частности, дискретные модели) для описания экономических явлений.

Введение

В настоящее время хорошо известно, что свойства сложных систем могут существенно отличаться от свойств составляющих эти системы элементов (или точечных систем). В экономической сфере можно рассматривать отдельные компании или страны как точечные системы, взаимодействующие через потоки сырья, товаров и капиталов. Здесь, естественно возникает вопрос, какие условия – расширение или сокращение (или перераспределение и перенаправление) – этих потоков будет способствовать стабилизации или дестабилизации свойственным природе отдельных систем колебательным тенденциям (оборачиваемость запасов, строительных циклов и т. д.).

Моделирование дискретных экономических сетей в данной работе приводится как иллюстрация прикладных возможностей разработанной нами общей теории динамических систем на сетях [1-3]. С одной стороны, это демонстрирует возможность управления сложной системой путем формирования путей и интенсивностей обмена между подсистемами, с другой – возможность классификации объектов (динамических систем и структур связи), позволяющая в определенной мере предсказать динамику порождаемого этими объектами коллектива, который в контексте данной статьи мог выглядеть, например, как взаимосвязанная сеть неких региональных экономик.

Модели систем на сетях. Обзор с примерами

Пример применения теории динамических систем на сетях, который автор не может не упомянуть в экономическом обзоре, связан с концепцией «автокаталитичности» в экономике (см., например, Дж. Стиглиц с соавторами [4]). Автокаталитичность в экономике предполагает, что поведение системы в целом подталкивается элементами с наиболее интенсивным ростом сильнее, нежели усредненными элементами. Интересно заметить, что автокаталитичность в понимании классиков (Дж. Марри, И. Пригожин и др.) для биологических осцилляторов - колебательных, самовоспроизводящихся

реакций - подразумевает наличие обратных связей, или хотя бы одной обратной связи в цепочке реакций взаимопереходов.

В работе [4] рассматриваются две подсети, которые получаются из общей сети путем проекции на множество банков (подсеть банков) и множество фирм (подсеть фирм), соответственно. В этих подсетях объекты, находящиеся в узлах, уже однотипны, что позволяет, в принципе, подобрав подходящую для описания точечную модель и, сделав соответствующую формализацию, опираясь на теорию G -связных систем [1-3], получить серию математических результатов, содержательно интерпретирующих поведение как самых слабых в отношении потери устойчивости (бифуркации) узлов, так и всей системы в целом.

Критерием катастрофы в этих представлениях является потеря устойчивости системы. Для анализа устойчивости в рамках теории динамических связанных систем на сетях несомненный теоретический интерес представляют такие точечные динамические системы, в которых равновесное состояние существует и является топологическим узлом (при определенном наборе внутренних параметров системы, что соответствует режиму, в котором региональная экономическая система находится в равновесии с окружающей средой). В качестве примера точечной модели мы приводили модель эколого-экономической катастрофы, или модель скрытого банкротства, Д.С.Чернавского [5]. Согласно анализу положений равновесия, проведенного в работе [5], упомянутая модель может иметь следующие режимы:

- 1) режим, в котором имеется два стационарных состояния: Одно из них устойчиво (узел или фокус) и в нем мир существует стабильно. Оно имеет конечный ареал притяжения, отделенный сепаратрисой от области притяжения другого (нулевого) состояния, которое соответствует кризису.
- 2) Режим бифуркации. В нем изоклины не пересекаются, но касаются, и стационарные состояния сближаются.
- 3) Режим, в котором имеется только одно стационарное состояние – кризис.

Если теперь рассматривать модель катастрофы как модель «региональной экономики», локализованную в вершине графа (Рис. 1), а каждому ребру графа поставить в соответствие интенсивность «потока» оборотных средств из одной вершины в другую (из региона в другой регион), то полученная глобальная система может быть рассмотрена в контексте сдвига устойчивости стационарного состояния.

Таким образом, для устойчивого положения режима 1) – узла или фокуса – проявляются все свойства теории, изложенной в общем случае для динамических систем со связями на графах. В частности, возможно провести классификацию по типам точечных динамических систем (в зависимости от внутренних параметров). Также проанализировано влияние различных видов связи (односторонние, двусторонние, циклические структуры, полный граф и т.п.) на сдвиг устойчивости в ту или иную сторону. В рамках модели продемонстрировано, что одной из ведущих причин, приводящих региональную экономику к кризису, является множественный рост количества

невозвратов долгов. Для экономических моделей, особенно в условиях глобального кризиса, представляют интерес вопросы устойчивости и дестабилизации региональных экономик в условиях наличия между ними связей (потоков оборотных средств).

Помимо исследования сдвига стационарного состояния типа устойчивого узла или фокуса, несомненный интерес представляет исследование модели в режимах 2) и 3), а также одномерного аналога, предложенного в работе [6].

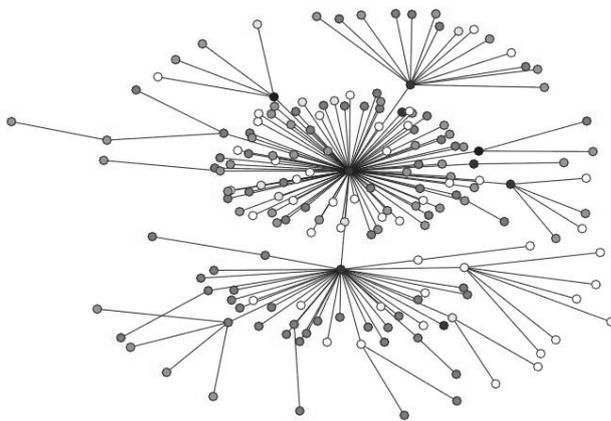


Рис. 1. Пример графа, в вершинах которого – экономические объекты (по Стиглицу [4])

Модели непрерывной и дискретной среды. Примеры

Одной из иллюстраций возможного формального подхода к анализу финансовых сетей может служить работа Р. Смита [7], где, пользуясь некоторыми соотношениями перехода характеристик от одного узла сети к близлежащим узлам, описана автоматная модель распространения «финансовой инфекции». Реализация данной модели позволила получить наглядное представление о динамике распространения финансового кризиса. «Близость» пары компаний еще предшественники Смита предложили оценивать по тому, насколько синхронно колеблются курсы их акций. Сам Смит связал только самых «близких», но так, чтобы сеть охватывала все 500 строк индекса. Математики называют это «минимальным остовным деревом». На практике по такой схеме проводят телевизионные и интернет коммуникации, когда хотят сэкономить провода.

Другой интересной интерпретацией автоматного моделирования может служить модель обмена ресурсами в некой среде [8]. Рассматривается модель непрерывной/дискретной среды, которая содержит сеть из конечного числа локализованных (точечных) элементов, связанных посредством определенных связей между собой. В простейшем случае пространство представляет конечное множество вершин, соединенных ориентированно последовательно (линейный ориентированный граф) или по ориентированной окружности (цикл). Эти элементы распределены достаточно плотно вдоль 1- (или 2-) мерного

континуума или определенного домена в нем. Каждый точечный элемент (или точечная система) находится в своем собственном состоянии и рассматривается как активный элемент, который влияет на окружающую среду, и наоборот. Близость этих элементов должна быть достаточна, чтобы изменения в среде, вызванные деятельностью одного элемента, могли влиять на соседние элементы. Элементы могут взаимодействовать посредством передачи «импульсов» на короткие расстояния, или на длинную дистанцию (с использованием «сигнальных каналов»). Общность постановки позволяет применять эту модель к ситуациям различного содержательного смысла (см., например, [8]). Можно также говорить о переменных товар и деньги, «движущихся» по цепочке в противоположных направлениях. Система взаимных кредитов банков также может быть описана на этом языке. Нами показано, что эта модель имеет весьма сложное динамическое поведение. При одинаковых параметрах, но разных начальных распределениях ресурсов траектория сходится к разным предельным устойчивым состояниям, а при некоторых распределениях ресурсов – к циклу. В частности, наблюдается сходимости к циклу при условии сильного неравновесия (неравномерности распределения ресурсов) в начальном состоянии.

Список литературы

1. Алексеева Е.И. Вопросы устойчивости динамических систем на сетях// М.: Вычислительный центр им. А.А.Дородницына РАН, 2011, 50с.
2. Алексеева Е.И., Киржнер В.М. Зависимость устойчивости набора динамических систем от структуры связи между ними // Доклады Академии наук СССР, т. 313, № 3, 1990. С. 521-524.
3. Алексеева Е.И. О концепции теоретического анализа экономического кризиса на сетях//Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2012): Труды Шестой международной конференции (ежегодный сборник) (1-3 октября 2012 г., Москва, Россия). Том I. -М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. С. 216-218.
4. De Masi G., Fujiwara Y., Gallegati M., Greenwald B., Stiglitz J.E. An Analysis of the Japanese Credit Network.// arXiv:0901.2384v1 [q-fin.ST] 16 Jan 2009. 21 P. <http://www.financialnetworkanalysis.com/about-the-blog>.
5. Чернавский Д.С. О посткризисном мире //2010. <http://spkurdyumov.narod.ru/Kriz.htm>.
6. Зульпукаров М.-Г. М.,Чернавский Д.С., Щербаков А.В. Модель конкуренции // Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2006. 22 С.
7. Reginald D. Smith. The Spread of the Credit Crisis: View from a Stock Correlation Network// arXiv:0901.1392v1 [cond-mat.stat-mech] 10 Jan 2009, 3P.
8. Elena Alekseeva and Valery Kirzhner /Proc. 2nd World Congress of Nonlinear Analysts// Elsevier Science Ltd. Nonlinear Analysis, Theory, Methods & Applications, Vol. 30, No. 8, pp. 4799-4804,1997.

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ ПО ПОДЪЕЗДНЫМ ПУТЯМ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

Аннотация

Статья посвящена исследованию проблем планирования в работе железной дороги контейнерного терминала. Анализируются технологические процессы, протекающие на контейнерном терминале, связанные с размещением железнодорожных вагонов на подъездные пути. Приводится описание метода оптимального размещения вагонов на путях.

Характеристика контейнерных железнодорожных перевозок

Железнодорожный транспорт в РФ имеет исключительно важное значение в жизнеобеспечении многоотраслевой экономики и реализации социально значимых услуг по перевозке пассажиров. На его долю приходится более 75% грузооборота и 40% пассажирооборота, выполняемого транспортом общего пользования [1].

Успешность развития транспортной отрасли определяется эффективностью управления и грамотной организацией деятельности. Одним из ключевых направлений транспортировки грузов по железной дороге являются контейнерные грузоперевозки. Контейнерные перевозки – один из самых удобных и недорогих способов доставки грузов. По информации журнала «Эксперт» объем железнодорожных контейнерных перевозок по России в 2011 году составил 2,6 млн. *TEU* (что на 12% превосходит объем за 2010 год) [2]. По мнению ведущих экспертов железнодорожной отрасли, в течение следующих 10 лет объемы контейнерных перевозок могут увеличиться в 2 – 2,5 раза. Основные грузопотоки контейнеров в России проходят через порт Санкт-Петербурга (35%) , порты Восточный и Владивосток Дальневосточного бассейна (23%) [3].

В настоящее время большое количество исследований уделяется проблемам оптимизации технологических процессов на транспорте. Большой вклад в исследование проблем оптимизации взаимодействия различных видов транспорта при интермодальных перевозках внесли труды В.Н. Зубкова, П.А. Козлова, А.Ф. Котляренко, А.П. Кузнецова, П.В. Куренкова и др.

Однако современные методы оптимизации технологических процессов на контейнерных терминалах не учитывают оперативную обстановку на терминале и погрузочных площадях. Например, при подаче вагонов на подъездные пути не учитываются последующие затраты на выгрузку контейнеров и их перемещение по местам хранения. Контейнеры размещаются в складских секциях терминала, исходя из их направления движения, и таким

образом, чтобы сократить расстояние при перемещении контейнера с подъездного пути до секции хранения. Учет оперативной обстановки на терминале, например график работы техники, приписанной к обработке определенных подъездных путей и складских секций, мог бы повысить эффективность технологических операций в процессе выгрузки и погрузки контейнеров.

Автором проводятся исследования возможной автоматизации железнодорожной составляющей деятельности контейнерного терминала. Объектом исследования являются грузовые процессы, протекающие на железнодорожном транспорте контейнерного терминала. Предметом исследования – условия организации управленческих процессов, влияющие на ход выполнения погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте. Целью проводимого исследования является разработка методов автоматизации процесса управления грузовыми работами на железнодорожном транспорте контейнерного терминала.

Одной из задач исследования является автоматизация размещения железнодорожных вагонов на подъездных путях контейнерного терминала. Требуется разбить последовательность вагонов на подпоследовательности с целью размещения их по подъездным путям таким образом, чтобы:

- учесть длину подъездного пути
- учесть количество техники для обработки этого подъездного пути (временные интервалы, когда работает определенное количество техники)
- минимизировать затраты по выгрузке контейнера с учетом порта назначения (т.е. секции хранения).

Для описания предметной области «Размещение железнодорожных вагонов на подъездных путях» использован современный развивающийся язык *Planning Domain Definition Language (PDDL)* [4]. Впервые для данной предметной области использованы средства для описания длительности планируемых действий и процессов, что позволяет достигать оптимальных показателей плана по времени выполнения, использованы средства для описания жестких и слабых ограничений. Поскольку число критериев при планировании размещения вагонов достаточно велико, то определенные цели считаются обязательными для достижения, а другие желательны в той или иной степени. Использование ограничений в описании плана помогает достичь максимального приближения плана к реальным потребностям людей в их профессиональной деятельности.

Домен планирования должен декларировать множество объектов, которые могут фигурировать в описании задачи планирования. Проведенный анализ предметной области позволил выделить следующие типы объектов: железнодорожный вагон, контейнер, зона хранения контейнера, секция хранения контейнера, железнодорожный фронт, железнодорожная станция и другие. Виды отношений между объектами предметной области, представлены следующими определениями: железнодорожный фронт пригоден для

обработки, железнодорожный вагон находится на железнодорожном фронте, контейнер запланирован к выгрузке в секцию и другими.

Для решения задачи размещения железнодорожных вагонов по подъездным путям контейнерного терминала необходимо обеспечить анализ всевозможных вариантов расстановки. В процессе маневровых работ локомотив может подавать часть состава на железнодорожный фронт, которая должна быть оставлена на этом фронте. Таким образом, порядок вагонов, поданных на фронт, не может отличаться от порядка, в котором эти вагоны находились в начале маневровых работ. Это означает, что задача порождения всевозможных вариантов расстановок вагонов по железнодорожным путям представляет собой задачу разбиения последовательности вагонов на подпоследовательности. Общее количество подпоследовательностей равно количеству железнодорожных фронтов, на которые необходимо разместить вагоны. Количество вагонов в подпоследовательности ограничено длиной фронта таким образом, чтобы сумма длин вагонов в подпоследовательности не превышала длину фронта.

Представим общее количество вагонов в начале маневровых работ натуральным числом N . Тогда разбиение вагонов на подпоследовательности можно представить в виде слагаемых, в сумме дающих исходное натуральное число.

$$X_1 + X_2 + \dots + X_M = N. \quad (1)$$

Количество слагаемых M не должно превышать количество железнодорожных фронтов F , на которые необходимо разместить вагоны.

$$M \leq F \quad (2)$$

Значение слагаемого представляет собой указание количества последовательно стоящих вагонов в подпоследовательности вагонов, размещенных на железнодорожном фронте.

То есть на фронт номер f :

$$1 \leq f \leq M \leq F \quad (3)$$

размещаются вагоны с

$$n_{start}^f = \sum_{i=1}^{f-1} x_i + 1 \quad (4)$$

$$\text{по } n_{last}^f = \sum_{i=1}^f x_i. \quad (5)$$

Например, пусть необходимо разместить 10 вагонов по четырем железнодорожным фронтам. Одним из возможных представлений натурального числа 10 является

$$5 + 3 + 1 + 1 = 10. \quad (6)$$

То есть $M = 4$ и $X_1 = 5$, $X_2 = 3$, $X_3 = 1$, $X_4 = 1$. Таким образом, при использовании такого разбиения на подпоследовательности на первый фронт будут поданы вагоны с первого по четвертый включительно, на второй фронт – вагоны с пятого по восьмой включительно, на третий фронт – девятый вагон и на четвертый фронт – десятый вагон. В данном примере считается, что сумма длин вагонов в подпоследовательностях не превышает длин соответствующих железнодорожных фронтов.

Для перечисления всевозможных разбиений натурального числа на натуральные слагаемые воспользуемся существующим алгоритмом из комбинаторики. Алгоритм модифицирован автором работы для обеспечения учета длины железнодорожных фронтов.

$$\sum_{i=n_{first}^f}^{n_{last}^f} length(Container_i) < length(Front_f) \quad \forall f: 1 \leq f \leq F, \quad (7)$$

где $length(Container_i)$ – длина контейнера с номером i ($1 \leq i \leq N$), $length(Front_f)$ – длина фронта f ($1 \leq f \leq F$).

Помимо этого алгоритм модифицирован для решения задачи поиска оптимального разбиения железнодорожного состава на подпоследовательности согласно критерию, обозначенному при постановке задачи.

$$TotalTransportationCost = \sum_{i=1}^F \sum_{i=n_{first}^f}^{n_{last}^f} TransportationCost(Container_j), \quad (8)$$

где $TransportationCost(Container_j)$ – затраты на транспортировку контейнера с номером j до секции хранения ($1 \leq j \leq N$) имеет минимальное значение среди всевозможных разбиений.

Автором была разработана компьютерная программа, реализующая предложенный алгоритм на языке C#.

Возможные применения разработанного метода

Разработанная модель задачи размещения вагонов на подъездных путях совместно с моделью предметной области может быть использована для решения производственных задач на контейнерном терминале в процессе организации распределения подвижного состава по железнодорожным путям. Использование подобных интеллектуальных методов позволит описывать процессы, происходящие на контейнерном терминале в процессе маневровых работ, и эффективно реализовать планирование производственных процессов с возможностью корректировки плана в процессе его исполнения. Описанная модель может быть успешно применена для решения задач планирования, как на краткосрочный период деятельности контейнерного терминала, так и на стратегические промежутки времени.

Список литературы

1. Организация контейнерных перевозок грузов, Транспортно-грузовые системы [Электронный ресурс] <http://www.tgs-jd.ru/8-transportno-gruzovye-kompleksy-dlya-kontejnerov/8-2-organizaciya-kontejneryx-perevozok-gruzov/>
2. Объемы железнодорожных контейнерных перевозок по России, электронный журнал Эксперт [Электронный ресурс] <http://expert.ru/expert/2012/23/soobrazili-na-dvoih/media/145174/>
3. Контейнерные перевозки, официальный сайт ОАО «РЖД Логистика» [Электронный ресурс] <http://www.rzdlog.ru/site/ru/info/containers/index.html>
4. Gerevini A., Long D. Plan Constraints and Preferences in PDDL3. Technical Report, Department of Electronics for Automation, University of Brescia, Italy, 2005.

ПРИНЦИПЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ НАУЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Аннотация

Предложена модель организации совместной работы над проектами приложений научных вычислений с применением принципов непрерывной интеграции. Обозначена специфика непрерывной интеграции при разработке научных проектов. Представлен проект системы для организации коллективной разработки приложений.

Проблемы разработки приложений научных вычислений

Одной из актуальных проблем в разработке приложений для высокопроизводительных вычислений является быстро возрастающая сложность алгоритмов и систем, что ведёт к замедлению темпов разработки. В настоящее время очень востребована командная разработка, как в промышленном ПО, так и в научном [1]. Во многом это обусловлено тем, что команда может разрабатывать многие модули и подсистемы параллельно, а одному разработчику сложно держать под контролем все аспекты работы приложения.

Общепризнанным стандартом для коллективной разработки ПО являются системы контроля версий (*VCS*), позволяющие вести работы над проектом большому числу разработчиков. Существует ряд сервисов сети Интернет, позволяющих бесплатно использовать *VCS* для работы над свободными проектами: *Google Code*, *Github*. Опыт показывает, что научные работы можно успешно вести в виде проекта с открытым исходным кодом, используя один из публичных хостингов *VCS*.

Другим аспектом коллективной разработки является поддержание работоспособности проекта при частых изменениях. Для этого применяют набор практик непрерывной интеграции – *Continuous Integration (CI)* [2] и эффективной поставки ПО – *Continuous Delivery (CD)* [3]. Их можно адаптировать для работы над научными проектами в сфере высокопроизводительных вычислений.

Специфика процесса непрерывной интеграции в научных проектах

В разработке приложений для научных вычислений есть ряд проблем, отсутствующих в массовой коммерческой разработке:

- сильная зависимость приложений от окружения: нестандартный набор ПО, периферийных устройств, сложная конфигурация оборудования;
- необходимость обеспечения заданной производительности даже для тестовых окружений;

- сложный (длительный) процесс развёртывания ПО в целевом окружении;

- необходимость соблюдать регламент работы с целевым окружением, которое часто является общим для многих групп разработчиков и проектов, а также требует оформления доступа.

Под окружением понимается некоторый программно-аппаратный комплекс: совокупность физических ЭВМ, каналов связи, периферийных устройств и ПО, необходимого для работы системы. Примером является кластер серверов: узлы кластера, высокоскоростные сети передачи данных, система пакетной обработки.

Модель организации совместной работы

Выделим наиболее важные аспекты, требуемые для эффективной коллективной работы над приложениями.

1. Использование систем контроля версий.

2. Наличие эффективного и простого механизма сборки приложения без использования графических утилит, поддерживающего управление зависимостями и различные целевые архитектуры.

3. Применение практик *Test-Driven Development* [4], написание модульных, интеграционных и приёмочных тестов.

4. Использование тестовых окружений, без эксплуатации основных доступных мощностей для проведения тестирования и отладки.

Процесс коллективной разработки строится следующим образом.

1. Разработчики поставляют исходный код в систему контроля версий проекта.

2. После каждого изменения исходного кода в основном репозитории (актуально для *DVCS*) выполняются модульные тесты.

3. Регулярно (раз в день, неделю) выполняются интеграционные и приёмочные тесты в тестовых окружениях.

4. После прохождения всех тестов проект может быть запущен в целевом окружении.

Пункты 3 и 4 достигаются при помощи систем непрерывной интеграции, что позволяет быстро реагировать на возникающие ошибки, оповещать разработчиков о проблемах со сборкой или тестами. Более того, системы непрерывной интеграции снижают негативные эффекты от вовлечения новых разработчиков в команду, позволяют регулярно проводить статический анализ кода программ на предмет ошибок и не допускать их появления в целевых окружениях.

Такая модель немногим отличается от процесса непрерывной интеграции при разработке коммерческих массовых проектов. Основное отличие выполнения интеграционных тестов в приложениях высокопроизводительных вычислений от тестирования коммерческого ПО состоит в том, что проект в целевом окружении может функционировать длительное время (часы, дни) и

требуется наблюдать за его состоянием, собирать сведения о ходе исполнения и возникающих ошибках.

Управление зависимостями осложнено тем, что целевые платформы и архитектуры существенно отличаются от тех, что используются разработчиками, и для целевых и тестовых окружений необходимо иметь версии бинарных артефактов, собранных специально для этих архитектур и платформ.

Система коллективной разработки научных приложений *Templet*

Все проблемы разработки научных приложений характерны и при разработке параллельных приложений на базе суперкомпьютера «Сергей Королёв» в СГАУ.

Для автоматизации командной работы над проектами параллельных приложений был разработан веб-сервис *Templet* (<http://templet.ssau.ru/templet>), работающий на базе Медиацентра СГАУ.

Сервис позволяет:

- начать разработку проекта высокопроизводительного приложения при помощи шаблонов вычислительных методов пакета *Templet SDK* [5]: портфель задач, конвейер и другие;
- организовать работу команды над проектом с применением *VCS*, поддерживается *Subversion*, планируется поддержка *Git*;
- организовывать частное облако окружений для запуска проектов [6];
- вести обсуждения проекта, получить доступ к общим окружениям развёртывания и запущенным задачам;
- разворачивать приложение в тестовом и целевом окружениях (поддерживается неограниченное число окружений для проекта);
- отслеживать работу приложения во время продолжительных вычислений;
- получать уведомления о статусе задач в целевых окружениях;
- автоматически разворачивать приложения в целевых окружениях для тестирования при помощи внешнего интерфейса *REST-API*;
- управлять бинарными зависимостями шаблонов и проектов для различных платформ и архитектур.

Шаблоны проектов позволяют предоставлять готовые структуры проектов и стандартизировать пакеты поставки приложений в целевые окружения. Управление зависимостями предназначено для использования платформозависимых реализаций в целевых окружениях, это позволяет упростить отладку на время разработки и получить большую производительность при тестировании и работе приложения.

Этапы развёртывания проекта включают: получение исходного кода или бинарных артефактов из *VCS*; получение зависимостей из репозитория для конкретного окружения; добавление задачи в очередь развёртывания; загрузка пакета развёртывания в целевое окружение; загрузка входных данных;

опциональная сборка проекта в целевом окружении; запуск или добавление в стороннюю пакетную систему.

Далее по расписанию специальный демон-процесс проверяет статус запущенной задачи, добавляет записи в журнал событий задачи, а также высылает уведомления о статусе по *e-mail*. По завершении исполнения из целевого окружения выгружается журнал исполнения и выходные файлы, которые в течение недели доступны на сервере системы.

В системе поддерживаются виртуальные окружения *Linux*, на базе *Debian* и суперкомпьютер «Сергей Королев». Проект может быть написан на любом языке программирования и с использованием всех необходимых библиотек, требуется лишь соблюдать минимальные требования к его структуре. В перспективе мы планируем добавить тип окружений «Облако», скрывающий расположение и технические параметры целевого окружения, а также реализовать управление облаком и потоком вычислительных задач.

Заключение

Разработка ПО научных вычислений становится всё более сложной задачей, требующей работы коллектива специалистов. Организация эффективного процесса разработки возможна при использовании лучших практик, выработанных при разработке крупного коммерческого ПО. Разработанный веб сервис *Templet* позволил применить практики непрерывной интеграции в области научных вычислений, при этом удалось снизить трудоемкость разработки и добиться экономии высокопроизводительных ресурсов на стадии тестирования и отладки.

Список литературы

1. Dongarra J. J. Multiphysics simulations : Challenges and opportunities // International Journal of High Performance Computing Applications, 2013. №2. – University of Tennessee, Knoxville, USA. С. 50 - 54.
2. Fowler M. Continuous Integration. – 2006. – [Электронный ресурс] URL: <http://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html> (дата обращения 10.02.2013)
3. Betteley J. Principles of Continuous Delivery . – 2011 . – [Электронный ресурс] URL: <http://jamesbetteley.wordpress.com/2011/08/04/continuous-delivery> (дата обращения 10.02.2013).
4. К. Beck Test-Driven Development. – Addison-Wesley Professional, 2002. – 240 с.
5. Востокин С.В. Templet – метод процессно-ориентированного моделирования параллелизма // Программные продукты и системы, 2012. №3. С. 9-12.
6. Vostokin S.V., Artamonov Y.S., Nazarov Y.P., Zagumennikov A.E. TEMPLET – a Cloud Service for Rapid Development of High Performance Applications / Distributed Computing and Grid-Technologies in Science and Education: Book of Abstr. of the 5th Intern. Conf. (Dubna, July 16-21, 2012). – Dubna: JINR, 2012. P.166-167.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ¹

Аннотация

В рамках представленного исследования построена модель распределения нагрузки для хранилища мультимедийных данных с использованием облачной платформы, развернутых в системе дистанционного обучения. При этом основной задачей исследования является разработка алгоритмов и методов управления производительностью и оптимизация использования программных и аппаратных ресурсов.

Введение

В настоящее время благодаря необходимости построения масштабируемых решений для высоконагруженных сервисов использование облачной модели ресурсов получило большое распространение. Такой подход является весьма эффективным для организации неограниченно расширяемых веб-сервисов, а также сервисов, использующих масштабируемые хранилища для предоставления доступа к большим объемам данных. Одним из направлений развития таких сервисов является создание мультимедийных ресурсов осуществляющих трансляцию видео, как в режиме реального времени, так и по запросу пользователя. Наиболее широкое распространение эти ресурсы получили при организации обучения с применением дистанционных образовательных технологий.

Основными преимуществами использования облачных вычислений являются:

- унифицированный доступ – пользователям предоставляется доступ не только к конечным данным, но и к ресурсу в целом, что является очень важным при построении высоконагруженных приложений;
- эластичность – потребитель ресурсов самостоятельно может определять и изменять вычислительные потребности, такие как серверное время, скорость доступа и обработки данных, требуемый объем размещаемых данных;
- объединение ресурсов – возможность консолидировать несколько сервисов, используя одну и ту же аппаратную базу, управляя при этом

¹ Представленная работа поддержана грантом Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» № 14.В37.21.0621 и № 14.132.21.1801, а также РФФИ (грант № 13-07-00198)

распределением вычислительных мощностей между потребителями в условиях динамической востребованности ресурсов.

Кроме того, еще одним из преимуществ использования облаков является возможность выбора архитектуры для организации доступа извне к общим пулам ресурсов. Наиболее широкое распространение получило применение облаков в качестве платформы для размещения интерактивных сервисов. Помимо неограниченного масштабирования такая архитектура дает возможность управлять потоками запросов пользователей не только на прикладном уровне, но и позволяет использовать возможности сетевого и аппаратного уровней.

Несмотря на универсальность архитектуры облаков, некоторые сервисы требуют особого подхода. Так при построении мультимедийный сервисов существует ряд факторов, способных влиять на производительность ресурсов:

- Нагрузка на сервера является периодической. При этом доступ к различным типам контента осуществляется одновременно.

- До 90% нагрузки предопределены, но стандартные средства управления не позволяют использовать полученные данные для распределения ресурсов между узлами облака.

Нами установлено [1], что единой точкой агрегации трафика выступает система хранения данных (СХД). От ее производительности зависит работа всего мультимедийного сервиса, что напрямую влияет на качество предоставляемых услуг.

В рамках данной статьи нами представлен подход способствующий повышению эффективности использования СХД в качестве элемента облачных сервисов за счет разработки алгоритмов планирования размещения элементов и управления миграцией данных на распределенных узлах.

Постановка задачи и алгоритм решения

Основным отличием хранилищ мультимедийных ресурсов является неоднородность размещаемой информации. Это требует разработки новых подходов к организации доступа к размещаемым данным. При использовании облака отправляемые пользователями заявки, помещаются в глобальную очередь, обрабатываемую контроллером. Контролер применяет к очереди заложенный в него набор правил обслуживания запросов и распределяет заявки по вычислительным узлам (рис. 1).

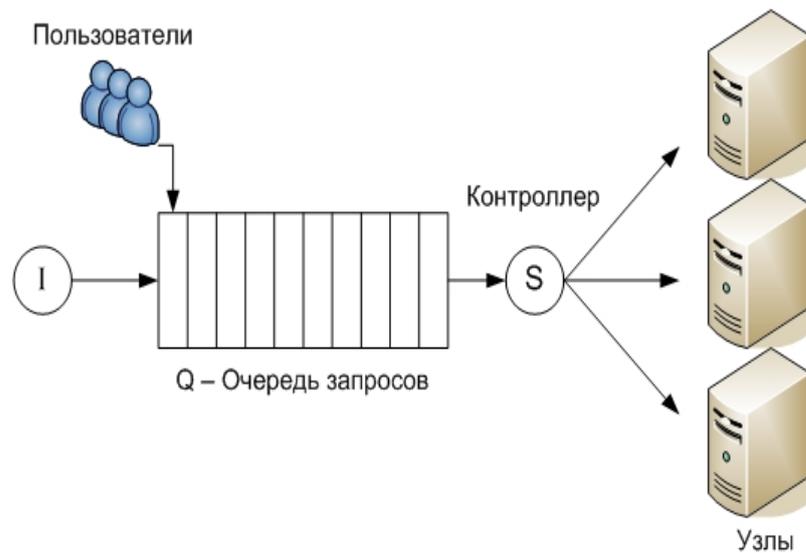


Рис. 1. Схема обработки запросов в облаке

Это позволяет прогнозировать нагрузку на хранилище, а также организовать процесс размещения и распределение элементов данных по устройствам [2,3]. При этом основными показателями эффективности являются: длительности ожидания в очереди и время выполнения заявки. Для повышения производительности при разработке алгоритма балансировки нагрузки необходимо учитывать пропускную способность сети и максимальный объем данных, который можно передавать в один момент времени [4]. Кроме того необходимо учитывать текущую загрузку самих устройств, а также их расположение относительно друг друга и клиентов, подключаемых к ним.

Учитывая специфику мультимедийного сервиса нами разработана модель требований пользователей к системе хранения данных. Пусть $R=(U,M,Q)$, где $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ – множество пользователей; $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество уникальных элементов данных, размещаемых на устройствах хранения. При этом минимальной единицей данных m_i будем считать файл, имеющий обязательное свойство h – размер.

Для обеспечения безопасного хранения данных и балансировки нагрузки между устройствами хранения определим функцию распределение элементов данных, для этого введем множество $M_c = \{m_1^{j_1}, m_1^{j_2}, m_1^{j_3}, \dots, m_2^{j_1}, m_2^{j_2}, m_2^{j_3}, \dots\}$, где $m_i^{j_k}$ – k -я копия элемента размещаемых данных (m_i) на j_k -м устройстве хранения.

Тогда функция распределения элементов данных по устройствам хранения принимает вид $P: M_c \rightarrow D$.

Исходя из изложенного выше, запишем требование пользователя к элементам данных. $Q: U \rightarrow X \subseteq M_c$, где X – множество данных запрошенных множеством пользователей U . Тогда хранилище данных можно записать в виде кортежа $S=(M_c, D, P, L, C, R, G)$, где

$D = \{d_1, d_2, \dots\}$ – множество устройств хранения;

$L=\{l_1, l_2, \dots\}$ – множество значений характеризующее загрузку каждого устройства хранения (количество одновременных обращений пользователей к конкретному устройству);

$C=\{c_1, c_2, \dots\}$ – множество значений, характеризующее объем каждого из устройств в хранилище;

$G \in N$ – натуральный коэффициент, характеризующий географический (топологический) приоритет использования хранилища.

Как правило, для крупных облачных структур используются консолидированные хранилища, состоящие из ферм, объединяющих несколько хранилищ в единый массив. Представим его как $S_{farm}=\{S_1, S_2, \dots\}$.

Так как характеристики требований пользователей меняются во времени, преобразуем кортеж требований $R(t)=(U, M_c, Q(t))$. Тогда $Q(t):U \rightarrow X \subseteq M_c$ – требования пользователя к элементам данных, меняющиеся во времени. Так как кроме активности пользователя изменяются свойства хранилища, запишем кортеж хранилища в зависимости от времени $S(t)=(M_c(t), D(t), P(t), L(t), C, R(t), G)$, где

$D(t)=\{d_1, d_2, \dots\}$ множество устройств хранения, меняющихся во времени, таких что $\forall t, D(t) > 0$;

$P(t):M_c \rightarrow D$ – функция распределения элементов данных по устройства хранения, меняющаяся во времени.

При этом для оптимизации затрат на аппаратные ресурсы и сокращения одновременно используемых устройств введем кортеж отношений $S_{cloud}(t)=\{S(t), D(t), D_{use}(t)\}$, где $\forall t, D_{use}(t) \subseteq D(t)$ множество устройств хранения используемых в масштабируемом хранилище S в момент времени t . Кроме того, при масштабировании хранилища и миграции данных должно выполняться условие $\forall t, i, j \ i \neq j \Rightarrow D_i(t) \cap D_j(t) = 0$, т.е. при миграции данных хранилища не должны использовать одни и те же устройства. Это позволит как гарантировать скорость обработки информации, так и обеспечить приемлемое время реконфигурации.

Таким образом, для минимизации количества одновременно используемых устройств хранения, в рамках одного масштабируемого хранилища, и максимизации количества обработанных запросов пользователей в единицу времени введем целевую функцию вида:

$$\sum_{i=1}^N P_i(t) \rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N L_i P_i(t) R_i(t) \rightarrow \max .$$

На основе представленной выше модели нами разработан алгоритм балансировки нагрузки между устройствами, реализованный в виде программного модуля, позволяющего оптимизировать механизм доступа в рамках хранилища гибридной облачной системы *Openstack*.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма нами проведено моделирование работы системы хранения с различными параметрами. При этом получены следующие закономерности:

- При увеличении количества копий данных происходит значительное снижение нагрузки на основных устройствах хранения. Однако, при этом возрастает количество задействованных устройств, что не соответствует поставленной нами задачи.

- При одновременном доступе к нескольким устройствам, содержащих разный объем данных, возникает дисбаланс производительности хранилища, что приводит к отказам в обслуживании запросов пользователя. Основной причиной является неравномерное размещение больших и малых по объему данных, что в свою очередь увеличивает время занятости устройств.

- При многократном обращении к одним и тем же данным устройства, содержащие востребованные элементы, не в состоянии обслужить всех запросы, так как отсутствует распределение нагрузки между узлами. При этом применяемые в СХД алгоритмы кеширования не позволяют эффективно предоставить доступ к таким данным.

Результаты

Для оценки эффективности результатов разработанного модуля, в качестве балансирующего нагрузки СХД, нами проведено комплексное моделирование работы гибридной облачной системы с учетом представленных выше закономерностей. В результате получен прирост производительности от 5 до 15% по сравнению со стандартными средствами, что является весьма эффективным при большой интенсивности запросов. Кроме того, разработанная оптимизационная модель может применяться для дальнейшего исследования эффективности использования аппаратных и программных ресурсов с целью повышения качества предоставления услуг не только в распределенных информационных системах дистанционного обучения, но и для разработки мультимедийных ресурсов в целом.

Список литературы

1. Болодурина И.П., Решетников В.Н., Парфёнов Д.И. Распределение ресурсов в информационной системе дистанционной поддержки образовательного процесса Программные продукты и системы. -Тверь: НТП «Фактор», 2012. -3:-стр. 151–155.

2. Петров, Д.Л. Оптимальный алгоритм миграции данных в масштабируемых облачных хранилищах // Управление большими системами. Вып. 30, 2010. – С.180–197.

3. Петров, Д.Л. Динамическая модель масштабируемого облачного хранилища данных // Известия ЛЭТИ, #4, 2010. – С. 17–21

4. Проблема адекватной оценки производительности веб-серверов в корпоративных сетях на предприятиях ЦБП / О.В. Гусев, А.В. Жуков, В.В. Поляков, С.В.Поляков // Материалы 6-й научно-технической конференции «Новые информационной технологии в ЦБП и энергетике».- Петрозаводск, 2004. – С. 84–87

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация

Рассматривается проблема повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта в системе ГЛОНАСС. Предлагается метод фильтрации данных, основанный на применении многослойных персептронов для прогнозирования навигационных параметров на текущем шаге по измерениям на предыдущих шагах.

Введение

Система ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система) представляет второе поколение спутниковых навигационных систем (СНС), основное назначение которых является глобальная оперативная навигация наземных подвижных объектов. Точность позиционирования наземного подвижного объекта зависит от многих факторов, в том числе от метода нахождения координат. Свою погрешность вносят все элементы СНС [2]. Точность местоопределения наземного подвижного объекта является одним из факторов эффективного управления транспортным средством, что позволяет оперативно контролировать его передвижение, фактическое время работы, а также точность определения расхода топлива.

Повышение точности оценивания в режиме реального времени состояний и параметров динамических систем по зашумленным измерениям выходных переменных по-прежнему представляет актуальную проблему оценки состояния, которая включает в себя решение задач сглаживания и фильтрации.

В навигационной аппаратуре потребителей системы ГЛОНАСС выполняются измерения псевдодальности и радиальной псевдоскорости до четырех спутников ГЛОНАСС, а также прием и обработка навигационных сообщений, содержащихся в составе спутниковых навигационных сигналов. Помимо основной функции – навигационных определений, - система позволяет производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах и взаимную геодезическую привязку. Кроме того, с ее помощью можно производить определение ориентации объекта на основе измерений, производимых от четырех приемников сигналов навигационных спутников [2].

Постановка задачи

В настоящей статье рассматривается задача оценивания вектора системы на основании наблюдения ее выхода с учетом случайных возмущений и ошибок измерений. Задача наблюдения, сформулированная в стохастических

терминах, именуется задачей фильтрации. На рисунке 1 представлена общая схема поставленной задачи.

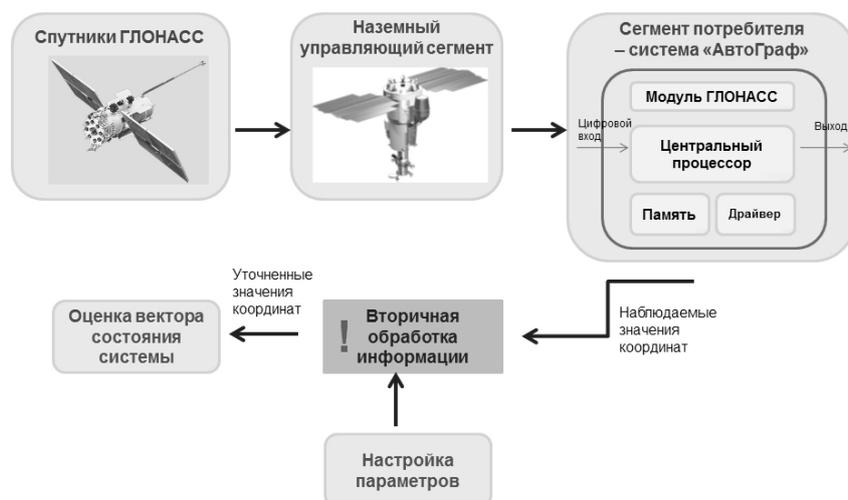


Рис. 1. Общая схема поставленной задачи

Чтобы предложить один из вариантов вторичной обработки показаний аппаратуры пользователя СНС, необходимо записать достаточно общую формальную дискретную модель движения НПО.

Для моделирования и расчетов необходимых параметров местоположения объекта необходимо представить все рассмотренные модели в дискретном времени. Учитывая инерционность объектов и малые интервалы $t_i - t_{i-1} = \Delta t$ временной дискретизации, можно ограничиться линейным приближением производных в общей модели.

В дискретные равностоящие на малую величину Δt моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_k, t_{k+1}, \dots$ для двумерных координат $x_i(k)$ и проекций скорости $v_i(k)$ НПО на оси двумерной прямоугольной системы координат, модель из изменения от момента к моменту представим в виде:

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k)\Delta t + \delta x_i(k), i = \overline{1,2}, k = 0,1,2, \dots \quad (1)$$

$$v_i(k+1) = v_i(k) + \delta v_i(k), i = \overline{1,2}, k = 0,1,2 \quad (2)$$

где $\delta x_i(k)$ и $\delta v_i(k)$ будем называть возмущениями координат и проекций скорости соответственно, которые могут содержать случайную и регулярную составляющую и обусловлены криволинейностью траектории НПО и наличием ненулевых ускорений и их производных [3].

Алгоритм Калмана

В радиолокационных станциях автоматического сопровождения и обработки сигналов в инерциальных навигационных системах наиболее распространенным алгоритмом вторичной обработки является фильтр Калмана.

В алгоритме типа многомерной калмановской фильтрации начальными условиями на каждом новом цикле служат оценка состояния системы и величина, характеризующая ее погрешность. Данный алгоритм последовательно обрабатывает заново поступающие векторы измерений,

учитывая при этом значения, вычисленные на предшествующем цикле. По мере последовательной обработки новых измерений происходит накопление фильтром полезной информации, вследствие этого если элементы вектора состояния твердо выражаются сквозь измеренные величины, то суммарная погрешность оценок, как правило, должна снижаться [1].

Алгоритм расширенного фильтра Калмана представляется следующим образом:

$$A(k) = [R(k) + G(k)P(k)G^T(k)]^{-1}, \quad (3)$$

$$K(k) = P(k)G^T(k)A(k), \quad (4)$$

$$\tilde{w}(k+1) = \tilde{w}(k) + K(k)e(k), \quad (5)$$

$$P(k+1) = P(k) - K(k)G(k)P(k) + Q(k), \quad (6)$$

где вектор \tilde{w} представляет оценку состояния системы на k -м шаге. Эта оценка является функцией от матрицы усиления Калмана $K(k)$ и вектора ошибки $e(k) = [e^R(k) e^I(k)]^T$. Матрица усиления Калмана является функцией от ковариационной матрицы приближенной ошибки $P(k)$, матрицы градиента $G(k)$ и матрицы $A(k)$. Наконец, матрица $A(k)$ является функцией от ковариационной матрицы шума наблюдения $R(k)$, матриц $P(k)$ и $G(k)$.

Нейросетевой подход

Один из основных недостатков представленного метода фильтрации состоит в том, что для построения алгоритма на основе фильтра Калмана требуется исчерпывающая априорная информация о свойствах оцениваемых процессов и ошибок их измерений. Кроме того, реализация фильтра Калмана характеризуется низкой скоростью сходимости.

Одним из перспективных подходов к решению данной задачи является использование теории нейронных сетей. Однако, такие вопросы как оптимальный выбор архитектуры нейронной сети, выбор алгоритма обучения остаются открытыми.

Основная идея использования многослойного персептрона в качестве фильтра для экстраполяции координат основывается на известной способности нейронных сетей проводить экстраполяцию временного ряда.

При проведении настоящего исследования среди нейросетевых моделей нами выбрана модель трехслойного персептрона, которая имеют достаточно прочное экспериментальное обоснование и при анализе которой могут быть применены результаты статистической теории. В качестве алгоритма обучения использовался классический алгоритм обратного распространения ошибки и алгоритм, основанный на результатах фильтра Калмана, в котором нейронная сеть привлекается для уточнения оценок, вырабатываемых в фильтре Калмана.

Результаты

Для сравнения качества обучения сети с использованием алгоритма обратного распространения и калмановского алгоритма в качестве обучающего множества использовались данные, полученные с помощью навигационной аппаратуры ООО «Техноком» об отдельном рейсе транспортного средства,

отражающие динамику движущегося объекта в течение 10 часов. В качестве тестирующего множества использованы данные о динамике транспортного средства в течение другого рейса.

Таблица 1 содержит значения ошибок тестирования, время обучения для различных типов алгоритма для случая, если наземный объект находится в движении и в покое.

Таблица 1

Значения ошибок тестирования, времени обучения

Метод	Ошибка тестирования		Количество эпох/ время обучения	
	Объект в движении	Объект в покое	Объект в движении	Объект в покое
Фильтр Калмана	0,098	0,092	1 с.	1 с.
Нейронная сеть. Алгоритм обратного распространения ошибки.	0,087	0,078	276/ 1 с.	281/ 1 с.
Нейронная сеть. Алгоритм, основанный на результатах фильтра Калмана	0,084	0,072	132/ 5 с.	126/ 3 с.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод, что алгоритм обучения, основанный на расширенном фильтре Калмана, превосходит алгоритм обратного распространения и метод применения «чистого» фильтра Калмана по скорости сходимости (количество эпох) и точности тестирования. Единственным недостатком является несколько увеличенное время обучения.

Список литературы

1. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. Пер. с нем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982 г. – 200 с.
2. Решетников В.Н. Космические телекоммуникации. (Системы спутниковой связи и навигации). – М.: 2010. – 134 с.
3. Сучилин В.И., Волобуев Г.Б. Оценка возможностей повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта путем вторичной обработки показаний аппаратуры пользователя систем GPS NAVSTAR и/или ГЛОНАСС. //Сб. докладов VIII Международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Воронеж, 2007, т.2, с. 1066-1073.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫХ ГОМОЛОГИЙ АСИНХРОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация

В данной работе описаны алгоритм вычисления направленных высших групп гомологий асинхронных систем и программная реализация этого алгоритма. Описана программная реализация алгоритма ввода асинхронных систем. Предложен алгоритм проверки асинхронной системы на корректность.

Введение

Асинхронные системы предназначены для моделирования параллельных процессов. Для классификации и изучения асинхронных систем в [3] были введены их группы гомологий. В работе [3] был предложен метод вычисления первых групп гомологий. Вопрос об алгоритме нахождения высших групп гомологий оставался открытым. Ответ был дан в работе [4]. Алгоритм вычисления групп гомологий и его программная реализация были описаны в работе [2]. Разработанное нами программное обеспечение позволило высказать гипотезу о группах гомологий сети Петри конвейера, эта гипотеза была подтверждена в [5]. В работе [4] были введены направленные группы гомологий асинхронной системы. В данной работе описаны алгоритм вычисления направленных высших групп гомологий и программная реализация этого алгоритма. Описан алгоритм ввода асинхронных систем, реализованный в программе, описанной в работе [2]. Предложен алгоритм проверки на корректность готовой асинхронной системы.

Асинхронные системы

Асинхронной системой называется пятерка $(S, s_0, E, I, Tran)$, состоящая из произвольных множеств S и E , выделенного элемента $s_0 \in S$, антирефлексивного симметричного отношения $I \subseteq E \times E$ и множества $Tran \subseteq S \times E \times S$, удовлетворяющих следующим аксиомам:

- Если $(s, e, s') \in Tran$ и $(s, e, s'') \in Tran$, то $s' = s''$.
- Для любой пары $(e_1, e_2) \in I$ и троек $(s, e, s') \in Tran$, $(s, e, s'') \in Tran$ существует такой $s_2 \in S$, что $(s, e_2, s_2) \in Tran$ и $(s_2, e_2, u) \in Tran$.

Элементы из множества S называются состояниями, элементы из E - событиями, $s_0 \in S$ называется начальным состоянием, $I \subseteq E \times E$ - отношением независимости, тройки $(s, e, s') \in Tran$ - переходами. Если не выделять начального состояния, то мы получим пространство состояний.

Комплекс для вычисления групп гомологий

Аксиома (i) позволяет для каждого $e \in E$ определить частичное отображение множества S в себя, сопоставляющее состоянию $s \in S$ элемент $s \times e = s'$ если

существует такой $s' \in S$, что $(s, e, s') \in Tran$. Если такого элемента s' не существует, то элемент $s \cdot e$ не определен.

Пусть $(S, E, I, Tran)$ – пространство состояний с некоторым отношением линейного порядка $e < e'$ для элементов из E . Для всех $n \geq 0$ определим множества $Qn(S, E, I)$, полагая $Q_0(S, E, I) = S$, а при $n > 0$ как состоящие из кортежей $(s, a_1, a_2, \dots, a_n)$, для которых выполнены следующие пять условий:

1. $s \in S$
2. $e_1, e_2, \dots, e_n \in E$
3. $(e_1, e_2) \in I$, для всех $1 \leq i < j \leq n$
4. $e_1 < e_2 < \dots < e_n$
5. $s \times e_1 \times e_2 \times \dots \times e_n \in S$

Обозначим через $LQn(S, E, I)$ свободные абелевы группы, порожденные этими множествами.

В работе [4] были введены направленные группы гомологий пространства состояний. Обозначим эти группы через $H_n^\varepsilon(S, E, I, Tran)$, где $\varepsilon \in \{0, 1\}$, $n \geq 0$. Было установлено [4, Corollary 5], (см. также [1, Следствие 3]) что эти группы изоморфны группам гомологий комплекса:

$$\begin{aligned} 0 \leftarrow L(S) \xleftarrow{d_1^\varepsilon} LQ_1(S, E, I) \xleftarrow{d_2^\varepsilon} LQ_2(S, E, I) \leftarrow \dots \\ \dots \leftarrow LQ_{n-1}(S, E, I) \xleftarrow{d_n^\varepsilon} LQ_n(S, E, I) \leftarrow \dots \end{aligned} \quad (1)$$

дифференциалы которого при $\varepsilon = 0$ определены по формуле:

$$d_n^0(s, e_1, \dots, e_n) = \sum_{i=1}^n (-1)^i (s, e_1, \dots, e_{i-1}, e_{i+1}, \dots, e_n) \quad (2)$$

а при $\varepsilon = 1$:

$$d_n^1(s, e_1, \dots, e_n) = \sum_{i=1}^n (-1)^i (s \cdot e_i, e_1, \dots, e_{i-1}, e_{i+1}, \dots, e_n) \quad (3)$$

Задача сводится к нахождению коэффициентов матриц дифференциалов d_n^ε и приведению их к нормальной форме Смита.

Разработка программы

Разработка программного обеспечения для вычисления групп гомологий асинхронных систем в первую очередь связана с проблемой создания дружественного интерфейса.

Первоначально пользователь задает множество состояний S и отношение независимости E . В программе реализован интерактивный ввод элементов множества S при помощи кликов по полю мышкой. Автоматически элементам множества S присваиваются имена в виде последовательных индексов. В дальнейшем эти же имена (индексы) используются для обозначения принадлежности изображенного круга к определенному элементу множества S .

Элементы множества E задаются пользователем вручную, при помощи ввода имени события в поле «введите событие». В дальнейшем это имя используется только при вводе независимых событий (задание элементов множества I), в рабочей области, где отображается асинхронная система, события маркируются присвоенными им индексами.

Поскольку матрица элементов множества I симметрична, то достаточно единожды указать пару независимых событий, т.е. что бы задать $I = \{(e_1, e_2), (e_2, e_1)\}$ вводится только одна пара событий (e_1, e_2) или (e_2, e_1) .

Элементы множества $Tran$ добавляются при помощи выбора мышкой первого и второго элемента в области рисования, после чего пользователь выбирает необходимое ему событие среди предоставленных программой возможных событий между заданными пользователем состояниями. К примеру, на рис. 1 показано, что при попытке пользователя добавить переход e_1 из состояния s_4 в состояние s_5 , программа предлагает дополнительно добавить переходы $(s_7, e_2, s_5)(s_3, e_0, s_5)$. То есть в программе реализован алгоритм автоматического добавления всех необходимых событий при возникновении преопределённых ситуаций. Это должно исключить возможность ввода асинхронной системы, не удовлетворяющей аксиому (ii). Результаты вычисления направленных групп гомологий заданной асинхронной системы и матрица дифференциалов d_1^0 представлены на рис. 1.

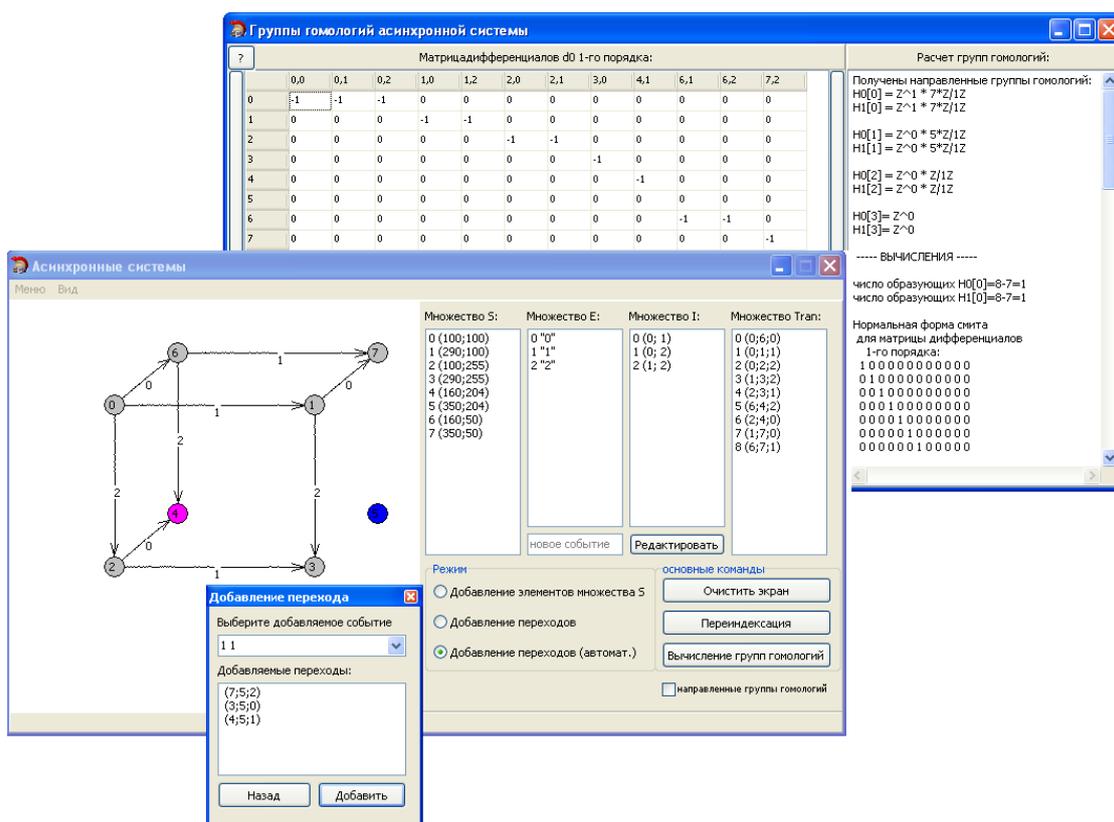


Рис. 1. Автоматическое добавление перехода (s_4, e_1, s_5) и вычисление направленных групп гомологий введённой асинхронной системы

Так же мною был разработан алгоритм проверки асинхронной системы, который планируется реализовать в следующей версии программы.

Описание алгоритма проверки асинхронной системы

Алгоритм осуществляется перебором всех элементов множества $Tran$. В результате каждый не прошедший успешно проверку элемент множества $Tran$ будет помечен соответствующим флагом.

Входные данные:

$$S = \{s_0, s_1, \dots, s_{(n-1)}\}; E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\};$$

$$I = \{(e_q, e_p), (e_p, e_q), \dots\}, e_q \neq e_p; Tran = \{t_1, t_2, \dots, t_l\}.$$

Шаг 1. Для каждого $(s, e, s') \in Tran$, где $s, s' \in S, e \in E$.

Шаг 1.1. Составляем список $EI(e) = \{e_0, e_1, \dots, e_k\}$, где $e_j \in E, (e_j, e) \in I, j = \overline{1, k}$.

Шаг 1.2. Для каждого $e' \in EI(e)$:

Если для некоторого $p = \overline{0, n}$ верно $(s', e', s_p) \in Tran$, где $s_p, s'_p \in S$, то проверить существует ли переходы $(s, e', s'_p), (s'_p, e, s_p) \in Tran$. Если нет, то установить флаг неуспешной проверки в элементах (s, e, s') и (s', e', s_p) .

Перейти к следующему e' .

Выражение благодарности

Хочется выразить особую благодарность своему научному руководителю за терпение, отзывчивость и те знания, что он мне передал. Хусаинов Ахмет Аксанович никогда не теряет тяги к знаниям и желанию ими делиться со своими студентами. Хочется пожелать ему долгих лет жизни и дальнейших творческих успехов.

Список литературы

1. Хусаинов А.А. Группы гомологий категории частичного действия моноида трасс. // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия «Естественные, технические и медицинские науки». 2012. № 6. Часть 2. С. 237-244.

2. Хусаинов А.А. Бушмелева Е.С. Гомологии асинхронных систем // Актуальные проблемы математики, физики, информатики в вузе и школе: материалы Всероссийской региональной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 2012. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПГУ, 2012. С.24-31.

3. Husainov A. A. On the homology of small categories and asynchronous transition systems // Homology Homotopy Appl., 2004.V.6, N 1. P. 439-471. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intlpress.com/hha/v6/n1/a22/> (дата обращения 01.10.2012).

4. Husainov A. A. The Homology of Partial Monoid Actions and Petri Nets// Applied Categorical Structures. 2012, DOI:10.1007/s10485-012-9280-9 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.springerlink.com/content/w536k06854142854> (дата обращения 01.02.2013).

5. Husainov A.A., Bushmeleva E.S., Trishina T.A. Homology groups of pipeline Petri net // arXiv preprint arXiv:1301.7521v3 [cs DC], Cornell Univ. – 2013. 13pp. [Электронный ресурс]. URL: <http://arxiv.org/abs/1301.7521> (дата обращения 03.03.2013).

УПРАВЛЕНИЕ ВНЕДРЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация

Сформирована модель построения архитектурного ландшафта предприятия с помощью методологии *TOGAF*. В качестве реализации сформированного архитектурного ландшафта информационного контура предприятия применяется проектный подход, основанный на методологии управления проектами *ASAP*. Предлагаемый подход внедрен в проектах на территории РФ.

Введение

Каждое предприятие является сложно социально-организационной структурой, оно может являться холдингом, акционерным обществом, самостоятельным центром и т.д. Поэтому информационный контур предприятия может насчитывать не одну и не две информационные системы, а состоять из нескольких информационных систем, создающихся специально по определенным бизнес-требованиям и автоматизирующие узкоспециализированные бизнес-процессы. При описании процессов могут быть применены не только бизнес-требования самого предприятия, на котором разворачивается определенная информационная система, но и учтены требования законодательства РФ для представления специализированной отчетности, или учтены прочие бизнес-требования, которым предприятие обязано следовать в своей деятельности.

Поэтому, в мировой практике автоматизации крупных предприятий в интересах ключевых видов промышленности применяется подход, описываемый как формирование архитектурного ландшафта. Это позволяет прояснить структуру и архитектуру совокупной информационной среды и связать воедино жизненный цикл, структуру и отчетность основных проектов, которые необходимо ставить и вести в ходе создания, сопровождения и аудита информационного контура предприятия с учетом внешних связей.

Одним из подходов по реализации сформированного архитектурного ландшафта предприятия может служить проектный подход к управлению внедрением ИС.

Проектный подход позволяет разделить процесс внедрения на ключевые этапы и на каждом из них достигать более эффективных и прозрачных результатов. В качестве реализации сформированного архитектурного ландшафта необходимо создание комплекса взаимосвязанных проектов. Поскольку, архитектурный ландшафт информационного контура предприятия

является гетерогенной системой, то и проекты внутри своего комплекса будут между собой взаимодействовать.

Поэтому в данной работе рассмотрен разработанный для автоматизации крупных предприятий интегрированный проектный подход, позволяющий выполнять на основании данных контрольных точек ключевых процессов управление всем комплексом взаимосвязанных проектов вплоть до визуализации результатов и хода выполнения этапов проектов.

Формирование архитектурного ландшафта предприятия

Перед началом конфигурирования бизнес-приложения необходимо выполнить разработку полного архитектурного ландшафта создаваемой информационной среды.

Жизненный цикл архитектурного ландшафта включает в себя следующие стадии:

1. Инициация архитектурного ландшафта;
2. Реализация архитектурного ландшафта;
3. Развитие архитектурного ландшафта.

При проектировании архитектурного ландшафта на всем жизненном цикле необходимо применение методологий построения архитектуры предприятия. Применение методологий позволяет достичь динамического представления архитектурного ландшафта на всем жизненном цикле автоматизации предприятия, делая процесс создания целостных бизнес-решений более полным и прозрачным, таким образом минимизируя технологические и бизнес-риски, связанные с внедрением комплекса информационных систем (ИС) и формируемых целостных интеграционных бизнес-решений.

В работе при построении архитектурного ландшафта крупных предприятий, основанном на внедрении *ERP*-системы на базе бизнес-приложений *SAP*, была использована методология *TOGAF*. Одно из преимуществ методологии *TOGAF* – то, что при использовании данной методологии архитектурный ландшафт предприятия формируется поэтапно по принципу «*step by step*», на всем жизненном цикле. Основа данной методологии заключается в том, что последующая фаза основывается на результатах предыдущей фазы, соответственно логический выход предыдущей фазы, является логическим входом последующей фазы. В совокупности результаты, полученные на каждом этапе формирования архитектурного ландшафта с использованием методологии *TOGAF*, образуют целостную архитектуру предприятия, которая состоит из следующих компонентов:

- бизнес-архитектуры;
- технологической архитектуры;
- технологической инфраструктуры.

При формировании взаимодействия ИС в едином архитектурном ландшафте необходимо создание технологии, которая смогла бы объединить все составные компоненты архитектуры смежных информационных систем.

Данная технология необходима, поскольку специалист - «должностное лицо принимающее решение» по формированию архитектурного ландшафта должен четко видеть, какие бизнес цели будут достигнуты в результате взаимодействия ИС и какие точки интеграции между смежными бизнес-процессами образуются в результате формирования интеграции между смежными ИС.

Связь бизнес-процессов и технологических процессов достигается путем создания интеграционных сценариев. Интеграционный сценарий – это процесс объединения в единую карту бизнес-процессов, технологических потоков данных и информационных систем[1].

При последовательном создании архитектурного ландшафта необходимо связать бизнес-архитектуру и технологическую архитектуру смежных ИС. Осуществление связи между бизнес-архитектурой и технологической архитектурой осуществляется по интеграционному потоку данных между бизнес-функциональностью смежных ИС. Данный интеграционный поток выделяется на моделях бизнес-архитектуры и экспортируется в модели технологической архитектуры. Зачастую поток данных, использующийся на моделях технологической архитектуры, является объединением сущностей, зарождаемых в определенном бизнес-процессе ИС.

Для проектирования разработанного архитектурного ландшафта был использован инструмент моделирования архитектуры предприятия *ARIS*. В результате проектирования архитектурного ландшафта, осуществлена реализация технологии создания моделей интеграционного сценария, которая позволяет объединить бизнес-архитектуру и технологическую архитектуру в комплексе, а также создавать частные интеграционные сценарии между смежными ИС.

Реализация архитектурного ландшафта предприятия

Одним из подходов по реализации сформированного архитектурного ландшафта предприятия может служить проектный подход к управлению внедрением ИС.

Проектный подход позволяет разделить процесс внедрения на ключевые этапы и на каждом из них достигать более эффективных и прозрачных результатов. В качестве реализации сформированного архитектурного ландшафта необходимо создание комплекса взаимосвязанных проектов. Поскольку, архитектурный ландшафт информационного контура предприятия является гетерогенной системой, то и проекты внутри своего комплекса будут между собой взаимодействовать.

Для более эффективного управления комплексом проектов необходимо их представить в виде программы. Преимущество управления программой заключается в том, при управлении программой производится координация управления для достижения преимуществ и степени управления проектами в комплексе. Данное преимущество является существенным, поскольку при реализации проектов по внедрению информационных систем достигается более эффективное формирование интеграционных решений, как с точки зрения

технологического решения, так и разделение функционального объема взаимодействующих проектов в рамках программы.

Для внедрения бизнес-приложения *SAP* была выбрана методология *ASAP* разработанная компанией *SAP AG* для внедрения бизнес-приложений *SAP*.

В результате исследования были сформированы подходы к управлению проектом исходя от построения архитектуры предприятия, что позволяет, не только более эффективно и прозрачно управлять проектом исходя от разработанной архитектуры предприятия, но и более полно и прозрачно формировать функциональный объем иницируемых проектов.

Заключение

В рамках выполненной работы был сформирован подход к управлению внедрением комплексом ИС. Для эффективного внедрения комплекса ИС на предприятии необходимо формирование целостного архитектурного ландшафта информационного контура предприятия, который должен объединять различные ИС в единый информационный контур. Комплексный архитектурный ландшафт позволяет объединить различных участников бизнес-процессов предприятия в единое информационное пространство и снизить риски владельцев бизнес-процессов связанных с автоматизацией предприятия.

Для формирования архитектурного ландшафта необходимо применение методологий построения архитектуры. В данной работе была рассмотрена методология *TOGAF*, поскольку одним из преимуществ данной методологии является то, что с помощью данной методологии архитектурный ландшафт информационного контура предприятия строится по выделенным фазам. Начало каждой следующей фазы основывается на результатах предыдущей фазы, и результаты каждой выделенной фазы сверяются с ключевыми целями автоматизации предприятия.

Одним из методов реализации разработанного архитектурного ландшафта является проектный подход к управлению внедрением ИС. В качестве управления комплексом проектов, проекты были представлены в виде программы, поскольку управление программой заключается в координации управления проектами. За основу методологии управления проектами в данной работе была взята методология управления проектом *ASAP* для внедрения бизнес-приложений на платформе *SAP*.

Автор выражает благодарность руководителю *International Research Group «Integrated Systems»* Степановой Е.Б. за поддержку в работе.

Список литературы

1. Видякин Б.А. Формирование архитектурного ландшафта предприятия с помощью интеграционных сценариев. / Труды международной научно-практической конференции (14 – 16 ноября 2011, г. Москва, Россия). Том 3 Общая редакция – В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2011. – 267 с. – С.144-147. - ISBN 978-5-91450-093-8, ISBN 978-5-91450-094-5.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Создается имитационная модель вычислительного центра коллективного пользования (ЦКП) на основе мультиагентного подхода. Модель состоит из множества индивидуальных объектов (агентов) и их окружения. Результатом работы является создание модели системы управления распределением ресурсов для ЦКП ССКЦ СО РАН, включающего разнородные вычислительные кластера.

Введение

Широкое распространение в науке, образовании и в решении прикладных задач приобрели сегодня высокопроизводительные вычислительные центры коллективного пользования ЦКП – это объединенная вычислительная среда, предназначенная для обслуживания ресурсных запросов пользователей, состоящая из разнородных вычислительных систем (ВС), администрируемых независимо друг от друга и предоставляющих неотчуждаемые ресурсы для общего пользования [1]. К таким центрам предъявляются требования по обеспечению качества обслуживания – загруженности, гарантированному времени выполнения поступающих ресурсных запросов, отказоустойчивость и эффективность работы.

Рассматриваемые в работе ресурсные запросы – параллельные задания пользователей (назовем их заданиями) помимо ограничений по времени обслуживания, выраженных в виде характеристических функций потери ценности решения, обладают случайным временем выполнения.

Таким образом, встает вопрос о реализации распределенной системы управления потоком заданий для ЦКП. Реализация распределенной системы управления требует разработки алгоритмов синхронизации процессов, функционирующих на различных узлах ЦКП. Эффективность реализации зависит от равномерности распределения вычислительной нагрузки по узлам ЦКП во время функционирования распределенной программной системы [2,3], каковой является, в частности, распределенная система управления [4].

Целью работы является создание алгоритмов и программных средств, предназначенных для управления распределением ресурсов в вычислительной среде ЦКП. В работе рассматривается вопрос гарантированного обслуживания центром поступающих заданий, основанного на конкурентном доступе к

разделяемым ресурсам и субъективной пользовательской оценке важности результатов выполнения задач.

Принципы мультиагентного моделирования

В качестве методологии исследования выбрано имитационное моделирование, которое является одним из основных методов исследования сложных систем вообще и вычислительных систем в частности. Многие известные ученые и научные коллективы, работающие в области исследования и проектирования информационных и вычислительных систем и сетей, используют метод имитационного моделирования в качестве одного из основных инструментов исследования. В современном имитационном моделировании весьма популярен мультиагентный подход, т.е. моделирование с применением мультиагентных систем (МАС). Агент – это сущность, живущая в среде обитания, обладающая сенсорами для восприятия среды и исполнительными механизмами для воздействия на среду обитания.

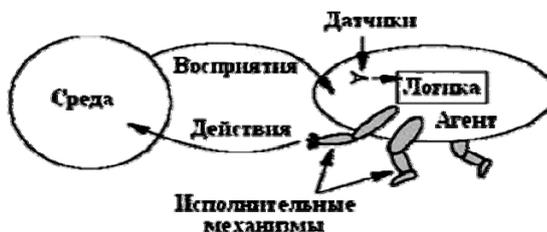


Рис. 1. Интеллектуальный агент

Мультиагентная система (МАС) – это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами в единой среде. Применение программных агентов для представления компонентов модели обладает рядом преимуществ, наиболее существенными из которых являются:

1. Предоставление естественных возможностей интеллектуализации процесса моделирования;
2. Существование стандартов взаимодействия программных агентов, позволяющее интегрировать новые модели с существующими агентными моделями и системами, разработанными третьими лицами;
3. Существование открытых платформ разработки МАС.

Дополнительным преимуществом применения мультиагентного подхода является возможность перехода от моделирования ЦКП, к непосредственно управлению. Стандартизация механизмов взаимодействия между агентами, позволяет заменять программных агентов реальными.

Модель ЦКП

Модель ЦКП включает в себя программные агенты, реализующие модели: внешних источников задач, распределителей заданий, вычислительных узлов (ВУ) (рис. 2). Модель внешней среды источников заданий представлена однотипными программными агентами, имитирующими пользователей ЦКП.

Для использования модели в системе управления реальным ЦКП поток заданий меняется с моделируемого на реальный.

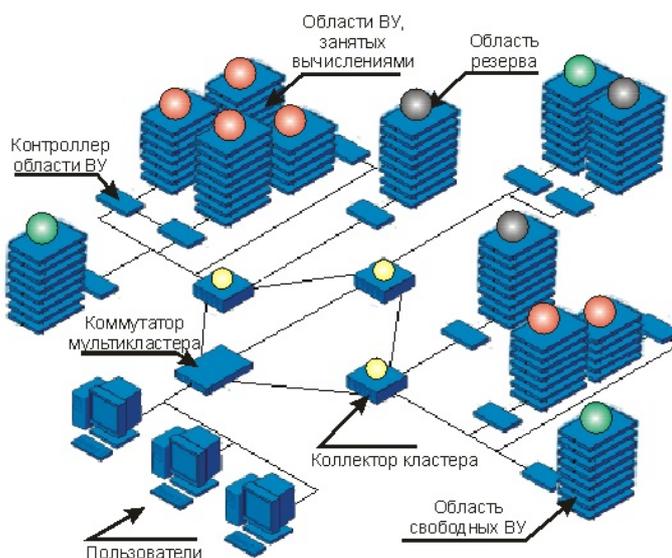


Рис. 2. Схема модели ЦКП

В представленной модели поступающие на ЦКП задачи распределяются между очередями заданий ВУ (агент-коммутатор), а в дальнейшем планируются и запускаются на выполнение (агент-коллектор). Для планирования заданий в режиме низкой интенсивности ресурсных запросов используются алгоритмы *FCFS* и *Backfill*. При высокой интенсивности составляется расписание выполнения заданий, где применяется генетический алгоритм и алгоритм прямоугольной ортогональной упаковки. Заданиям выдаются ресурсы, которые ближе всего находятся по сети связи.

В процессе выполнения задания производится контроль как за состоянием выполняющих его вычислительных узлов, так и за процессом его выполнения. При нестабильной работе или угрозе выхода из строя ВУ он освобождается и передается в резерв, а для выполнения его части задания выделяется другой ресурс. Если существует возможность или появилась необходимость перераспределения ресурсов для задания, распределитель ресурсов после оценки целесообразности выполняет балансировку нагрузки на ресурсы или замену ВУ.

В процессе работы модели для всех пользователей производится сбор статистики по решенным заданиям. Распределители ресурсов при выделении для задания ВУ опираются на собранную статистику. Благодаря этому есть возможность еще более эффективного планирования задания. Также эти данными руководствуются распределители при оценке целесообразности перераспределения ресурсов.

Заключение

В процессе тестирования модели ЦКП подобраны параметры для алгоритмов планирования. Тестовые запуски модели, в которой использовалась статистика работы ЦКП ССКЦ СО РАН за 2011 год, показали, что

принимаемые управленческие решения позволяют сократить среднее время ожидания начала выполнения задания. Также немаловажно, что задания располагаются в вычислительной системе более рационально, т.к. при постановке их на выполнение учитывается карта сети связи.

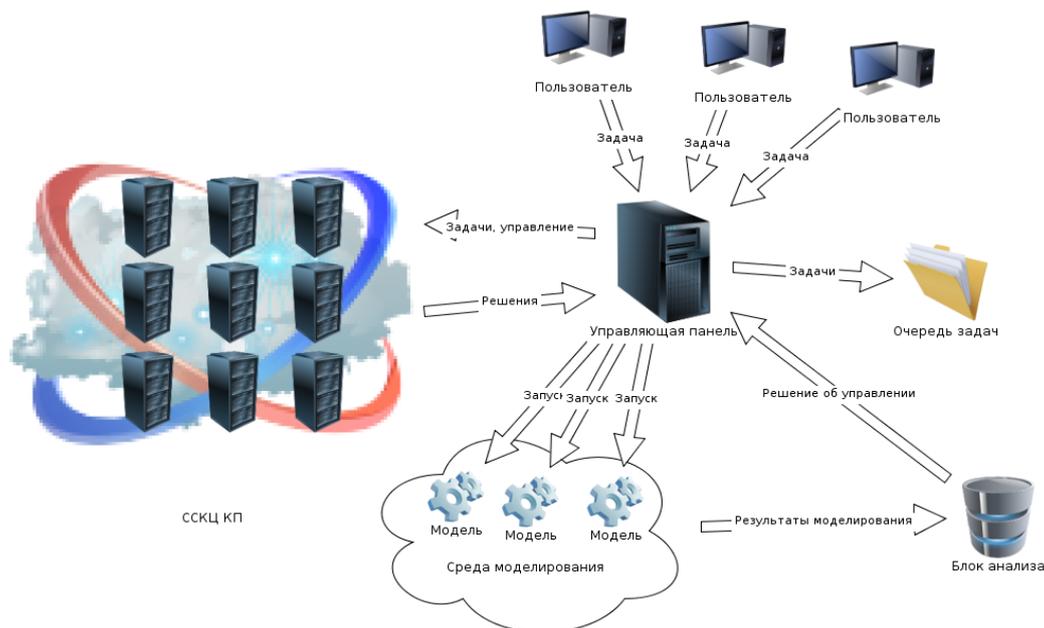


Рис. 3. Включение имитационной модели в процесс управления ЦКП

Созданную модель можно включить в процесс управления ЦКП, используя ее как вспомогательный инструмент по принятию оперативных решений (рис 3). Так как модель работает существенно быстрее, чем сама система, есть возможность оценки нескольких стратегий планирования и выбора наилучшей.

Список литературы

1. П.Е. Голосов Планирование заданий с временной функцией потери ценности решения в сетевой среде распределенных вычислений. – Автореферат диссертации на соискание уч. ст. к.т.н. Москва, ИКСИ – 2010г. с. 3-5. [http://sovet.mitme.ru/blurb/2010/golosov.pdf]
2. Копысов С.П. Динамическая балансировка нагрузки для параллельного распределённого МДО. Труды Первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». М.: Изд-во МГУ, 2003 г., сс. 222-228.
3. Курилов Л.С. Прогностическая стратегия балансировки загрузки для невыделенных кластерных систем. Труды Первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». М.:Изд-во МГУ, 2003 г., сс. 413-418.
4. Linda F. Wilson and Wei Shen. Experiments In Load Migration And Dynamic Load Balancing In Speedes. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds, pp. 483-490

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Аннотация

Широкое применение информационных технологий (ИТ) – важная тенденция в управлении современными ядерными энергетическими установками (ЯЭУ). Применение ИТ обеспечивает существенное повышение качества контроля и регулирования технологических параметров, снижение информационной загрузки операторов, повышение надежности и безопасности основного оборудования – системы управления защиты (СУЗ), контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) атомных электростанций (АЭС). В конечном счете это приводит к улучшению экономических показателей ЯЭУ. В настоящее время на всех ЯЭУ в системах контроля и управления задействованы ИТ, в частности на атомных электростанциях, так как АЭС играют существенную роль в становлении атомной промышленности и являются стратегически важными охраняемыми объектами.

1. Введение

Первая в мире АЭС была построена в городе Обнинске, которая дала ток в июне 1954 года. Мощность ее была весьма скромной – 5 МВт. Первая АЭС имеет тип реактора большой мощности, канальный (РБМК). Она сыграла роль экспериментальной установки, где накапливался опыт эксплуатации будущих крупных АЭС. Впервые была доказана возможность производства электрической энергии на основе расщепления ядер урана [1].

Применение ИТ в АЭС непосредственно является необходимым и может быть даже ключевым фактором при построении новых энергоблоков АЭС. Связано это, прежде всего, с человеческим фактором. Человеческий фактор в управлении – это факторы, которые связаны с различными ролями человека при решении задач управления и должны учитываться учеными при разработке средств решения таких задач (моделей, методов, математического аппарата, методологий, компьютерных средств и т.д.). Формально ИТ в своем роде задействованы в настоящее время во всех отраслях науки и техники. Но ЯЭУ, в частности – атомные электростанции, являются стратегически важными объектами, и становление в атомной энергетике человека зависит напрямую от него самого.

Поэтому использование информационных технологий – персональных компьютеров в управлении ЯЭУ, локальных сетей для передачи данных между операторами АЭС, использование специализированного программного обеспечения (ПО) для обработки данных, отслеживание и прогнозирование

процессов, протекающих в активной зоне (АЗ) АЭС, различных типов ЯЭУ - например нелинейных ускорителей (примером может служить Большой адронный коллайдер – *LHC*) и других составляющих – все это вызывает необходимость использования информационных технологий, в частности ЭВМ.

2. Алгоритмы контроля технологических параметров АЭС

Количество тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ) в современных больших энергетических реакторах достигает десятков тысяч. При этом условия их безотказной работы определяются множеством таких факторов, как, например, уровень мощности, расход теплоносителя, изменение отравления ксеноном по объему АЗ и изотопного состава топлива вследствие неравномерности его выгорания, перегрузки топливных каналов и т.п. Характерной особенностью ядерного реактора как объекта управления является то, что выход из строя хотя бы одного ТВЭЛА эквивалентен отказу всей реакторной установки. Эта особенность предопределяет необходимость точных измерений большого числа нейтронно-физических и теплотехнических параметров активной зоны и соответствующего регулирования поля энерговыделения в первую очередь с целью обеспечения основного требования – безопасности реакторной установки во всех режимах ее работы [2].

Экономичность ядерной энергетической установки во многом зависит от достигаемого уровня энергонапряженности активной зоны реактора. Поэтому для улучшения экономических показателей АЭС в процессе эксплуатации необходимо постоянно поддерживать вблизи предельно-допустимых значений те из технологических параметров, которые прямо или косвенно определяют состояние конструкционных материалов и ядерного горючего. Удовлетворить этим требованиям можно также лишь при достаточной точности и надежности средств контроля и управления.

Внедрение ЭВМ, как одной из главных составляющих ИТ в состав современных информационно-измерительных и управляющих комплексов атомных электростанций позволяет существенно повысить их безопасность и улучшить экономические показатели. Это достигается прежде всего за счет сокращения времени обработки и анализа больших объемов информации, поступающей от многочисленных датчиков технологических параметров, и возможности применения ориентированных сугубо на ЭВМ эффективных алгоритмов контроля и управления [2].

В зависимости от типа и назначения ядерного реактора технические средства, применяемые в современных комплексах контроля и управления АЭС, несколько различаются. Тем не менее, при разработке специального (алгоритмического) математического обеспечения в настоящее время используется много общих принципов и решений, которые позволяют обеспечить надлежащее качество контроля и управления практически для реакторов всех типов.

Современный математический аппарат за последние десятилетия развился так, что с его помощью на данный момент времени можно решать такие задачи обработки данных, которые не под силу были еще два десятилетия назад, когда информационные технологии только начали существенно

развиваться. Развитие ИТ внесло существенные коррективы в системный анализ, обработку данных и как следствие управление технологически сложными системами - ЯЭУ. Такие алгоритмы, как алгоритмы идентификации, дают возможность предсказывать результат будущих событий, сложных систем в частности. Именно их мы и рассмотрим.

Вообще алгоритм – это по сути тот же самый математический аппарат, то есть программа, написанная на математическом языке. Математический язык не означает что алгоритм, написанный именно на нем, аппелирует переменными, формулами, константами и другими математическими выражениями. Математический язык позволяет писать программы – алгоритмы на различных языках программирования. А языков программирования на данный момент времени более чем достаточно. Отсюда следует вывод, что, как просто алгоритмов и алгоритмов идентификации, в частности, очень много и все они разнообразны и каждый из них «заточен» под определенные виды задач. Известно, что алгоритмы специфичны и, что их объединяет математический аппарат, но цель каждого из алгоритмов – выполнить ряд итераций и повторять их циклически столько раз, сколько задано программно.

Что касается их связи с информационными технологиями, то очевидно, что написание алгоритма под определенный вид задач, так или иначе, практически невозможно без использования ЭВМ. Сам алгоритм можно написать и на черновике. Однако, следствием является обработка данных, которую тоже можно представить в черновом варианте, но для этого потребуется много времени и средств. ЭВМ заменяет все эти черновые работы - расчеты, исправления, корректировки и прочие связующие элементы при ручном решении задачи. А быстродействие современных ЭВМ позволяет обрабатывать большие массивы данных, делать прогнозы, решать задачи с большим количеством входных-выходных переменных объекта управления (ОУ). Все эти возможности, как обычных ЭВМ, так и суперкомпьютеров востребованы и используются в современном мире. Вопрос лежит в плоскости - насколько сложна постановка задачи, или иными словами - сама задача? Ответ очевиден.

Ресурсы современных ЭВМ для написания алгоритмов идентификации для ЯЭУ превосходят на порядки их требования. Однако, для расчета экспериментальных данных, снятых с ЯЭУ, обработки больших массивов данных ресурсов ЭВМ порой бывает недостаточным. Время, затраченное на обработку экспериментальных данных, может длиться от нескольких минут до нескольких часов - в зависимости от объема данных и самого алгоритма - листинга программы.

3. Человеческий фактор в управлении ЯЭУ

Вначале статьи как следствие, было сказано про использование ИТ в ЯЭУ и человеческий фактор в управлении ими. Вернемся к этому вопросу и рассмотрим его более подробно, а в некоторых местах – детально, так как человеческий фактор играет существенную роль в управлении как простых, так и сложных систем.

Первая волна интереса к учету человеческого фактора в науке управления появилась в конце 60-х – начале 70-х годов XX века в связи с ориентацией

исследований, с одной стороны, на человеко-машинные системы с человеком-оператором в роли субъекта управления и, с другой, – на человека в роли объекта управления.

Одна из основных идей этого направления состоит в том, что недостаточный учет свойств человека (человеческих факторов) при построении тех или иных систем, включающих человека, в основном, в роли оператора, может привести к неудовлетворительному решению поставленных задач: снижению надежности, уровня безопасности, достоверности и т.п. Еще одна важная для практики идея заключается в том, что задача выявления значимых человеческих факторов должна охватывать не только сами системы, но и процесс их проектирования [3].

Поскольку представления о человеке при создании наукоемких систем, в том числе, систем управления, формируются, в основном, теоретиками соответствующих научных направлений, нетрудно прийти к выводу, что с точки зрения качества решений: надежности, безопасности, достоверности и т.п. – первостепенную роль приобретает адекватность теоретических моделей человека. При этом ученые – создатели моделей – со своими человеческими факторами могут оказаться источниками риска.

4. Заключение

В заключении стоит отметить, что применение ИТ в ЯЭУ находит все более широкое применение, так как ЭВМ, как одна из составляющих ИТ, заменяет человека в управлении и, апеллируя ЭВМ, можно создать автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) в ЯЭУ. Человеческий фактор остается неизбежным в управлении ЯЭУ, однако существенно сокращаются риски неверных действий, так как ЭВМ предупреждает оператора ядерных энергетических установок в случаях возникновения нештатных ситуаций.

Подводя итоги, становится очевидным развитие ЯЭУ, в частности АЭС - реакторов на быстрых нейтронах, сокращения риска ошибок со стороны оператора ЯЭУ и будущее за развитием ЭВМ и суперкомпьютеров.

Выражаю благодарность Юрьеву Юрию Сергеевичу, д.т.н., профессору, главному научному сотруднику Государственного Научного Центра Российской Федерации – Физико-Энергетического Института за конструктивную помощь в написании доклада.

Список литературы

1. Гусев С.С. // Перспективы развития реакторов на быстрых нейтронах. Сборник докладов IV международной научно-практической конференции «Энегетика и энергоэффективные технологии». – Липецк: ЛГТУ, 2010. 151-155 с.
2. Жучков А.А., Кузнецов Н.А., Потапенко П.Т. Применение ЭВМ для управления ядерными реакторами: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 1986 - 96 с.
3. Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. - М.: КомКнига, 2006. - 496 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ДОСТУПА *PREDICTIVE P-PERSISTENT CSMA*

Аннотация

В работе выполняется анализ эффективности вероятностных методов доступа узлов к каналу сети – базового и прогнозирующего (*predictive*) *p-Persistent CSMA* по критерию времени доступа.

Введение

В работе исследуется один из наиболее распространённых вероятностных методов множественного доступа с контролем несущей *p-Persistent CSMA*. Исследуемый метод получил широкое распространение в локальных вычислительных *WiFi*, *CobraNet*, и информационно-управляющих сетях *LonWorks* [1-4].

Одной из основных характеристик указанных сетей является производительность. Анализ публикаций и литературных источников позволяет говорить о высокой степени влияния исследуемого метода доступа на производительность сети [1, 2, 4]. Поэтому, актуальной задачей является оценка производительности сетей на основе анализа *p-Persistent CSMA* протокола. Так, в работах [1,4] получены аналитические соотношения для определения основных характеристик производительности сетевого канала на основе *p-Persistent CSMA* протокола. В указанных работах исследовалась нижняя граница производительности сети в режиме постоянной насыщенности. В работе [4] выполнено исследование сети без приоритетов. В работе [1] исследовалась производительность сети с приоритетами.

Существует две разновидности *p-Persistent CSMA* протокола, называемые соответственно базовым протоколом и протоколом с прогнозированием (*predictive*) [2]. Оба протокола основаны на резервировании временных слотов из диапазона, шириной W . В базовом протоколе используется постоянная ширина W . В протоколе с прогнозированием узлы сети собирают статистику передач в реальном времени и прогнозируют нагрузку на канал сети - пытаются избегать коллизии при разделении доступа, путём динамической коррекции ширины W . Подробное описание алгоритма доступа и прогнозирования нагрузки исследуемых протоколов представлены в работах [1, 3]. Метод доступа с прогнозированием позиционируется разработчиками как наиболее эффективный для сетевого трафика, изменяющегося в широких диапазонах, а базовый метод наиболее эффективен для заранее известной нагрузки на канал.

Сравнения производительности базового и прогнозирующего протоколов производилось в работе [4]. Однако, оценка эффективности прогнозирующего метода доступа ранее не выполнялась. Под эффективностью в работе подразумевается степень соответствия времени доступа узлов к каналу сети

базового и прогнозирующего протоколов, наилучшим возможным показателям времени доступа базового протокола под конкретную нагрузку на канал.

Таким образом, целью настоящей работы является оценка эффективности *predictive p-Persistent CSMA* по критерию времени доступа узлов к каналу сети.

Модель исследуемой сети

Для анализа производительности сети на основе *p-persistent CSMA* метода доступа в работе принята следующая система ограничений.

Предполагается, что нагрузку на канал сети в каждый момент времени составляет постоянное количество активных узлов, готовых начать передачу однотипных сообщений. То есть, исследуется режим насыщенной сети, с передачей сообщений одного приоритета и одинакового размера. В работе [4] показано, что результаты, полученные для режима насыщения справедливы и для ненасыщенных сетей с постоянным средним количеством активных узлов в сети. Исследуемый режим возможен при объединении большого количества узлов в сети или при очень большой частоте событий в сетях, и позволяет оценить нижнюю границу производительности сети на основе *p-persistent CSMA* протокола.

Рассматривается замкнутая модель сети, интенсивность формирования в которой определяется потоком обслуженных сообщений. При этом считается, что появление нового сообщения в сети происходит сразу после успешной передачи сообщения по каналу. В модели не уделяется внимание тому, какие именно узлы формируют сообщения, исследуется производительность сетевого канала. Все узлы сети имеют равновероятный доступ к каналу, то есть исследуется сеть без приоритетов.

Предполагается, что все узлы сети в состоянии обнаружить коллизии. Происходящие коллизии занимают полный пакетный цикл передачи [3].

Предполагается, что канал связи бесшумен, то есть в канале не возникают ошибки передачи пакетов (не связанные с коллизиями) и все узлы ведут согласованный подсчет статистики передачи (*backlog*).

Представленная система ограничений исследовалась в работах [1, 4]. Были получены аналитические соотношения для определения вероятности коллизии P и среднего времени доступа узлов к каналу T :

$$P = 1 - n \cdot \sum_{s=1}^W \frac{1}{W} \cdot \left(\frac{W-s}{W}\right)^{n-1}, \quad (1)$$

$$T = \frac{\tau \cdot n}{1 - P} - PktTime, \quad (2)$$

где τ – среднее время пакетного цикла, n – количество узлов-соперников за канал, $PktTime$ – время передачи пакета по сети. Аналитические выражения для определения $PktTime$, τ представлены в работах [1, 4].

Анализ эффективности методов доступа

Для анализа эффективности *predictive p-persistent CSMA* решены следующие основные задачи.

С помощью аналитических выражений (1-2) выполнена количественная оценка производительности базового метода доступа с шириной соревновательного окна $W = 16, 32$, а также прогнозирующего метода predictive p -Persistent с базовой шириной $W = 16$ [2, 3]. Оценка производительности выполнена на наиболее актуальном диапазоне нагрузок от 2 до 20 узлов, конкурирующих за канал. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Исследована производительность метода доступа p -persistent CSMA при различной ширине W и различных нагрузках. Методом перебора всевозможных значений W , при фиксированных нагрузках, установлены наилучшие показатели времени доступа T узлов к каналу. Полученные результаты представлены в таблице 1 как « p -Persistent CSMA с меньшим T ». На основе анализа результатов, установлено, что наименьшее среднее время доступа узлов к каналу сети достигается при вероятности коллизии 14-16% на диапазоне нагрузок от 2 до 20 насыщенной сети.

Таблица 1

Результаты моделирования различных методов доступа

Метод доступа		Нагрузка на канал									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
p - Persistent CSMA	W	16									
	T	4.98	10.39	16.31	22.92	30.39	38.86	48.46	59.35	71.72	85.76
	P	6.25	12.11	17.77	23.18	28.33	33.23	37.87	42.28	46.44	50.37
	W	32									
	T	6.63	11.94	17.15	22.55	28.22	34.22	40.59	47.35	54.55	62.19
	P	3.13	6.15	9.13	12.04	14.89	17.67	20.39	23.05	25.64	28.17
p -Persistent CSMA с меньшим T	W	7	13	18	24	30	35	41	47	52	58
	T	4.39	10.29	16.25	22.22	28.19	34.16	40.14	46.12	52.09	58.07
	P	14.28	14.79	15.89	15.86	15.83	16.25	16.17	16.12	16.37	16.30
Predictive p - Persistent CSMA	W	18	20	22	24	27	29	31	33	36	38
	T	5.19	10.81	16.71	22.96	29.56	36.49	43.69	51.13	58.76	66.55
	P	5.86	10.69	14.79	18.21	21.04	23.39	25.31	26.89	28.19	29.23

W – ширина соревновательного окна, ед; T – среднее время доступа, мс;
 P – вероятность коллизий, %.

Выполнен сравнительный анализ результатов исследуемых методов доступа. Сравнение результатов времени доступа, в зависимости от нагрузки, представлено в виде графика на рисунке 1. За абсциссу на графике приняты результаты p -Persistent CSMA с меньшим временем доступа T . Результаты базового и прогнозирующего методов представлены в виде отклонения времени доступа от наилучших возможных значений и обозначены на графике соответственно «Base $W=16, 32$ », «Predictive $W=16$ ».

Установлено, что базовый метод доступа позволяет добиться меньшего времени доступа на широком диапазоне нагрузок, например, для $W=16$ при нагрузке $n = 1 \dots 8$. Это обусловлено тем, что величина вероятности коллизии

базового метода доступа, на данном диапазоне нагрузок, ближе к наилучшему значению в 14-16%. Вероятность коллизий прогнозирующего метода доступа на данном диапазоне меньше, что обеспечивается использованием соревновательного окна большей ширины W , результатом этого является немного большее время доступа узлов. По мере возрастания соперничества в канале, базовый протокол сталкивается с проблемой экспоненциального роста частоты происходящих коллизий, в результате чего резко возрастают задержки доступа узлов к каналу. Протокол с прогнозированием избегает резкого возрастания вероятности коллизии, с ростом нагрузки наблюдается почти линейный рост вероятности коллизий.

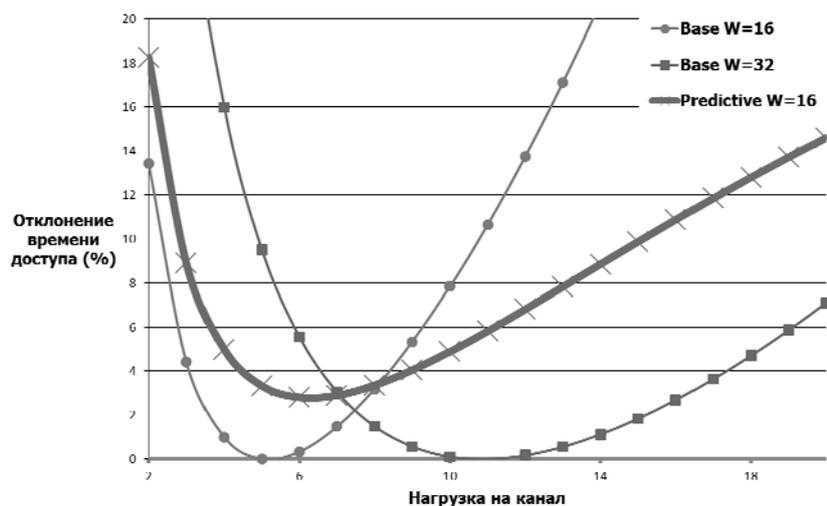


Рис. 1. График эффективности методов доступа

На основе анализа полученных результатов, установлен высокий уровень эффективности прогнозирующего *predictive p-Persistent CSMA* протокола по сравнению с базовым протоколом, при различных W . Отклонения времени доступа протоколов в среднем не превышают 5%. Отклонение времени доступа прогнозирующего протокола в сравнении с наилучшими значениями в среднем составляют порядок 10%.

Целью дальнейших исследовательских работ является выработка рекомендаций по оптимизации протокольных тонкостей *predictive p-Persistent CSMA* направленных на повышение производительности сети.

Список литературы

1. Даденков С.А., Кон Е.Л. Исследование производительности алгоритма доступа к среде *predictive p-Persistent CSMA* протокола / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – Пермь: Издательство ПНИПУ, 2012. №6, С. 217-231.
2. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и её приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
3. LonTalk protocol specification, ANSI/CEA-709.1-B. United States: ISO/IEC JTC 1 SC 25, 2006. – 436 p.
4. Marek Miśkiewicz. Analysis of Mean Access Delay in Variable-Window CSMA // Sensors. - Kraków, Poland: MDPI, 2007. P. 3535-3559.

ОПТИМИЗАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Рассмотрены проблемы существующего подхода к планированию литейного производства. Приводится сравнение принципов планирования в *ERP* и *APS*-системах. Проведен анализ ограничений, влияющих на оперативное планирование титанового литья. Выявлены конкретные области применения оптимизации.

Введение

Машиностроительные предприятия являются основой экономики страны, а литейные цеха – их заготовительной базой. При этом современные реалии объективно заставляют руководителей обращаться к решению задач оптимизации и управления размером производимых затрат при производстве отливок, отходить от традиционного взгляда из плоскости «план-факт», придавая динамизм и гибкость управлению. При этом разработка системы управления затратами должна учитывать факторы внутренней и внешней среды, специфику конкретного производства и предприятия, выявить потенциальные области оптимизации. Целью данного доклада является выделение специфических особенностей литейного производства и выявление ограничений и критериев оптимизации, наиболее характерных для него.

Проблемы планирования литейного производства при помощи *ERP*-систем

Предприятия, внедряющие и внедрившие *ERP*-системы, сталкиваются с проблемой невозможности адекватной реализации модели бизнес-процесса при планировании производства. Существующие автоматизированные системы управления не позволяют эффективно управлять литейным производством, так как оно является не только многономенклатурным и многопоточным, но и многовариантным по шихтовому составу сплава, в то время как в основе *ERP* системы лежит принцип одновариантного или ограниченного альтернативного состава изделия.

В ходе попыток преодоления этих недостатков было создано альтернативное решение – *APS*, системы оптимизационного планирования производства, которые ориентированы на интеграцию планирования звеньев цепочки поставок, учитывающие основные особенности и ограничения конкретного типа производства. Ниже приведены особенности решения *APS*, позволяющие преодолеть некоторые основные проблемы, связанные с использованием стандарта *MRP II*:

1. применимость к разным средам планирования (в т.ч. к непрерывному производству);
2. осуществление планирования одновременно с учетом ограничений по мощностям и ресурсам;
3. учет тонкостей конкретного типа производства и производственных особенностей предприятия;
4. высокая скорость планирования и перепланирования.

Однако для внедрения данных систем планирования необходимо выявление ограничений и критериев оптимизации, которые можно предметно рассмотреть на примере титанового литья.

Ограничения производства титановых отливок, оказывающие влияние на процесс планирования

В реальных литейных производствах существуют ограничения, оказывающие существенное влияние на процесс оперативно-производственного планирования, которые подразделяются на технические, технологические и экономические.

Технические ограничения, как правило, связаны с химическим составом шихты. В частности, ограничения на максимальную удельную долю возвратов собственного производства в массе шихты.

К ограничениям технологического характера, выявленным в процессе работ по договору № НЧ-ИТ-12-12-ХГ от 01.08.2012г. по теме «Оптимизационное планирование литейного производства деталей из титановых сплавов с учетом многовариантности состава шихты и использования возвратного материала», проводимому на базе ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», относятся:

1. Ограничение на количество доступных агрегатов.
2. Ограничение на количество доступных для использования контейнеров.
3. Ограничения по количеству блоков в контейнере. На примере их может быть 2, 3, 4 и 6. При этом наибольшее значение соответствует наиболее мелким отливкам и как следствие, блоки с отливками меньшего размера также можно собирать в контейнеры в меньшем количестве.
4. Ограничения по составу блоков в контейнере. Массы диаметрально противоположных блоков должны быть примерно равны.
5. Ограничения по массе завалки шихты.
6. Ограничения на последовательность использования плавильных агрегатов для различных марок сплава
7. Ограничения на угар компонентов шихты.
8. Ограничения на безвозвратные отходы.
9. Ограничение на доступную мощность плавильных агрегатов.
10. Ограничения на размер партии отливок. Партия кратна количеству отливок в блоке, однако в исключительных случаях могут использоваться нестандартные блоки, включающие два и более типов отливок.

Экономические ограничения при оперативном планировании литейного производства связаны в первую очередь с планированием запасов и закупок:

1. Ограничения на доступность свежего материала.
2. Ограничения на доступность оборотного материала.
3. Ограничения на доступность блоков форм для заливки.
4. Ограничения на доступность сверхурочных работ.

Выявление описанных выше ограничений позволяет перейти к выявлению конкретных областей приложения оптимизации.

Анализ современных требований к оптимизации титанового литья

При оптимизации планов в литейном производстве чаще всего используется два метода. Один из них, увеличение пропускной способности производства, иными словами сокращение длительности производственного цикла. С точки зрения теории ограничений максимальная эффективность достигается путем максимизации загрузки агрегатов и рабочих комплексов, являющихся «узкими местами»[1-3,6]. При этом не должны нарушаться ограничения по срокам поставки продукции[4,5]. В случае литейного производства такими рабочими комплексами являются плавильные агрегаты, установки для горячего изостатического прессования, печи для термической обработки отливок.

Вторым методом оптимизации планов в литейном производстве является сокращение затрат при заданном объеме производства. Анализ структуры затрат на промышленных предприятиях за 2005 - 2011 годы [7] показал, что основным местом приложения различных методов оптимизации являются материальные затраты и затраты на оплату труда, составляющие общую удельную долю более 80%.

С точки зрения сокращения материальных затрат наиболее перспективным направлением является оптимизация шихтового состава сплавов с учетом прогнозных величин оборотных материалов. Состав сплава, удовлетворяющий требованиям нормативных документов, может быть получен различными комбинациями исходных шихтовых материалов. Следовательно, составление шихты является задачей, допускающей многовариантные решения. С точки зрения экономии материалов, критерием выбора базового состава шихты может служить совокупная стоимость шихты.

Оплата труда в литейном производстве является сдельной, исходя из этого единственно-возможным источником сокращения данной статьи затрат является минимизация сверхурочных работ и оплат вынужденных простоев.

Также важным интегральным критерием оптимизации является минимизация объемов незавершенного производства[4,5].

Заключение

Настройка модели оперативного планирования литейного производства была осуществлена с использованием программного обеспечения *Enterprise Optimizer* компании *River Logic Inc.* Горизонт планирования сформированной

модели составляет 1 месяц. При анализе модели использовались различные сценарии, наиболее характерные для участка титанового литья.

Сформированные оперативные производственные планы были проанализированы ответственными исполнителями со стороны предприятия. На оперативном горизонте планирования данная модель позволяет оценить осуществимость планов, принять решение об использовании сверхурочных работ, повышении приоритетов некоторых «напряженных» заказов. Об адекватности и применимости сформированного прототипа модели оптимизации оперативного планирования литейного производства говорит решение о внедрении программного продукта на базе центра компетенции литья ОАО «УМПО»[7].

Представленная модель вызвала интерес не только со стороны высшего руководства литейного производства, но и механических цехов, что говорит об актуальности расширения модели на весь технологический цикл, начиная от закупки материалов и обоснования выбора поставщиков основных и вспомогательных материалов. Также перспективы развития данной модели заключаются в расширении модели на иные виды литья, имеющих большую вариативность компонентов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору кафедры Автоматизированных систем управления А.В Речкалову. за оказанную помощь в подготовке доклада.

Список литературы

1. Голдратт Э. Цель. Процесс непрерывного совершенствования / М.: Попурри. 2009. – 196 с.
2. Голдратт Э. Цель-2. Дело не в везении / М.: Манн, Иванов и Фербер. 2011. – 133 с.
3. Голдратт Э. Цель-3. Необходимо, но недостаточно / К.: Необходимо и достаточно. 2009. – 250 с.
4. Загидуллин Р.Р. Системы управления интегрированным производством в машиностроении: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2010. -295с.
5. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Старый Оскол: ТНТ, 2011 – 372с.
6. Корбетт Т. Управленческий учет по ТОС. Учет прохода / К.: Необходимо и достаточно. 2009. – 240с.
7. УМПО повысит эффективность титанового и алюминиевого литья с помощью инновационной системы планирования. [Электронный ресурс]. URL: vpk.name/news/84210_umpo_povyisit_effektivnost_titanovogo_i_alyuminievogo_lit_ya_s_pomoshyu_innovacionnoi_sistemyi_planirovaniya.html
8. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: www.gks.ru

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЭТАПОВ СТАДИИ ВНЕДРЕНИЯ ИТ-СЕРВИСА

Аннотация

Оптимизация деятельности провайдера на различных стадиях жизненного цикла ИТ-сервиса является одной из важнейших задач. Исследуются основные этапы и задачи стадии внедрения ИТ-сервиса.

Актуальность проблемы

В соответствии с *ITILv3* [1], стадия внедрения (*transition*) является одним из этапов жизненного цикла сервиса, на котором все изменения бизнес-процессов и сервисов организационно и структурно встраиваются в эксплуатационную среду бизнеса. На данном этапе необходимо обеспечить эффективное управление и решение комплекса взаимосвязанных задач, таких как контроль рисков, актуализация конфигураций, документирование и структуризация знаний и т.д.

Технологическая схема деятельности ИТ-провайдера

Проектный пакет ИТ – сервиса [2], сформированный на стадии проектирования или в процессе управления изменениями, поступает на стадию внедрения, которая включает основные процессы: планирование внедрения сервиса, управление изменением сервиса, управление активами и конфигурациями, управление формированием, развертыванием, тестированием сервисов, управление знаниями. Фактически, процесс внедрения ИТ – сервиса в эксплуатационную среду заказчика предусматривает комплексное воздействие как на структуры и бизнес – процессы заказчика, так и на деятельность провайдера.

На стадии внедрения ИТ – сервиса, провайдер вынужден решать огромное количество задач, к которым относятся: планирование всех сервисных активов, оценка метрик и рисков, формирование, сборка, тестирование и развертывание ИТ – релизов в эксплуатационной среде. Достичь конкурентных преимуществ ИТ - провайдер может за счет предоставления качественных технических решений и оптимизации собственных бизнес-процессов.

Обобщенная технологическая схема деятельности ИТ – провайдера на стадии внедрения, представлена на рисунке 1.

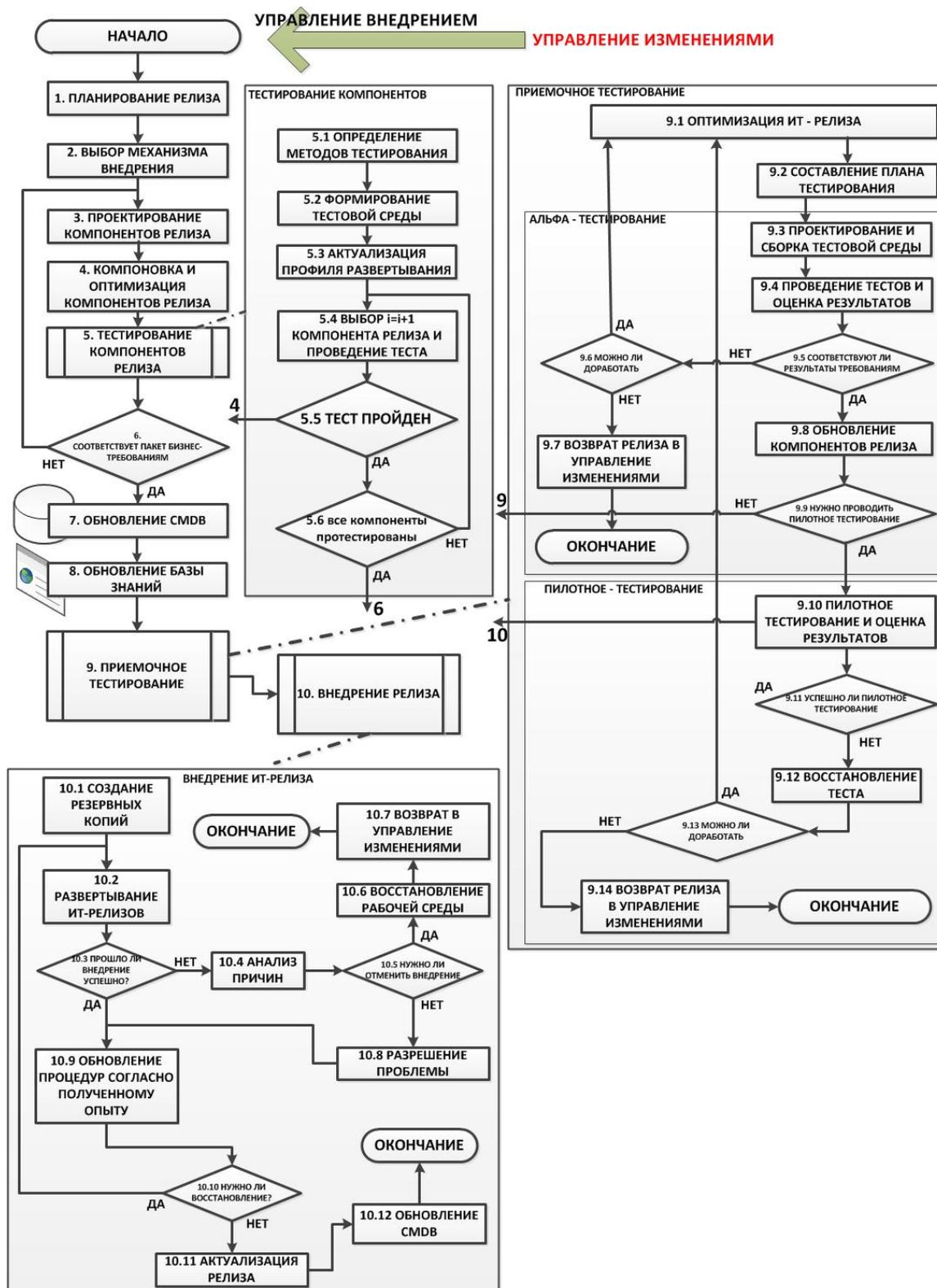


Рис. 1. Технологическая схема деятельности ИТ-провайдера на стадии внедрения

Одной из основных задач деятельности ИТ – провайдера на стадии внедрения сервиса является управление релизами. К основным задачам управления релизами относятся:

1) Планирование релизов в соответствии с бизнес требованиями, возникающими в связи с утвержденными изменениями;

2) Создание эффективных пакетных релизов, для тестирования и внедрения изменений;

3) Создание расписаний ключевых этапов тестирования и внедрения ИТ – релизов;

4) Создание и виртуализация тестовых сред, тестирование механизмов релиза для минимизации сбоев и потерь в эксплуатационной среде;

5) Оптимизация компонентов релиза, направленная на снижение количества ошибок основанная на динамической модели Шумана;

6) Внедрение ИТ – релиза в эксплуатационную среду бизнеса в соответствии со стратегиями и политиками провайдера.

На этапе планирования релиза определяются задачи, которые необходимо выполнить, их временные рамки и приоритеты. После утверждения запроса на изменение (*RFC*), устанавливаются сервисные активы, подлежащие изменению. В рамках работ, экспертная группа и менеджеры по внедрению могут обратиться к специалистам по техническим вопросам, экспертам в данной области, чтобы определить перечень необходимых работ, последовательность и основные этапы выполнения. К основным задачам стадии планирования относятся:

1) Определение предметной области ИТ – релизов, сервисных активов, перечня основных задач и приоритетов их решения;

2) Составление расписаний основных работ;

3) Определение рисков и оценочных мероприятий при внедрении релиза;

На этапе создания пакетных релизов осуществляется выбор механизма внедрения релиза. Возможно использовать множество разнообразных подходов, выделим две основных стратегии:

1) Стратегия компоновки пакетного релиза;

2) Стратегия развертывания релиза;

Стратегия компоновки описывает, каким образом будет осуществляться объединение сервисных компонентов вместе, либо каждый компонент будет устанавливаться «вручную» в тестовую и эксплуатационную среду, либо политика ИТ-провайдера предусматривает формирования пакетного релиза, как совокупности отдельных компонентов сервисного релиза, объединенных в отдельный инсталляционный сценарий. Стратегия развертывания релиза предполагает выбор техники развертывания релизов на конечных тестовых или эксплуатационных системах. Двумя крайними подходами являются техники дискретного развертывания и метод «большого взрыва».

Проектирование компонентов релиза включает разработку средств и технологий внедрения релиза в эксплуатационную среду с использованием выбранного механизма, а также его удаления, если в этом возникнет необходимость. Использование определенного механизма внедрения релиза может потребовать значительных усилий, связанных с созданием необходимого набора конфигурационных файлов, приобретения утилит развертывания или разработки собственных механизмов усилиями ИТ-провайдера.

Процесс компоновки и оптимизации пакетного релиза представляет собой объединение всего множества сервисных компонентов в некоторые подмножества, встраиваемые в тестовую или эксплуатационную среду за одну транзакцию внедрения. Также очень важно учитывать, что в процессе компоновки пакетного релиза команда релиза должна документировать основные процессы и процедуры, выполняемые вручную в дополнение к техническому решению. В рамках данной работы, рассматриваются два подхода к формированию релизов:

1) Ручная компоновка пакета сервисных релизов, исходя из знания и опыта эксперта – профессионала в области программного обеспечения и технологий;

2) Автоматическая компоновка подмножеств сервисных компонентов, как одна из задач оптимизации, рассмотренная во второй главе диссертационной работы;

В завершение компоновки отдельных сервисных активов пакетного релиза производится тестирование отдельных компонентов в проектной среде. По результатам проведенного тестирования обновляются конфигурационная база данных (*CMDB*) и база знаний.

Приемочное тестирование осуществляется для проверки работоспособности ИТ – релиза в среде, близкой к эксплуатационной. План тестирования должен быть скорректирован по ключевым показателям успешности, поскольку наличие времени на проведение полномасштабного комплексного тестирования маловероятно. В рамках проведения процедуры тестирования очень важно уделить внимание ключевым с точки зрения ИТ – провайдера аспектам функциональности. В случае неудачного завершения тестовых процедур, ИТ – релиз должен быть оптимизирован или передан на стадию управления изменениями. Поскольку полное тестирование программного обеспечения невозможно, можно выделить пригодные в практическом отношении виды тестовых испытаний:

1) Тестирование отдельных компонентов, конфигураций ИТ-релизов и их совместной работы;

2) Комплексное тестирование всех элементов;

3) Нагрузочное тестирование (тестирование масштабируемости);

4) Имитационное тестирование, с использованием типовых сценариев работы пользователя;

По завершении каждого этапа вносятся соответствующие изменения в конфигурационную базу данных (*CMDB*) и базу знаний с актуализацией полученного опыта.

Список литературы

1. OGC-ITIL V3-2 Service Transition, TSO 2007.

2. Зимин В.В., Бондарь Н.Ф., Торопчин А.С., Добрынин А.С. О разработке конкурентоспособной стратегии и портфеля сервисов ИТ-провайдера. Научно технический журнал «Системы управления и информационные технологии», №3.1(49), 2012, с. 180.

УДК 519.71

А.В. Догадкин ¹

Руководитель проекта – д.т.н., проф. С.П. Ботуз²

¹Московский педагогический государственный университет, Москва

²Федеральный институт промышленной собственности, Москва

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация

Разработана и исследована интерактивная среда, позволяющая осуществлять маркетинговые исследования и разработку инновационных проектов в области проектирования и экспертизы энергоэффективных отопительных систем промышленных и жилых зданий. При этом разработанное мультимедийное обеспечение может быть использовано в качестве учебного пособия в процессе подготовки (переподготовки) и аттестации специалистов/инженеров, бакалавров и магистров по специальностям 140104.65 – Промышленная теплоэнергетика и 140100.62 – Теплоэнергетика и теплотехника.

Введение и постановка основных задач

Как известно из потребляемой в быту энергии 70% идет на отопление помещений, 15% энергии расходуется на приготовление пищи, 10% энергии потребляет бытовая техника и 5% энергии расходуется на освещение [1]. В этой связи актуальность темы – создание мультимедийных средств для формирования интерактивной среды для исследования и разработки энергоэффективных технологий теплоснабжения промышленных помещений и жилых зданий не вызывает сомнений [2]. Для реализации данной цели в настоящей работе поставлены и решены следующие основные задачи.

1. Разработать интерактивную оболочку для выполнения маркетинговых исследований в области инновационных решений энергоэффективного теплоснабжения в автоматизированном режиме на основе исследования патентных источников информации;

2. Осуществить маркетинговый анализ технических решений (патентов на изобретения и полезные модели) с помощью разработанной интерактивной оболочки;

3. Разработать мультимедийную среду для изучения двухтрубных отопительных систем промышленных и жилых зданий;

4. Синтезировать граф-схему и соответствующую динамическую модель для генерации персонифицированных моделей/стратегий обучения в рамках требований образовательного стандарта по следующим специальностям: 140104.65 – Промышленная теплоэнергетика и 140100.62 – Теплоэнергетика и теплотехника.

При этом для реализации поставленных задач использованы БД патентного ведомства РФ [3] и Европейского патентного бюро (Espacenet) [4]. В работе рассматривается закрытая отопительная система жилого здания - водоразборная система жилого дома. Системы водяного отопления данного класса пользуются большим спросом не только в России, но и в Европейских странах. Анализируя полученные ответы на запросы в БД Российского патентного ведомства на 12 сентября 2012 г. видно, что количество зарегистрированных патентов в России – 31. Первые регистрации патентов России по данной тематике относятся к 1996 году, т.е. очевидна необходимость анализа информации, которая была до данной даты – следует анализировать авторские свидетельства СССР. При этом основное внимание на данном этапе патентных исследований уделено сравнению интенсивности регистрации патентов в Европейской БД «Espacenet». Так на 12.09.12 г. в Европейской БД зарегистрировано 24439 патентов, а на 08.10.12 г. – 24530. При этом осуществлен анализ массива Европейской БД начиная с 2007 по 2011 гг. на примере таких ведущих стран как: США, Германия, Франция, Великобритания, Россия и Япония. Так, например, в 2007 году было зарегистрировано 1028 патентов, в 2008 году – 1113; в 2009 году – 1317 патентов; в 2010 году – 1588 патентов, а в 2011 году зарегистрировано – 1711 патентов. Т.е. очевидна тенденция роста регистрации патентов в данной предметной области. Среди вышеперечисленных стран заметна тройка лидеров: Германия (859 патентных документа), США (703 – документа) и Франция (198 – документа). При этом наблюдается активность патентования США своих инновационных решений в Европе. Так в 2010 году Германия (150 патента) уступила место «лидера» США (192 патента), однако уже в 2011г., не удержав свои позиции, США (111 документа) вновь отходит на второй план, уступив первенство Германии (187 документа). При этом осуществлено исследование относительного приращения патентов за 5 лет (2007 – 2011гг.) в области отопительных систем каждой из вышеперечисленных стран. Рассматривая подробнее процентную долю каждой страны заметим, что: для США, она составляет 23% от суммарного количества зарегистрированных патентов на 24.10.2012 г. в Европейском патентном ведомстве; для Германии она составляет 27%, не смотря на практически постоянное лидерство; для Франции процентная доля равна 28%, а для Великобритании – 30%. Если говорить о России, то в процентном отношении, – одерживается «полная процентная победа» – 56%, но это всего лишь из-за того, что на Европейском рынке Россия не зарекомендовала себя большим количеством зарегистрированных патентов. У Японии процентная доля составляет 22%.

Что касается фирм монополистов, то первенство по числу патентов принадлежит фирме *VALEO* с количеством зарегистрированных патентов 236 в области тепловых систем, что составляет 45% от суммарного количества зарегистрированных патентов. Второе место с малым отрывом занимает фирма *BOSCH*, зарегистрировавшая 230 патентов, а это 43%. Третье место заняла компания *GLOBAL TECH INC* с 43 патентами, а это 8% от всей суммы

зарегистрированных патентов. Фирма *TOKYO ELECTRON LTD* зарегистрировала 17 патентов – 3%, а фирма *IBM*, зарегистрировавшая в *Espacenet* 5 патентов, – 1%.

Разработка мультимедийной среды

Для эффективного освоения материалов, связанных с внедрением энергосберегающих технологий разработан функционально самостоятельный набор мультимедийных средств, позволяющий исследовать наиболее распространенный тип системы отопления – двухтрубную закрытую отопительную систему промышленного или жилого здания (рис. 1).

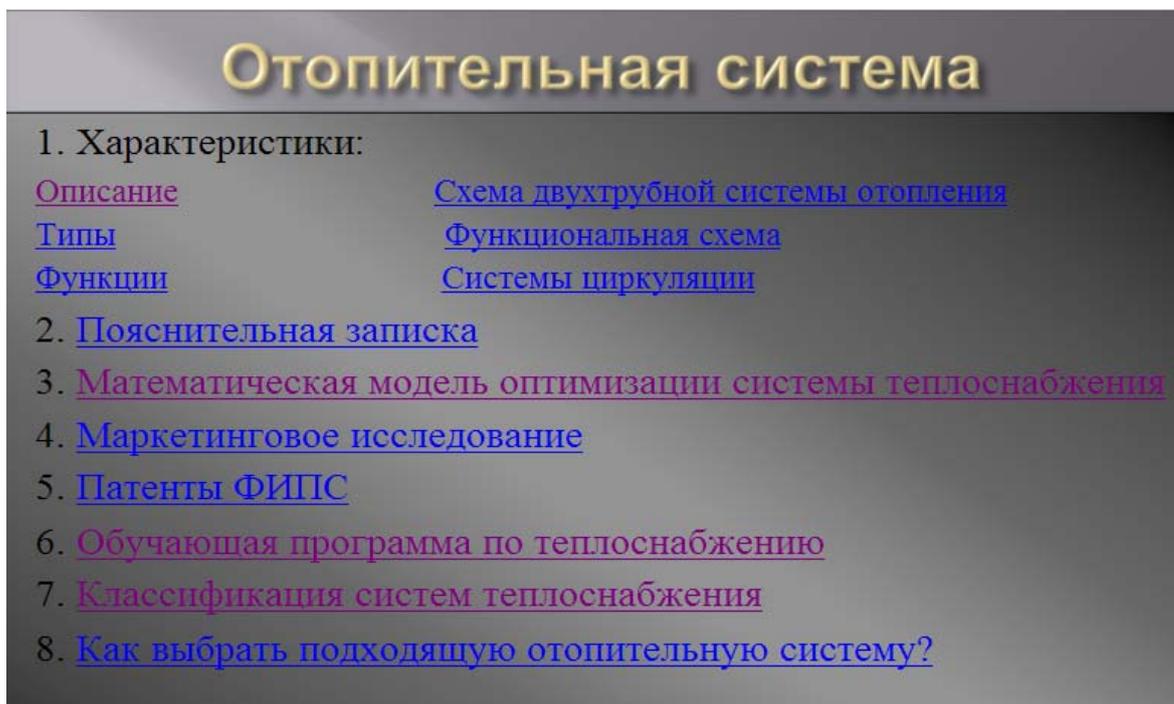


Рис.1. Содержание мультимедийной среды для исследования двухтрубной закрытой отопительной системы жилого здания, фрагмент разработанного интерактивного мультимедийного ресурса

На заключительном этапе синтезирована интерактивная граф-схема, разработанных мультимедийных средств и соответствующая система стохастических/вероятностных дифференциальных уравнений [2]. Синтезирован интерактивный граф и его мультимедийная реализация, позволяющие идентифицировать действия пользователя на всех этапах его взаимодействия с разработанным ресурсом, т.е. не только на этапах обучения пользователя, но и в процессе эксплуатации соответствующих инновационных решений (проектов и т.п.), связанных с повышением энергоэффективности аналогичных отопительных систем. Так, например, рассмотрены стратегии обучения для:

- пользователя – «новичка», для случая, когда замечен его интерес ко всему информативному материалу по данной тематике, но не к отдельным его частям и дальнейшему подробному изучению.

Легко представить, что первые действия «новичка» на сайте будут посвящены поверхностному ознакомлению с материалом. К примеру, знакомству с определением единиц измерения количества тепловой энергии – гигакалория (Гкал) (10^9 калорий), используемая для оценки тепловых затрат в теплоэнергетике, системах отопления, коммунальном хозяйстве и т.п.

- пользователя – специалиста-маркетолога, в частности, когда замечен его интерес к материалу, связанному с патентованием и проведенным маркетинговым исследованием по системам отопительных приборов учета в производственных и жилых зданиях.

- пользователя – специалиста/инженера, когда отмечается его внимание только к интересующим его фрагментам и местам в информационном материале для заполнения «пробелов» в собственных знаниях.

Чисто практический интерес представляет раздел, посвященный выбору методов и средств автоматического учета тепловой энергии. А именно, приведены сравнительные технические характеристики и стоимость квартирных счетчиков воды российского производства. Приведен обзор существующих теплосчетчиков, указаны их особенности, и ориентировочная стоимость, а также произведен обзор счетчиков ГВС и ХВС, указаны особенности их приобретения, установки и эксплуатации.

Для повышения интерактивности рассмотрены современные средства представления информации с использованием образовательных интерактивных досок трех ведущих фирм, а именно Promethean Activboard, Smart board и Mimio оборудование, которые поступили и продолжают поступать в учебные заведения РФ.

Таким образом, основной результат настоящей работы может быть сформулирован следующим образом.

На основе сформулированной цели и поставленных для ее реализации задач реализована интерактивная среда, позволяющая осуществлять маркетинговые исследования и разработку инновационных проектов в области проектирования и экспертизы энергоэффективности отопительных систем промышленных и жилых зданий. При этом разработанное мультимедийное обеспечение может быть использовано в качестве учебного пособия в процессе подготовки (переподготовки) и аттестации специалистов/инженеров, бакалавров и магистров по следующим специальностям: 140104.65 – Промышленная теплоэнергетика и 140100.62 – Теплоэнергетика и теплотехника.

Список литературы

1. <http://minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost/>
2. Ботуз С.П. Методы и модели экспертизы объектов интеллектуальной собственности в сети Internet. – М.: СОЛОН-Р, 2002, с.150 – 198.
3. http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/
4. <http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html>

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПРОСАМИ В БАЗАХ ДАННЫХ С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ МАРШРУТАМИ СОЕДИНЕНИЯ ТАБЛИЦ

Аннотация

В данной работе рассмотрена автоматическая система оптимального управления запросами в реляционных базах данных с альтернативными маршрутами соединения таблиц. Альтернативные маршруты для запросов в реляционных базах данных появляются при изменении ее структуры путем внесения контролируемой избыточности.

Введение

В современном мире большая часть информации хранится в информационных системах (ИС). Наиболее часто хранилищем информации в ИС являются реляционные базы данных (БД). Скорость получения информации из БД играет большую роль для принятия важных решений. Поэтому задача оптимизации времени выполнения запроса является актуальной. В настоящее время существует процедура оптимизации запросов, которую можно разбить на несколько этапов:

1. лексический и синтаксический разбор запроса;
2. логическую оптимизацию;
3. семантическую оптимизацию;
4. построение процедурных планов выполнения запросов и выбор оптимального;
5. непосредственное выполнение запроса.

Первый этап включает в себя лексический и синтаксический разбор запроса, результатом чего является внутреннее представление запроса, которое содержит информацию об объектах базы данных, описанных в нем.

Второй этап заключается в логической оптимизации внутреннего представления запроса, полученного на первом этапе. На этом этапе применяются преобразования, сохраняющие семантическую целостность, и приводящие его к некоторой стандартной форме.

На третьем этапе происходит выбор набора альтернативных планов выполнения данного запроса на основе его внутреннего представления, полученного на втором этапе.

На последнем этапе происходит реальное выполнение запроса в соответствии с выбранным на предыдущем этапе планом.

Данный подход оптимизации запросов применяется в базах данных «жесткой» структуры, т.е. не содержащих альтернативных маршрутов выполнения запросов. Современное состояние вычислительной техники

позволяет хранить большие объемы информации, что дает возможность провести денормализацию баз данных и получить различные варианты соединения таблиц. Таким образом, появляется возможность при оптимизации использовать выбор маршрута выполнения запросов среди альтернативных в реальном режиме времени.

Автоматическая система оптимального управления запросами в БД

Для решения этой задачи предлагается ввести новую автоматическую систему оптимального управления запросами в базах данных. Целью данной системы является эффективное получение информации с использованием управляющего устройства, которое позволяет автоматически выбирать в реальном режиме времени оптимальный маршрут выполнения запроса среди множества альтернативных (рис. 1).

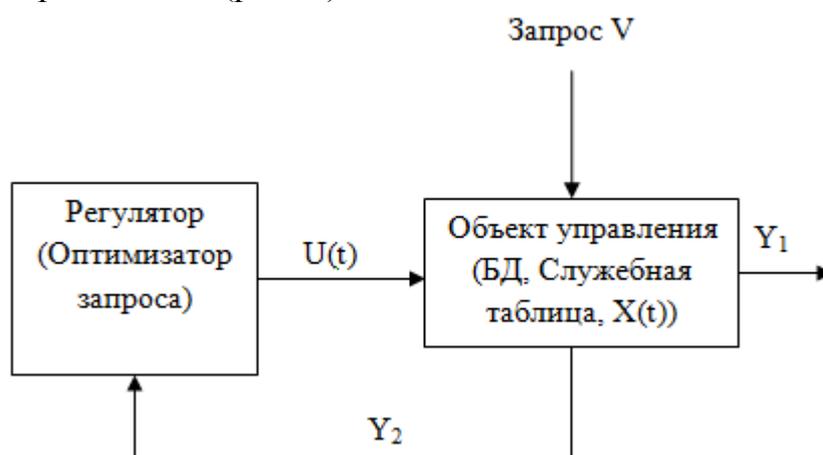


Рис. 1. Автоматическая система оптимального управления запросами

Автоматическая система оптимального управления (АСОУ) состоит из двух частей: объекта управления (ОУ) и регулятора. ОУ в данной системе будет являться БД со служебной таблицей (табл.1).

Для поддержания заданного режима функционирования объекта, что выражается в заданном поведении выходных величин $Y[t]$, осуществляется управление входными величинами $U[t]$ в соответствии с некоторым алгоритмом управления, построенным, в свою очередь, в соответствии с принципами управления [1].

$U[t]$ – входное, управляющее воздействие представляет собой выбранный маршрут M из множества альтернативных для запроса V .

$Y[t]$ – выходной сигнал, состояние объекта в момент времени t_i является вектор времени $T[i] = (T_1[i], T_2[i], \dots, T_j[i], \dots, T_n[i])$ для маршрута M выполненного запроса.

Служебная таблица

Результат	Маршрут	Среднее время выполнения (с)
Запрос 1	Маршрут 1	$T_{11}[i]$

	Маршрут n	$T_{1n}[i]$
...
Запрос k	Маршрут 1	$T_{k1}[i]$

	Маршрут m	$T_{km}[i]$

Время выполнения запроса невозможно подсчитать аналитически, даже имея самую подробную информацию о базе данных. В связи с этим, время выполнения удобнее определять из статистических данных, полученных измерением времени между отправкой запроса и окончанием его выполнения. Выбор маршрута происходит в зависимости от текущего состояния системы.

Регулятор системы представляет собой оптимизатор запроса, который работает по следующему алгоритму [2]:

- 1) Вычислить вероятность каждого маршрута по формуле

$$P_n = \frac{T - t_n}{(m-1)T}, \quad (1)$$

где $T = \sum_{n=1}^m T_{kn}[i]$, m – количество альтернативных маршрутов, $T_{kn}[i]$ – время

выполнения n маршрута для k -го запроса.

- 2) Разделить отрезок от 0 до 1 на части таким образом, чтобы длина каждой из частей была равна значению вероятности выбора каждого из маршрутов.

- 3) Сгенерировать случайное вещественное число на отрезке от 0 до 1.

- 4) Определить на участок какого маршрута попало случайное число.

- 5) Выполнив запрос по выбранному маршруту пересчитать время выполнения запроса по формуле (2) алгоритма старения:

$$T_{kn}[i+1] = \begin{cases} T_{kn}[i], & \text{если } M \neq M_j \\ \frac{T_{kn}[i] + T_{нов}[i]}{2}, & \text{если } M = M_j \end{cases}, \quad (2)$$

Выбирая маршруты по этому алгоритму, можно быть уверенным, что наиболее часто будут выбираться маршруты с наименьшим временем выполнения, а при изменении тенденции будет заново выбран оптимальный маршрут.

Разработанный алгоритм является универсальным для оптимизации времени выполнения запросов в базах данных с альтернативными маршрутами

соединения и может быть применён для любой базы, имеющей семантически равнозначные альтернативные маршруты соединения таблиц.

Удобство алгоритма заключается в том, что он не нарушает исходную структуру данных, легко интегрируется в имеющуюся систему, а также легко может быть исключён из пользования.

Такая гибкость в интеграции достигается тем, что алгоритм становится надстройкой над уже имеющейся системой и позволяет в случае необходимости работать «в обход» него.

Пример реализации альтернативных маршрутов

В качестве наглядного примера альтернативных маршрутов выполнения запросов в БД рассмотрим следующий запрос из АИС «Деканат» (рис.2, рис.3):

```
SELECT tbl_gr_sem.h_group, tbl_ocenka.n_ball FROM tbl_gr_sem,
tbl_student, tbl_disciplina_uch_plan, tbl_ocenka WHERE tbl_student.h_group =
tbl_gr_sem.h_group AND tbl_disciplina_uch_plan.B_EXAMEN = 1 AND
tbl_ocenka.h_disc_uch_plan = tbl_disciplina_uch_plan.a_disc_uch_plan.
```

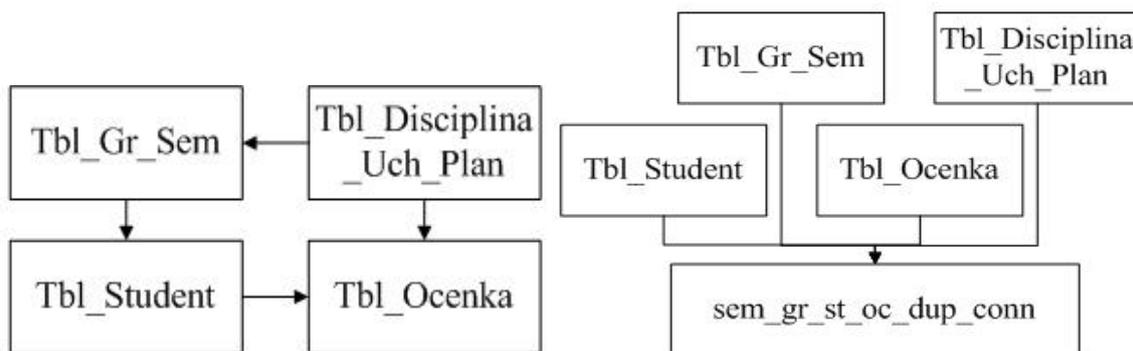


Рис. 2. Маршрут 1 для данного запроса Рис.3. Маршрут 2 для данного запроса

Вывод

Данная АСОУ позволяет находить минимальные маршруты выполнения запросов в данный момент времени и, как следствие, приводит к существенному уменьшению временных затрат при выполнении большого количества запросов.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ №13-07-97519 р_центр_a

Список литературы

1. А.А. Алексеев, Д.Х.Имаев, Н.Н. Кузьмин, В.Б. Яковлев Теория управления. СПбГ.;Издательство «ЛЭТИ» 1999, 434с.
2. Д.В. Дятчина Применение алгоритма оптимизация запросов на основе внесения контролируемой избыточности в базах данных /Вести вузов. Черноземья 2012г.№4. 2012. С. 48-51.

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

Аннотация

В докладе рассмотрены существующие и перспективные модели организации обработки информации с позиций обеспечения комплексного свойства информации – свойства «юридической значимости». Классифицирован новый вид угроз безопасности информации, характерный для систем электронного документооборота. Обозначена основная проблема, не позволяющая обеспечить требуемое качество функционирования систем электронного документооборота в удаленной среде.

Введение

В основе современного управления большими системами лежит применение автоматизированных систем управления (АСУ). Специфическим элементом, входящим в систему информационного обеспечения жизненного цикла АСУ является автоматизированная информационная система электронного документооборота (АИС ЭД). Основной задачей АИС является обеспечение юридически значимого информационного обмена. Поэтому оценку качества функционирования АИС ЭД целесообразно производить с позиций обеспечения комплексного свойства информации, характерного именно для АИС ЭД – свойства «юридической значимости».

Перспективным направлением развития современных АИС ЭД является переход к удаленной модели обработки информации на основе технологий облачных вычислений. При переходе к новой (удаленной) модели обработки информации в АИС ЭД необходимо обеспечить ключевое свойство юридической значимости информации на протяжении ее жизненного цикла и с учетом особенностей новой среды функционирования АИС ЭД.

Целью работы является критический анализ существующих и перспективных моделей обработки информации в АИС ЭД, проводимый с единых позиций обеспечения комплексного свойства юридической значимости информации.

1. Юридическая значимость информации в АИС ЭД

Основной формой представления информации в электронной среде является электронное сообщение. Пригодность электронного сообщения для информационного обмена определяется наличием свойств доступности, целостности и, в некоторых случаях, конфиденциальности. В соответствии с существующим законодательством [1] электронное сообщение, обеспеченное

расширенным перечнем свойств: фиксированностью, целостностью, доступностью, легитимностью и аутентичностью (подлинностью) признается электронным документом. Таким образом, электронный документ представляет собой особый класс электронных сообщений, обладающих отличительными характеристиками.

Уникальной комплексной характеристикой информации (электронного сообщения), свойственной ей только в рамках жизненного цикла в системах электронного документооборота является «юридическая значимость». С системных позиций юридическая значимость является эмерджентным свойством информации, возникающим при одновременном обеспечении средствами АИС ЭД расширенного множества частных свойств информации (фиксированности, целостности, доступности, легитимности и аутентичности). Как функциональное свойство элемента АИС ЭД, юридическая значимость характеризует потенциальную пригодность информации для ее использования не только для неофициального ознакомления, но и в процессах управления, пересекающихся с юридическим полем.

Качественным показателем юридической значимости информации является ее «наличие» или «отсутствие». Ключевым признаком, отличающим электронное сообщение от электронного документа, является именно юридическая значимость. Поэтому нормальным режимом функционирования АИС ЭД является необратимый переход информации из состояния «электронного сообщения» в состояние «электронного документа» на протяжении жизненного цикла информации в АИС ЭД.

Электронный документ, утративший свойство юридической значимости или «умирает» для АИС ЭД МО РФ (деградируя в разряд «сообщения») или требует дополнительных ресурсов для восстановления его юридической значимости. Каждый факт утраты информацией свойства юридической значимости характеризуется отказом определенного элемента АИС СЭД МО РФ и влечет за собой ущерб различного масштаба. При этом величина ущерба зависит от времени затрачиваемого на восстановление информацией свойства юридической значимости, т.е. время на переход АИС СЭД МО РФ в нормальный режим функционирования. Возможные состояния информации в АИС ЭД относительно свойства юридической значимости представлены в виде графа на рис. 1.

Таким образом, можно классифицировать новую комплексную угрозу безопасности информации свойственная только для АИС ЭД МО РФ – угрозу «утраты юридической значимости» информации.

Поэтому эффективность функционирования АИС ЭД МО РФ необходимо оценивать с позиций непрерывности обеспечения свойства юридической значимости информации, на протяжении ее жизненного цикла в условиях воздействия комплексной угрозы утраты юридической значимости информации.

Однако существующая практика организации обработки информации в системах электронного документооборота показывает, что обеспечение непрерывности функции защиты информации в АИС ЭД МО РФ от угрозы

утраты юридической значимости на протяжении ее жизненного цикла в различных режимах обработки информации является нерешенной проблемой. Данная проблематика неоднократно освещалась авторами на научных конференциях различного уровня [2, 3].

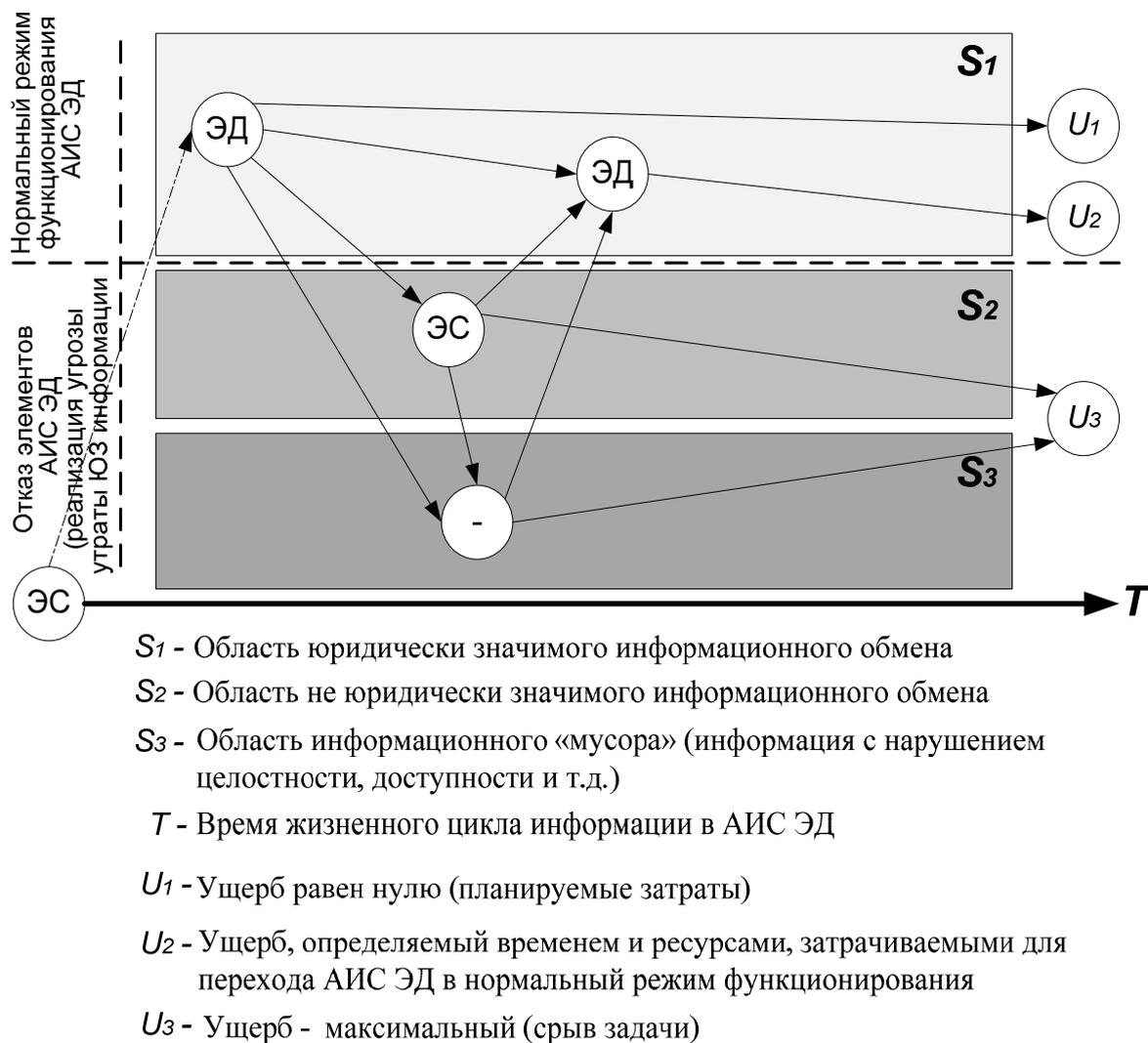


Рис. 1. Граф возможных состояний информации в АИС ЭД относительно свойства юридической значимости

2. Проблемы перехода АИС ЭД к удаленной модели обработки информации

В настоящее время в основе построения АИС ЭД, как правило, лежат клиент-серверные технологии «Толстый клиент». При реализации данной технологии процесс обработки электронных документов централизован на рабочем месте оператора АИС ЭД. Исключением является процесс проверки электронной подписи, требующий взаимодействия рабочего места оператора с удаленными серверами удостоверяющего центра.

К достоинствам данной технологии можно отнести:

- возможность обработки (в т.ч. и хранения) информации независимо от центрального сервера;

- возможность выполнения сложных вычислительных операций автономно на рабочем месте пользователя АИС ЭД.

Основным недостатком данной модели организации обработки информации в АИС ЭД является ее значительное ресурсопотребление, характеризующееся необходимостью обеспечения каждого рабочего места оператора АИС ЭД качественным ПО, средствами хранения информации, а также полным комплексом организационных мер и технических средств, обеспечивающих требуемый уровень информационной безопасности.

Эволюционным развитием АИС ЭД является внедрение технологий удаленной обработки информации («облачных» вычислений), реализуемых с использованием клиент-серверных технологий «Тонкий клиент» и «Мобильный клиент». Реализация удаленной модели подразумевает перенос основных операций связанных с обработкой информации в виртуальное киберпространство глобальной информационной сети. При этом доступ пользователя к сложному функционалу АИС ЭД может производиться с использованием менее затратных (по отношению к «Толстому клиенту») средств вычислительной техники (в том числе и мобильных устройств, терминалов и т.д.).

В тоже время предполагаемая среда функционирования удаленной АИС ЭД является современным театром боевых действий, проводимых в рамках развивающейся концепции ведения информационных войн («кибервойн», «сетевых войн», «сетевых войн» и т.д.). При этом, следует констатировать тот факт, что новые условия обработки информации, определяемые удаленной моделью, сопровождаются возникновением новых угроз безопасности информации, выходящими за рамки существующей методологии организации и обеспечения юридически значимого информационного обмена в электронной среде.

Таким образом, возникает противоречие. С одной стороны, необходимо обеспечить непрерывность свойства юридической значимости информации на протяжении ее жизненного цикла в новой (удаленной) среде с учетом специфики новых угроз безопасности информации, с другой стороны, отсутствуют единые теоретические основы, методы, алгоритмы, а также средства их реализующие, позволяющие обеспечить требуемое качество функционирования АИС ЭД в удаленной среде.

Список литературы

1. Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г.

2. Елисеев Н.И., Финько О.А. Системные основы защищенного гибридного документооборота // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2011): сб. тр. Пятой международной конференции. – М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. – Том II, С. 218-229.

3. Елисеев Н.И., Финько О.А. Обеспечение подлинности аналоговых документов в системе электронного документооборота МО РФ // «Инфофорум 2012»: материалы национального форума. URL: www.2012.infoforum.ru/2012/program (дата обращения: 13.06.2012 г.).

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА ПОСЛЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ

Аннотация

В работе рассмотрен подход к оценке устойчивости процесса выполнения производственного плана. Предложенный подход основывается на анализе его траектории выполнения в специальном фазовом пространстве при помощи теории устойчивости движения.

Введение

Для любого промышленного предприятия важна эффективно работающая автоматизированная система управления предприятием (АСУП). При этом режим работы предприятия определяется производственным планом (ПП). В реальном производстве возникают возмущения, связанные с различными ресурсными ограничениями, часто имеющие стохастический характер, например, несвоевременная поставка материалов, поломки оборудования, болезни работников и т.п. При этом, существуют методики оценки устойчивости ПП по вероятностной мере [1], позволяющие оценить вероятность выполнения плана в зависимости от используемых моделей планирования или параметров этих моделей. Однако, не смотря на все оценки, вероятность возникновения возмущения в процессе его выполнении в реальности всегда существует. В связи с этим актуальной является задача оценки устойчивости плана при возникновении внешних возмущений.

Процесс выполнения производственного плана

Рассмотрим более детально процесс выполнения производственного плана. Для такого процесса изначально известна последовательность состояний, включающая, как минимум, начальное состояние, определяющееся складскими запасами материалов и готовой продукции, а так же конечное состояние, определяющееся результирующим объёмом изготовленной продукции при успешном выполнении плана. Реальный производственный план предприятия содержит также информацию о промежуточных состояниях: для каждого момента времени t известно, сколько изделий каждого номенклатурного типа должно быть изготовлено. Таким образом, производственный план описывает процесс перехода из одного состояния производственной системы в другое. В связи с этим, для описания процесса выполнения плана можно использовать математическую модель динамической системы [2]. Для описания такой системы введем метрическое фазовое

пространство (ФП), или пространство состояний [3], каждая точка которого соответствует состоянию системы в определенный момент времени t :

$$\pi = (\chi, \rho), X^t = (X^1, \dots, X^n) \in \chi, X_i^t \in N, i = \overline{1..n}, \text{ где} \quad (1)$$

где χ – множество элементов фазового пространства π ; X^t – элемент множества χ , определяющий состояние плана в момент времени t ; X_i^t – компоненты элемента $X^t \in \chi$, значениями которых являются численная характеристика объёма изготовленных номенклатурных единиц i -го типа ($i = \overline{1..n}$) из расширенной матрицы главного календарного производственного плана (ГКПП) [3] на момент времени t ; ρ – метрика пространства π , определяющая расстояние между состояниями; n – общее число номенклатурных типов, входящих в план; t – момент времени планового периода.

Введенное таким образом ФП однозначно характеризует состояние производственного плана: каждому моменту времени t соответствует определенная точка ФП. Если компоненты X_i^t являются дискретными величинами, то пространство π является дискретным. Будем называть ПП, определённый в дискретном пространстве состояний, соответственно дискретным.

Дискретный план в фазовом пространстве представляет собой некоторую ломаную траекторию, определяющуюся системой

$$\begin{cases} X_1^t = F_1(t) \\ \dots \\ X_i^t = F_i(t) \end{cases}, \text{ где} \quad (2)$$

$F_i(t)$ – дискретные функции от времени, определяющие значение i -ой компоненты ($i = \overline{1..n}$) точки плана в пространстве состояний (1).

Аналогичным образом может быть введен непрерывное ФП:

$$\tilde{\pi} = (\tilde{\chi}, \tilde{\rho}), \tilde{X}^t = (\tilde{X}^1, \dots, \tilde{X}^n) \in \tilde{\chi}, \tilde{X}_i^t \in R, i = \overline{1..n}. \quad (3)$$

Значение компонент, в данном случае, определяет нецелое число изготовленных деталей. Будем называть ПП, определённый в непрерывном пространстве состояний, соответственно непрерывным.

Для непрерывного плана можно ввести дифференциальное описание ПП в виде системы дифференциальных уравнений (СДУ)

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{X}_1}{dt} = \tilde{f}_1(t) = \tilde{F}_1'(t) \\ \dots \\ \frac{d\tilde{X}_i}{dt} = \tilde{f}_i(t) = \tilde{F}_i'(t) \end{cases}, \text{ где} \quad (4)$$

\tilde{f}_i – функции, определяющие изменение i -ой компоненты плана в ФП.

В отличие от описания плана в виде (2), описание плана в виде (4) показывает, насколько изменяется число номенклатурных единиц во времени.

Начальным условием (НУ) для СДУ является точка M_0 траектории ПП в его фазовом пространстве в начальный момент времени t_0 :

$$t = t_0 : M^0 = (\tilde{X}_1^0, \dots, \tilde{X}_n^0). \quad (5)$$

При возникновении возмущения в процессе выполнения плана будем разделять процесс выполнения ПП на две части. Первая (невозмущенная) часть процесса соответствует интервалу времени $[t_0, t_p]$, от начала планового периода до точки возмущения. Вторая часть, соответствующая возмущенному процессу выполнения ПП, в интервале $[t_p, t_n]$, от точки возмущения до конца планового периода (см. рис. 1).

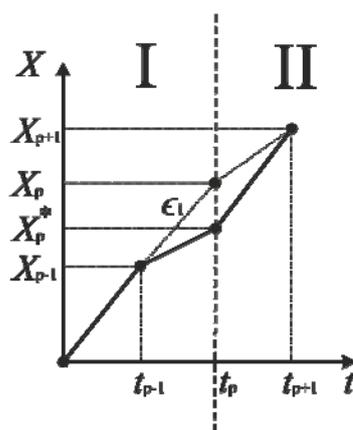


Рис. 1. Разделение процесса выполнения плана после возникновения возмущения

Возмущения любой природы в выполнении плана влекут за собой изменение объемов произведенных изделий. Запишем объем изготовленной продукции после возникновения как

$$t = t_p : M^p = (\tilde{X}_1^p + \tilde{\varepsilon}_1, \dots, \tilde{X}_n^p + \tilde{\varepsilon}_n), \quad (6)$$

где $\tilde{\varepsilon}_i$ – возмущение по i -му номенклатурному типу, разница между запланированным объёмом продукции и реально произведенным.

Точка M^p ФП является начальной точкой (начальным условием) для возмущенного производственного плана.

Определение. Если для плана \tilde{X} , по любому положительному числу ε , как бы мало оно ни было, можно найти такое $\delta(\varepsilon)$, что при всяких возмущениях $\tilde{\varepsilon}_i$, удовлетворяющих условию $\|\tilde{M}^p\| \leq \delta$ и при любом $t \geq t_p$ будет выполняться неравенство $\|\tilde{M}^t\| \leq \varepsilon$, то процесс выполнения плана \tilde{X} является устойчивым (см. рис. 2), в противном случае – неустойчивым.

Теорема (аналог теоремы Ляпунова об устойчивости движения [5]). Если для дифференциального уравнения возмущенного производственного плана можно найти знакоопределенную функцию V , производная которой в силу этих уравнений была бы знакопостоянной функцией противоположного знака, или тождественно равна нулю, то невозмущенный план устойчиво.

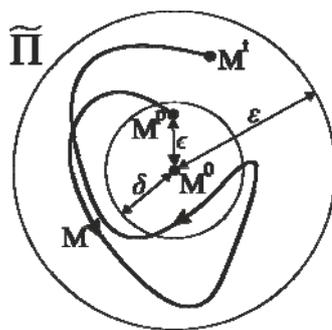


Рис. 2. Траектория выполнения устойчивого ПП

В контексте производства, функция V характеризует структуру предприятия и методы перепланирования производства.

Функцию V предлагается искать в виде

$$V = \frac{1}{2} (\sum a_i Z_i^2), \quad (7)$$

где a_i – коэффициенты, определяющие «производительность предприятия» по i -му номенклатурному типу; Z_i – отклонение между возмущённым и невозмущённым ПП. Тогда, при $a_i \geq 0$ функция V будет удовлетворять условию теоремы.

Предложенная методика была успешно использована для анализа устойчивости процесса выполнения производственного плана, близкого к реальному, использующегося на ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь. В результате были получены численные оценки компонент a_i .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №10-08-00539-а), а также при государственной поддержке развития кооперации вузов и промышленных предприятий (договор с Минобрнауки России №13.G25.31.0093).

Список литературы

1. Елисеев А.С., Федосеев С.А., Гитман М.Б. К вопросу об устойчивости системы контроля качества на предприятии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 2 (34). – С. 34–36.
2. Teschl G. Ordinary Differential Equations and Dynamical Systems. – 2012. – 356 p.
3. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функции и функционального анализа. – 7-е изд. изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 572 с.
4. Вожаков А. В., Гитман М. Б. Комплексное оценивание при выборе оптимального плана производства на тактическом уровне с учетом нечетких критериев и ограничений // Управление большими системами: сборник трудов. – 2010. – №30. – С. 164-179.
5. Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости. М.:Наука, 1967. – 223 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МЕР

Аннотация

Рассмотрена информационная система диагностики качества обработанных поверхностей деталей на оборудовании с ЧПУ с помощью нечетких мер. Приведено численное моделирование, позволяющее оценить эффективность предложенного метода контроля изделий.

Введение

С учетом того, что большая система управления технологическими процессами и производствами, является сложной системой, состоящей из множества компонентов или меньших подсистем, выполняющих свои функции, то проектирование подсистем диагностики оценивающих качество функционирования самой системы является актуальной задачей. При этом для оценки качественных показателей целесообразно использовать нечеткую логику, позволяющую формализовать данный процесс.

Решение задачи диагностики и контроля в режиме реального качества обработанных поверхностей деталей на оборудовании с ЧПУ, позволит своевременно выявлять наличие внешних факторов действующих на технологическую систему станок-приспособление-инструмент-деталь и тем самым снизить процент брака. При этом для обеспечения заданной точности и шероховатости изготавливаемых изделий на оборудовании с ЧПУ предусматривается введение информационных систем диагностирования процесса резания. Однако существующие системы имеют ряд недостатков, а именно использование баз данных, занимающих большой объем памяти, снижает оперативность принятия управляющего решения в случае обнаружения какого-либо дефекта, или отклонения от требуемых поверхностей точности.

Фазификация параметров информационной системы

Необходимо учитывать, что из большого количества качественных характеристик обработанной детали на оборудовании с ЧПУ практическое использование в качестве диагностических признаков имеют шероховатость обработанной поверхности и качество точности, который зависит от размера детали [1]. Как известно из теории резания шероховатость обработанных поверхностей количественно оценивается параметром Ra – среднее арифметическое отклонение профиля. Параметры шероховатости для токарной обработки сведены в табл. 1.

Классы шероховатости поверхности

Классы шероховатости	6	7	8	9	10	11	12
Ra, мкм	2.5-1.25	1.25-0.63	0.63-0.32	0.32-0.16	0.16-0.08	0.08-0.04	0.04-0.02

Как видно из табл. 1, данные представлены в виде диапазон значений, что создает предпосылки для использования аппарата нечеткой логики для формирования информационной системы диагностики качества обработанных поверхностей деталей [2]. Преобразуем, данные указанные в таблице 1 в кусочно-линейную функцию принадлежности (рис. 1).

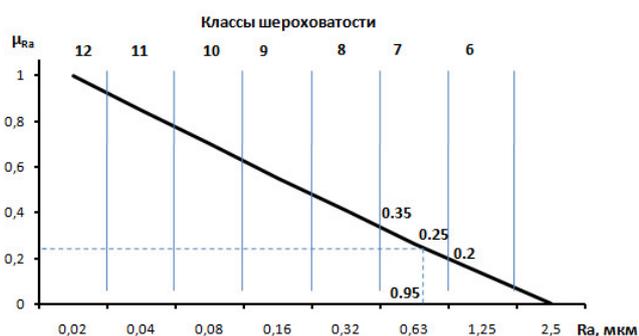


Рис. 1. Функция принадлежности класса шероховатости

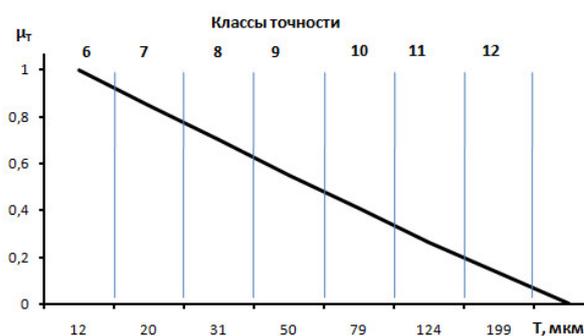


Рис. 2. Функция принадлежности допуска на размер

Квалитет точности (допуск) определяется с учетом формулы

$$T = a0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (1)$$

где a — число единиц допуска [3]; D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала.

С учетом формулы (1) и размера обрабатываемой детали $D=20$ мм, составим таблицу для значений допуска.

Допуск для квалитетов точности при токарной обработке деталей

Квалитет точности	6	7	8	9	10	11	12
T, мкм	12	20	31	50	79	124	199

Преобразуем, данные указанные в таблице 2 в кусочно-линейную функцию принадлежности (рис. 2).

Далее рассмотрим этапы построения информационной системы диагностики качества обработанных поверхностей на основе нечетких мер.

База знаний для информационной системы диагностики.

Для проектирования базы знаний необходимо использовать нечетко-логическую систему вывода с использованием нечеткой меры [4], под которой понимается возможность или невозможность какого-либо события

$$M = \begin{cases} 1, & \text{условие выполняется,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

В качестве условия, как правило, задается логическое условие. Так, для вышеуказанных параметров оценивающих качество обработанных поверхностей детали выражение 2 примет вид

$$\begin{aligned}
 & \text{– для шероховатости: } M_{R_a} = \begin{cases} 1, \mu_{R_{a1}} < \mu_{R_a} < \mu_{R_{a2}}, \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \\
 & \text{– для допуска: } M_T = \begin{cases} 1, \mu_{T1} < \mu_T < \mu_{T2}, \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3}$$

где $\mu_{R_{a1}}, \mu_{R_{a2}}$ – диапазон допустимых значений шероховатости поверхности; μ_{T1}, μ_{T2} – диапазон допустимых значений допуска.

В общем виде решающее правило (РП), на основе которого принимается решение о качестве обработке деталей, запишется

$$RП = \begin{cases} 1, M_1 \wedge M_2 \wedge \dots \wedge M_n \neq 0, \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases} \tag{4}$$

где M_1 – нечеткая мера для анализируемого параметра; n – количество исследуемых параметров.

Для рассматриваемого в работе примера с учетом формулы (4) РП

$$RП = \begin{cases} 1, M_{R_a} \wedge M_T \neq 0, \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \tag{5}$$

Предложенный аппарат позволяет сократить объем памяти необходимый для хранения информации необходимой для диагностики качества обработанных изделий [6]. Ниже рассмотрим численное моделирование позволяющее оценить эффективность предложенного решения.

Численное моделирование процесса принятия решения о качестве обработки

Рассмотрим задачу, в которой необходимо определить соответствует обработанная деталь заданному качеству или нет. Пусть задано, что шероховатость поверхности должна иметь 7 класс точности, при этом допуск должен соответствовать 6 качеству точности.

А. От датчиков системы активного контроля оборудования с ЧПУ [5] поступила следующая информация, шероховатость 0,95 мкм, а допуск 10 мкм.

Решение. С учетом формул 3 рассчитаем значения соответствующих нечетких мер для каждого из анализируемых параметров

$$\text{– для 7 класса шероховатости: } M_{R_a} = \begin{cases} 1, 0.2 < 0.25 < 0.35 = \text{истина} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 1.$$

$$\text{– для 6 класса точности: } M_T = \begin{cases} 1, 0.9 < 0.95 < 1 = \text{истина} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 1.$$

С учетом решающего правила (5) будет сформирован ответ информационной системы

$$RП = \begin{cases} 1, 1 \wedge 1 = 1 \neq 0 \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 1.$$

Следовательно, в случае А, так как $PI=1$, информационная система диагностики качества обработки деталей даст положительный ответ – обработанная деталь соответствует заданной точности.

Б. От датчиков системы активного контроля оборудования с ЧПУ поступила следующая информация, шероховатость 0,95 мкм, а допуск 15 мкм.

Решение. С учетом формул 3 рассчитаем значения соответствующих нечетких мер для каждого из анализируемых параметров

$$\text{– для 7 класса шероховатости: } M_{R_a} = \begin{cases} 1, 0.2 < 0.25 < 0.35 = \text{истина} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 1.$$

$$\text{– для 6 класса точности: } M_T = \begin{cases} 1, 0.9 < 0.85 < 1 = \text{ложь} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 0.$$

С учетом решающего правила (5) будет сформирован ответ информационной системы

$$PI = \begin{cases} 1, 0 \wedge 1 \neq 0 = \text{ложь} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} = 0.$$

Следовательно, в случае Б, так как $PI=0$, информационная система диагностики качества обработки деталей даст отрицательный ответ – обработанная деталь не соответствует заданной точности.

Данная информационная система легко перестраивается для диагностики отличных от рассмотренного примера классов шероховатости и точности. Необходимо, лишь в нечетких мерах формула (3), изменить соответствующие диапазоны значений исследуемых параметров.

Заключение

В статье предложен подход к проектированию информационных систем диагностики качества обработанных поверхностей деталей на основе нечетких мер. Проведенные численное моделирование показывает эффективность предложенных решений.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-277.2012.8 и в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы № Госконтракта 14.740.11.1003.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 /Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
2. Адаптация сложных систем управления с учётом прогнозирования возможных состояний / М.В. Бобырь, Титов В.С., Л.М. Червяков // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5 С. 3–10.
3. Нормирование точности в машиностроении / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 2001. – 335 с.
4. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
5. Система лазерного контроля обработки деталей в реальном времени / М.В. Бобырь, В.С. Титов, Н.А. Милостная // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 11. – С. 21-24.
6. Диагностика оборудования с ЧПУ методами нечеткой логики / М.В. Бобырь // Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. № 1. – С. 18-20.

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ КОАЛИЦИЕЙ ЗАЕМЩИКОВ

Аннотация

В прошлых работах авторов были поставлены задачи формирования Коалиции заёмщиков в условиях неопределённости факторов (процентных ставок на депозиты и кредиты, цен на жильё, динамики прихода новых членов и нештатных выбытий ранее пришедших членов) и предложены некоторые алгоритмы. Настоящая работа продолжает указанные исследования.

Введение

В работах [1-3] предложено формальное описание пошаговой динамики формирования Коалиции, позволяющее проводить необходимые вычислительные эксперименты.

С формальной точки зрения выбор внутренней ставки кредитования (и кредитных выплат) представляет собой поиск оптимального синтеза управления в динамической системе при пошаговом поступлении информации о неопределённых факторах (в данном случае, приходов и выбытий участников Коалиции). Критерием задачи выступает качественный показатель обеспечения самофинансирования Коалиции, т.е. обеспечение в последний момент равенства нулю собственного капитала Коалиции. Поскольку решение сформулированной задачи крайне затруднительно, принят к расчётам приближённый подход, при котором производится генерация конечной серии рациональных стратегий выбора кредитных выплат и последующая статистическая оценка устойчивости Коалиции при различных сценарных реализациях неопределённых факторов.

Характеристики стратегий формирования Коалиции

Для иллюстрации постановок возможных стратегий выбора кредитных выплат приведём пример формирования Коалиции на первых двух шагах. Положим, что все факторы модели, кроме внутренней кредитной ставки и динамики прихода участников заданы.

Первый шаг. В момент времени $t=0$ в Коалицию вступает первый участник. Из условия самофинансирования для системы, состоящей из одного участника, определяется ставка v_1^* (минимальная ставка по внутренним кредитам, при которой удастся добиться самофинансирования). Для одного участника эта ставка будет равна ставке по внешним кредитам $v_1^* = \gamma$.

Второй шаг. В момент времени $t=1$ в Коалицию вступает второй участник. Для Коалиции из двух участников определяется ставка v_2^* и соответствующие кредитные выплаты, при которой Коалиция из двух

участников достигает самофинансирования, произведя перерасчёты с самого начала. Рассмотрим тот случай, когда $v_2^* < v_1^* = \gamma$. Тогда для стратегии всей системы возможны, по крайней мере, два варианта:

Вариант 1: Возможно в реальном расчёте траектории системы установить кредитные выплаты для первого участника, рассчитанные по ставке v_1^* на все его кредитные шаги. А для второго участника рассчитывать кредитные выплаты по ставке v_2^* а всех его кредитных шагах.

Вариант 2. Возможно в реальном расчёте траектории изменить кредитную выплату для первого члена и рассчитать её по ставке v_2^* . И так поступать на каждом шаге, при последующем увеличении числа участников Коалиции.

Исследования, которые проводились в предыдущих работах являлись «апостериорным анализом» с точки зрения собственно организации коалиции, - при заданном числом участников и заданным временем её существования и заданными договорными отношениями между коалицией, как юридическим лицом, и её участниками. В реальных условиях при формировании коалиции в динамике априори неизвестно количество участников и их набор финансовых показателей. Поэтому принципиально важной становится проблема по выбору рациональной стратегии поведения коалиции (которая является независимым юридическим лицом) по формированию очереди заёмщиков и априорного выбора условий объединения, привлекательных для заёмщиков. Назовём анализ формирования коалиции «априорным анализом» и отметим, что этот анализ должен дать оценки гарантии успешного функционирования ссудно-сберегательных касс с пониженной ставкой внутреннего кредита по сравнению с чисто банковской ипотекой.

Основные расчетные соотношения в априорном случае

Переменными модели являются активы, обязательства и собственный капитал коалиции, формируемые из активов и обязательств участников. Предусматривается возможность получения коалицией внешних кредитов и размещения временно свободных средств коалиции на внешних депозитах.

Пусть C_t – цена жилья в момент времени t , а t_k^0 – момент вступления участника k в коалицию. Обозначим через U_k накопительные платежи участника, u_k процентная ставка по внутренним депозитам, d порог накопления. Накопления участника вместе с начисленными процентами

$$G_{k,t+1}^D = (1 + u_k) \cdot G_{k,t}^D + U_k, \quad t = t_k^0, t_k^0 + 1, \dots, \quad G_{k,t_k^0}^D = U_k.$$

Момент времени, когда участник получает кредит

$$t_k^1 = \min(t : G_{k,t}^D \geq d \cdot C_t).$$

Кредитный платеж участника k в момент времени t обозначается как $V_{k,t}(v)$, где v соответствующая процентная ставка, по которой участник получает кредит. Задолженность участника по кредиту

$$G_{k,t+1}^C(v) = (1 + v) \cdot G_{k,t}^C(v) - V_{k,t+1}(v), \quad t = t_k^1, t_k^1 + 1, \dots,$$

$$G_{k,t_k^1}^C(v) = C_{t_k^1} - G_{k,t_k^1}^D.$$

Момент полного погашения участником задолженности по кредиту

$$t_k^2(v) = \min\{t : G_{k,t}^C(v) \leq 0\}.$$

Последний участник коалиции полностью погасит кредит в момент времени $T(\tau, v) = \max_{k \in K_\tau} t_k^2(v)$.

Поток накопительных платежей участника

$$P_{k,t}^D = 0, \quad t = 0, \dots, t_k^0 - 1, \quad P_{k,t}^D = U_k, \quad t = t_k^0, \dots, t_k^1, \quad P_{k,t}^D = 0, \quad t = t_k^1 + 1, t_k^1 + 2, \dots$$

Поток кредитных платежей участника

$$P_{k,t}^C(v) = 0, \quad t = 0, \dots, t_k^1, \quad P_{k,t}^C(v) = V_{k,t}(v), \quad t = t_k^1 + 1, \dots, t_k^2(v), \quad P_{k,t}^C(v) = 0, \\ t = t_k^2(v) + 1, t_k^2(v) + 2, \dots$$

Поток изъятий участником накопленных на депозите денежных средств

$$R_{k,t}^D = 0, \quad t = 0, \dots, t_k^1 - 1, \quad R_{k,t}^D = G_{k,t}^D, \quad t = t_k^1, \quad R_{k,t}^D = 0, \quad t = t_k^1 + 1, t_k^1 + 2.$$

Поток выданных кредитов

$$R_{k,t}^C = 0, \quad t = 0, \dots, t_k^1 - 1, \quad R_{k,t}^C = C_t - G_{k,t}^D, \quad t = t_k^1, \quad R_{k,t}^C = 0, \quad t = t_k^1 + 1, t_k^1 + 2.$$

В априорном случае процентная ставка по внутренним кредитам для каждого участника рассчитывается в момент получения им кредита и далее не меняется. Процесс вычислений пошаговый.

Момент времени, когда последний участник коалиции получает кредит $T^1 = \max_k t_k^1$. На каждом шаге τ , $\tau = 0, \dots, T^1$ определяется множество участников K_τ , которые вступили в коалицию. Это множество состоит из участников K'_τ , которые получили кредит в более ранние моменты времени чем τ , и участников K''_τ , которые уже вступили в коалицию и получают кредиты в момент времени τ или в более поздние моменты времени. Суммарные потоки денежных средств по приходным и расходным операциям коалиции с участниками в момент времени t на шаге τ

$$P_t(\tau, v) = \sum_{k \in K'_\tau} P_{k,t}^D + \sum_{k \in K'_\tau} P_{k,t}^C(v_k^*) + \sum_{k \in K''_\tau} P_{k,t}^C(v),$$

$$R_t(\tau) = \sum_{k \in K_\tau} R_{k,t}^D + \sum_{k \in K_\tau} R_{k,t}^C.$$

Процентные ставки по внешним вложениям и заимствованиям коалиции обозначаются, как ζ и γ , соответственно. Баланс денежных средств коалиции

$$G_{t+1}(\tau, v) = (1 + \lambda_t(\tau, v)) \cdot G_t(\tau, v) + P_{t+1}(\tau, v) - R_{t+1}(\tau), \quad t = 0, \dots, T(\tau, v) - 1,$$

$$G_0(\tau, v) = P_0(\tau, v) - R_0(\tau),$$

где $T(\tau, v) = \max_{k \in K_\tau} t_k^2(v)$, а $\lambda_t(\tau, v) = \zeta$, если $G_t(\tau, v) \geq 0$ и $\lambda_t(\tau, v) = \gamma$, если $G_t(\tau, v) < 0$.

Процентная ставка по внутренним кредитам рассчитывается следующим образом

$$v(\tau) = \min\{v : G_{T(\tau, v)}(\tau, v) \geq 0\}, \quad \tau = 0, \dots, T^1, \quad v_k^* = v(t_k^1).$$

Вычислительные эксперименты

Считается, что коалиция организуется по принципу очереди, т.е. в каждый момент времени вступает ровно один участник. Задаются следующие основные параметры: количество участников 61, цена недвижимости 80 000 единиц, накопительные и кредитные платежи участников 1 600 единиц, процентная ставка по внутренним депозитам и внешним вложениям 4%, порог накопления 0.5, процентная ставка по внешним заимствованиям 10%. Зависимость процентной ставки по внутренним кредитам от времени рассчитывается в двух случаях. В первом случае, при последовательном формировании очереди и пересчетах кредитной ставки для текущего состава коалиции (апостериорная стратегия) на интервале от начального момента времени, когда в коалицию вступает первый участник и до момента времени, когда в коалицию вступает последний участник. Во втором априорном случае для гарантирующей стратегии, на интервале от начального момента времени и до момента времени, когда в коалиции выдается последний кредит. Результаты расчетов представим в графическом виде.

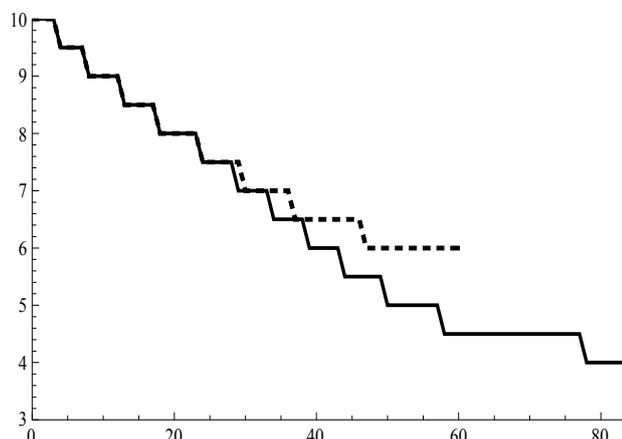


Рис. 1. Графики зависимостей процентной ставки по внутренним кредитам от времени в апостериорном случае (штрихпунктирная линия) и в априорном случае для гарантирующей стратегии (сплошная линия)

Список литературы

1. Сытов А.Н. Имитационные эксперименты с общей финансовой моделью жилищной коалиции / Материалы Второй международной конференции “Управление развитием крупномасштабных систем”. М.: ИПУ РАН, 2008.
2. Ерешко Арт.Ф. О проблеме генерации сценариев при выборе стратегий в задаче организации коалиции заемщиков / Материалы Третьей международной конференции “Управление развитием крупномасштабных систем”. М.: ИПУ РАН, 2009.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕГИОНОМ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Аннотация

В статье рассматривается один из подходов к решению проблемы интеграции пространственной информации из разнородных источников, для обеспечения информационной поддержки принятия решений по управлению регионом.

Введение

В процессе принятия решений по управлению регионом осуществляется обработка больших массивов разрозненной и разнородной информации. Так как все объекты управления распределены территориально, то одним из основных видов информации необходимой для обеспечения процесса принятия решений является пространственная информация.

Анализ деятельности органов государственного управления, различных ведомств и предприятий показал, что все они в той или иной степени, используют в процессе своей деятельности пространственные данные (как в бумажном, так и в цифровом виде).

Основными типами пространственной информации, обеспечивающими информационную поддержку принятия решений по управлению регионом, являются топографические карты территории региона различных масштабов, трехмерные модели местности и различных объектов, космические снимки, планы объектов, ортофотопланы и цифровые модели рельефа местности (рис.1).

Для обеспечения информационной поддержки принятия решений по управлению регионом необходимо решить проблему интеграции пространственной информации из всех имеющихся источников пространственной информации.

Широкие возможности для решения данной проблемы предоставляют современные ГИС – технологии и сервис-ориентированная архитектура.

Интеграция пространственной информации с использованием ГИС-технологий и сервис-ориентированной архитектуры

На сегодняшний день ГИС-технологии нашли широкое применение в различных областях и сферах деятельности человека, в том числе в сфере государственного управления территориями, с целью обеспечения информационной поддержки принятия решений. В различных субъектах

Российской Федерации ведутся работы по созданию Геоинформационных систем органов государственного управления, призванных обеспечить поддержку принятия решений по управлению субъектом с использованием пространственной информации [1,2].

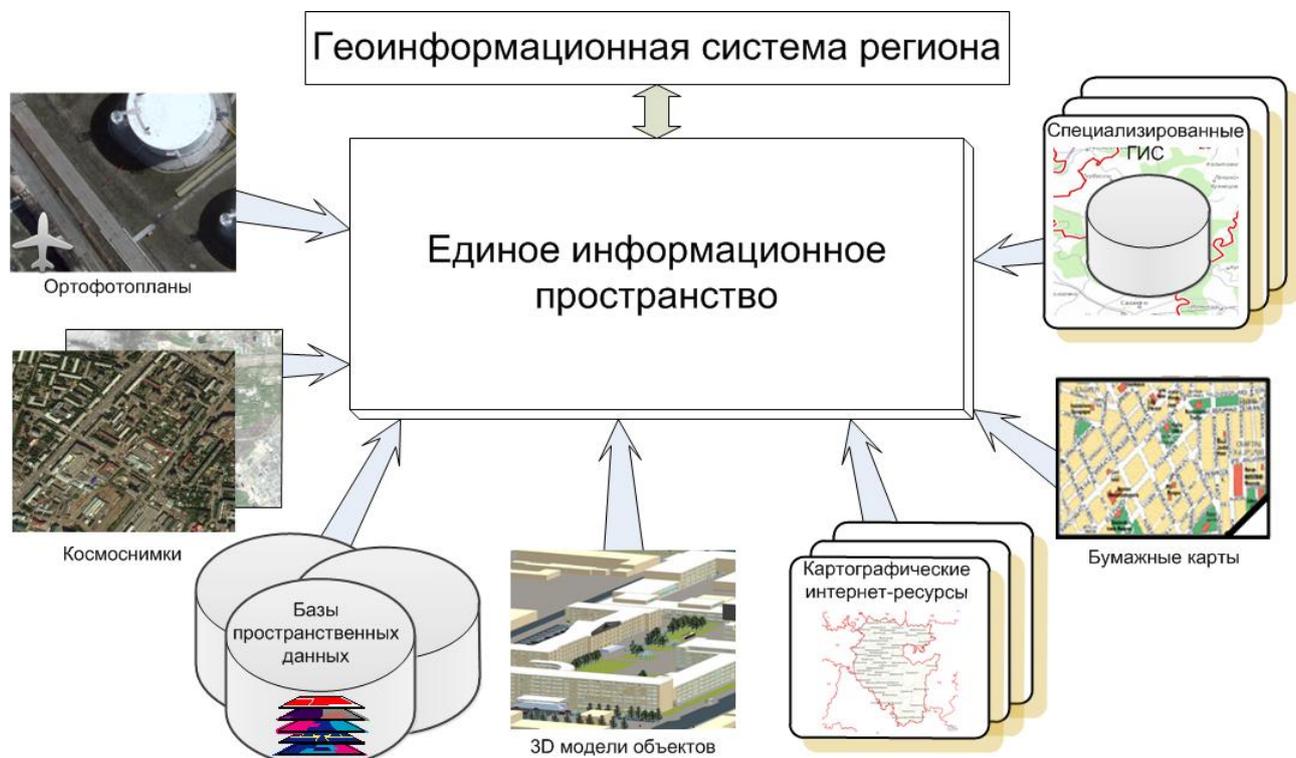


Рис. 1. Единое информационное пространство ГИС региона

Основной целью разработки такого рода систем является создание информационной системы многопользовательского использования пространственной информации, которая с одной стороны осуществляла бы интеграцию в единую систему всех пространственных данных региона, а с другой стороны, позволяла бы организовать доступ всех заинтересованных пользователей к этим пространственным данным.

В рамках информационной поддержки принятия решений ГИС органов государственного управления обеспечивают:

- поиск и предоставление пользователям всей имеющейся информации в виде, удобном для анализа и использования;
- тематический анализ данных по направлениям деятельности органов государственного управления региона;
- моделирование и прогнозирование процессов и явлений, происходящих на территории региона.

Помимо информационного обеспечения формирования и принятия управленческих решений рассматриваемая система призвана осуществлять:

- централизованное хранение и управление всеми базовыми пространственными информационными ресурсами о территории региона;
- совместное использование пространственных информационных ресурсов;

- организацию распределенной системы сбора, хранения и обработки специализированной пространственной информации, в том числе с использованием облачных моделей вычислений;

- обеспечение на основе специализированных (тематических) пространственных информационных ресурсов группы государственных услуг, предоставляемых органам местного самоуправления, организациям и гражданам;

- обеспечение целостности, непротиворечивости, защищенности и безопасности пространственных информационных ресурсов.

Как следует из основных функций системы, существует три вида пространственной информации, интеграция которых должна быть организована в геоинформационной системе:

- базовая пространственная информация о территории региона;

- специализированная пространственная информация, расположенная в собственных (специализированных) геоинформационных системах органов государственного управления;

- специализированная пространственная информация, создаваемая средствами системы и хранимая непосредственно в ее хранилище.

Для осуществления интеграции всех вышеперечисленных видов пространственной информации предлагается использовать технологию на базе сервис-ориентированной архитектуры [3,4], что позволит обеспечить интеграцию пространственной информации из различных неоднородных источников в единую информационную систему, а также обеспечит обработку этой информации единым унифицированным способом – посредством сервисов геообработки и веб-сервисов. Схема взаимодействия сервисов представлена на рисунке 2.

В соответствии с предложенной технологией интеграции, может быть разработана сервис-ориентированная архитектура геоинформационной системы органов государственного управления регионом, которая позволит интегрировать все три вида пространственной информации в единую геоинформационную систему. В результате пользователям будет предоставлена возможность решения широкого круга задач по использованию пространственных данных. Первый класс задач - информационно-справочные задачи, которые позволяют осуществлять стандартные функции управления электронной картой, навигацию и поиск, отображение характеристик объекта или группы объектов карты, а также построение сложных запросов по нескольким характеристикам. Второй класс составляют функциональные задачи специалистов органов государственного управления: моделирование природных и техногенных процессов и явлений, построение маршрутов, оптимизация расположения специализированных объектов, построение различных видов аналитической отчетности и др.

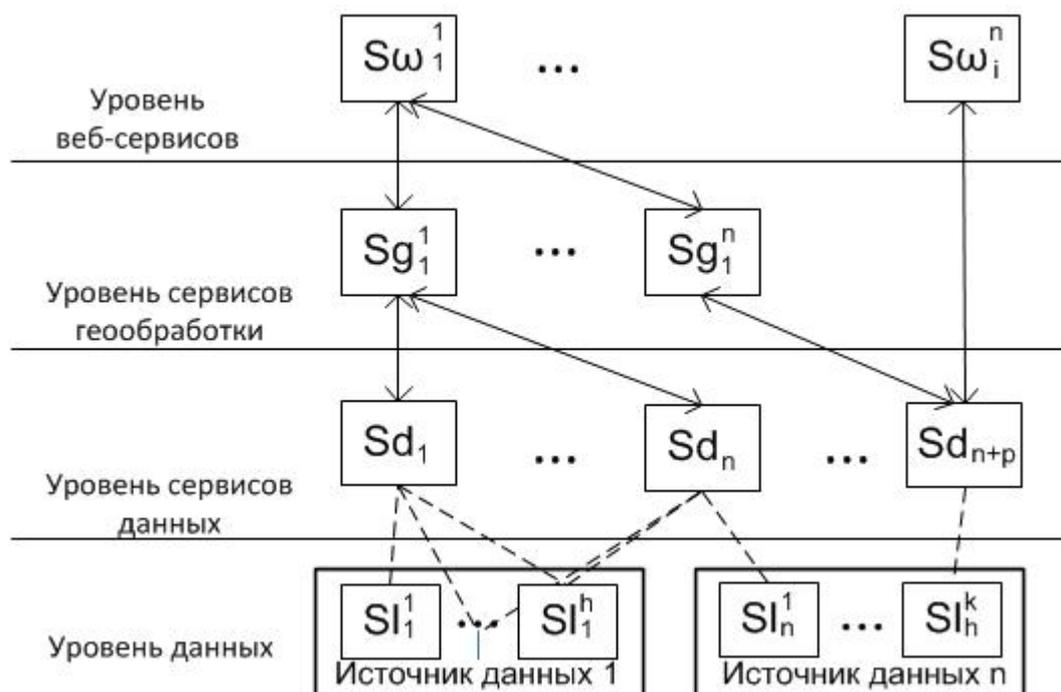


Рис. 2. Схема взаимодействия сервисов

Заключение

Предложенный подход к решению проблемы интеграции пространственной информации из разнородных источников, для обеспечения информационной поддержки принятия решений по управлению регионом позволит обеспечить интеграцию и совместное использование базовых и специализированных пространственных данных, полученных из различных источников и переход на более качественный уровень выполнения повседневных функций за счет автоматизации процесса и наглядного представления картографического материала.

Список литературы

1. Ефремова О.А., Павлов А.С., Павлов С.В. Учебное пособие для бакалавров и магистров, направления 230400 «Информационные системы и технологии» Многопользовательская обработка пространственной информации в региональной инфраструктуре пространственных данных/ Уфа: УГАТУ, 2011. – 117с.
2. Ефремова О.А., Бахтизин Р.Н., Павлов С.В., Павлов А.С. Архитектура геоинформационной системы Республики Башкортостан, Межвузовский научный сборник: Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем/ Уфа: УГАТУ, 2011. С. 66–73.
3. Фаумер М., Архитектура корпоративных программных приложений: Пер. с англ./ М: Вильямс, 2006. – 554с.
4. Geospatial Service, Oriented Architecture (SOA)/ An ESRI white Paper, June 2007.P.78.

УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫМИ АЛГОРИТМАМИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ГТД ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Рассматривается один из подходов к построению нечеткой экспертной системы для решения задач диагностики и контроля проточной части авиационных двигателей. Разработана инженерная методика, которая может быть применена на этапах испытаний и доводки авиационных двигателей.

Введение

Безопасность функционирования сложных технических объектов (СТО), например, авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) требует непрерывного мониторинга их параметров. Создание ГТД V-VI поколения требует непрерывного совершенствования диагностируемой и контролируемой аппаратуры, обусловленного увеличением числа контролируемых параметров, усложнением конструкции, ростом числа датчиков и исполнительных механизмов. В этих условиях наиболее актуальной проблемой является разработка и внедрение интеллектуальных технологий – активных экспертных систем (ЭС) [1, 3], способных качественно и эффективно решать поставленные задачи (на уровне специалиста – эксперта). Это особенно важно сейчас, так как своевременное обнаружение и локализация отказов позволит исключить многочисленные аварийные и катастрофические ситуации, участвовавшие в последнее время.

В данной работе авторы предлагают реализацию баз знаний прецедентов для системы поддержки принятия решений на основе моделей рекуррентных нейронных сетей для комплексного контроля и диагностики технического состояния гидромеханического автомата разгона авиационного ГТД.

Постановка задачи

Пусть множество прецедентов $r_i \in R, i = \overline{1, N}$; расположено в некотором n – мерном пространстве, где каждый прецедент представлен своим вектором $\alpha_j = (\alpha_{j_1}, \dots, \alpha_{j_n}), j = \overline{1, n}$; а вся совокупность матрицей $S(N, n)$. Пусть прецеденты образуют в данном пространстве некоторое число L – компактных областей $R_k, k = \overline{1, L}$ (классы). Задачей анализа является выделение локальных областей: классов прецедентов, т.е. их классификация на базе рекуррентных НС, реализующих минимизацию функционала:

$$A(z_1, \dots, z_L) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^L \sum_{\alpha \in r_j} \|\alpha - \bar{z}_j\|^2 \rightarrow \min;$$

$$\bar{z}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\alpha \in r_j} \alpha;$$

где L – число классов R_j ; \bar{z}_j – среднее значение множества (центр кластера); N_j – число прецедентов в множестве r_j .

Математическая модель автомата разгона ГТД

ГТД, как сложный технический объект, характеризуется сложными физическими процессами, протекающими в нем и его подсистемах. Процессы запуска и разгона авиационных двигателей являются определяющими режимами его эксплуатации. Специальные регуляторы – временные автоматы приемистости (автоматы разгона) обеспечивают им нормальную приемистость – способность ГТД к изменению режима работы (переход двигателя с режима минимальной на режим максимальной тяги и наоборот). Выход временного автомата приемистости ГТД из строя может привести к аварийным и катастрофическим ситуациям. Поэтому своевременное обнаружение и локализация отказов позволяют системам поддержки и принятия решений парировать аварийные и нештатные ситуации в процессе его эксплуатации.

Целью решаемой ниже задачи является исследование алгоритмов построения нейросетевого классификатора, осуществляющего распознавание неисправного состояния (дефекта) в ГТД и его регуляторе с точностью до узла, а также разработка соответствующей инженерной методики для реализации этих задач.

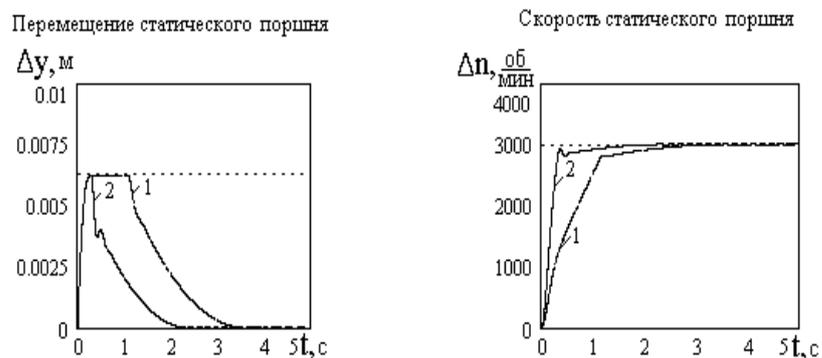


Рис. 1. Влияние дефекта изменение площади астатического поршня дозирующей иглы на характеристики автомата разгона (1 – исправное состояние; 2 – наличие дефекта)

В качестве основы построения систем диагностики ГТД целесообразно использовать *FDI* метод. Рассмотрим особенности применения данного метода при решении задач диагностики авиационного двигателя и его регулятора с использованием нейросетевых алгоритмов. Реализация *FDI* метода в нейросетевом базисе сводится к следующей последовательности шагов:

- хранение эталонных характеристик индивидуального (среднестатистического) ГТД в виде “информационного портрета” на базе сети НС1;

- сравнение параметров отдельно взятого ГТД с данными, рассчитанными с помощью НС1;

- на основании анализа вектора полученных «невязок» (отклонений) между значениями вектора измеренных параметров конкретного двигателя и вектора данных, рассчитанных с помощью НС1, принимается решение о техническом состоянии ГТД (на этом этапе используется нейронная сеть НС2).

Для решения задачи диагностики в нейросетевом базисе используется обучающая выборка, которая формируется в два этапа. На первом этапе решается “прямая” задача, которая связана с созданием банка данных дефектов. С этой целью на математической модели, описывающей индивидуальный ГТД, имитируются проявления дефектов, связанных с изменением, например, КПД компрессора, КПД турбины и др., а также дефектов его регулятора, описанных выше. На втором этапе вычисляются отклонения (невязки), вызванные тем или иным дефектом ГТД и его регулятором от его эталонного состояния: $\Delta Y = Y^{\text{ЭТ}} - Y^M$. Согласно данным о невязках ΔY_i формируется обучающая выборка, которая в общем виде может быть представлена: $\Delta Y_i \rightarrow R (i = 1, 2, \dots, n)$.

В качестве диагностических признаков (входов НС2) используется информация по 8 параметрам двигателя и регулятора на режиме разгона – отклонения четырех параметров регулятора: S – перемещения поршня (м); V – скорости поршня (м/с); D – ширины щели клапана (м); L – длины щели клапана (м) и четырех параметров ГТД: ΔN_1 – частоты вращения ротора турбокомпрессора низкого давления (об/мин); ΔP_2^* – давления воздуха за компрессором (Па); ΔP_3^* – давление газа перед турбиной (Па); ΔT_3^* – температуры газа перед турбиной (К).

Как показали результаты исследований, в качестве архитектуры НС2, реализующей функции классификатора состояний ГТД, целесообразно выбрать рекуррентную 3 слойную сеть типа персептрон. Количество нейронов входного слоя при этом равно $n = 8$ (по числу измеряемых параметров двигателя и его регулятора), количество нейронов выходного слоя выбирается равным $m = 3$ (по числу компонент вектора R). Учитывая, что входной вектор $y(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)\}$ для НС при решении задачи распознавания режимов ГТД соответствует набору признаков, а выходной вектор $\bar{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \xi_3\}$, заданный бинарно, классу состояний.

Основными вопросами, требующими своего решения, после выбора архитектуры НС являются: определение ширины «окна» L ; выбор вида функции активации нейронов; поиск оптимального количества нейронов в скрытом слое; выбор алгоритма обучения. Известно, что эталонные значения выходов НС принимают значения 0 или 1, а фактические сигналы на выходе НС (в силу инерционности процесса перемещения временного «окна») могут принимать непрерывные значения в интервале $[0; 1]$. Поэтому необходимо округлять вычисленные значения ξ_1 , ξ_2 и ξ_3 до ближайшего целого числа:

$$\xi_i = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi_i \leq 0,5; \\ 1, & \text{если } \xi_i \geq 0,5 (i = 1, 2, 3) \end{cases} \quad (1)$$

При этом могут иметь место ошибки I и II рода, т.е. отнесение состояния исправного ГТД и регулятора к классу неисправных состояний и наоборот.

Для определения достоверности классификации технического состояния авиационного двигателя и регулятора можно воспользоваться следующей формулой (2), где $K_{\text{ОШ}}$ – коэффициент ошибочной классификации:

$$K_{\text{ОШ}} = \frac{T_{\text{ОШ}}}{T_o} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $T_{\text{ОШ}}$ – суммарное количество состояний ГТД и регулятора, соответствующих ошибочной классификации; T_o – величина тестовой выборки (в нашем случае 534 значения).

В таблицах 1 и 2 приведены результаты сравнительного анализа ошибок классификации технического состояния ГТД и регулятора для различных классов архитектур НС, а также классического метода наименьших квадратов (МНК).

Таблица 1

Распознавание дефектов регулятора авиационного ГТД

Метод	Ошибка распознавания на выходе			Ошибка I рода	Ошибка II рода
	ξ_1 (%)	ξ_2 (%)	ξ_3 (%)		
МНК	5,7	5,2	4,88	0,057	0,052
НС Элмана	4	3,5	3,6	0,04	0,035
Временная НС	0,6	0,4	0,5	0,006	0,004
Рекуррентная НС	0,6	0,4	0,4	0,006	0,004

Таблица 2

Распознавание дефектов авиационного ГТД

Метод	Ошибка распознавания на выходе			Ошибка I рода	Ошибка II рода
	ξ_1 (%)	ξ_2 (%)	ξ_3 (%)		
МНК	1,35	1,7	1,45	0,013	0,017
НС Элмана	0,74	0,9	0,84	0,007	0,009
Временная НС	0,6	0,8	0,74	0,006	0,008
Рекуррентная НС	0,2	0,2	0,17	0,002	0,002

Результаты научных исследований поддержаны грантами РФФИ: №11-08-00871-а; 12-08-01014-а.

Список литературы

1. Васильев С.Н., Васильев В.И., Валеев С.С. и др. Интеллектуальные системы управления и контроля газотурбинных двигателей // М.: Машиностроение, 2008. – 550с.
2. Жернаков С.В., Кобылев С.В. Контроль и диагностика комплексных отказов САУ ГТД с использованием рекуррентных нейронных сетей // Нейрокомпьютер: разработка, применение. – М.: Радиотехника, №10, 2011. – С.28-45.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Аннотация

Рассматриваются нейросетевые алгоритмы контроля и диагностики технического состояния масляной системы авиационного газотурбинного двигателя. Формализуется задача комплексной оценки теплового состояния роторных подшипников ГТД в нейросетевом базисе.

Идентификация математической модели масляной системы ГТД

Рассмотрим постановку задачи идентификации характеристик ГТД на установившихся режимах работы. На этих режимах двигатель описывается уравнениями вида:

$$\begin{aligned} X &= f_1(A, U), \\ Y &= f_2(A, X), \end{aligned} \quad (1)$$

где X , Y , U и A – векторы переменных состояния, выходов (измеряемых термогазодинамических параметров) ГТД, неизвестных параметров и управляющих воздействий модели, размерности r , n , m и k соответственно; f_1 и f_2 – некоторые нелинейные вектор-функции.

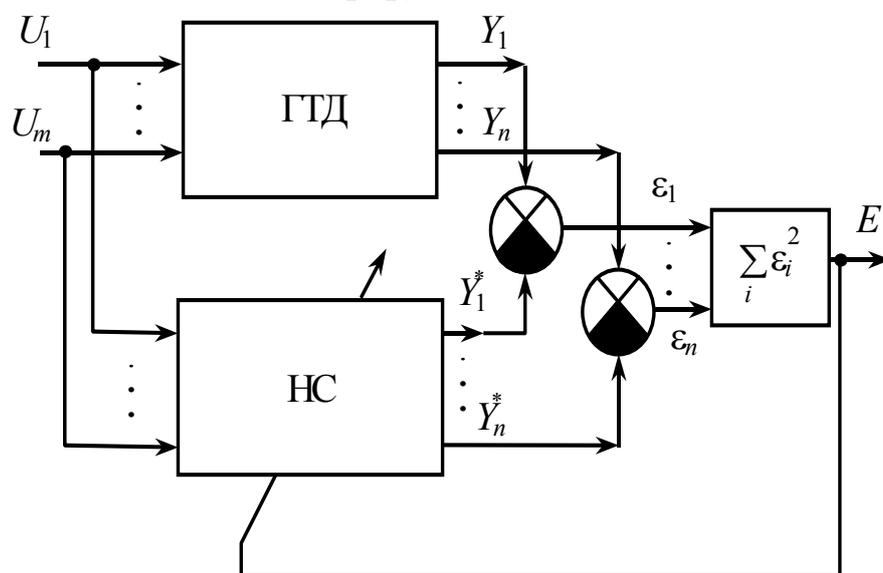


Рис. 1. Схема обучения нейросетевого идентификатора

Здесь $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ – отклонения между измеренными параметрами двигателя и его масляной системой Y_1, Y_2, \dots, Y_r и параметрами $Y_1^*, Y_2^*, \dots, Y_n^*$,

рассчитанными с использованием НС при одних и тех же управляющих воздействиях U_1, \dots, U_m ; E – суммарная квадратичная ошибка обучения НС.

Задача идентификации заключается в нахождении такой зависимости [1–3]:

$$Y^* = f^*(A, U), \quad (2)$$

которая бы удовлетворяла условию $\|Y - Y^*\| \leq \varepsilon$ на заданном множестве значений $X \in \Gamma_x, Y \in \Gamma_y, U \in \Gamma_u$, где $\Gamma_x, \Gamma_y, \Gamma_u$ определяются режимами работы ГТД; ε – допустимая погрешность. Процедура идентификации ГТД с помощью НС показана на рис.1. Решение задачи идентификации масляной системы ГТД сводится к обучению нейронной сети, которое заключается в настройке ее весов исходя из условия (3).

$$E = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i^*)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Анализ данных. В качестве исходных данных воспользуемся результатами эксплуатации ГТД АЛ 31СТ, используемой в качестве наземной энергоустановки. Эти данные записаны применительно к стандартным атмосферным условиям. Полная обучающая выборка содержит 8000 строк, соответствующих, различным режимам эксплуатации авиационного двигателя.

Предобработка данных. Важным вопросом, решаемым на этапе предварительной обработки измеренных данных, является оценка однородности обучающей и тестовой выборок. Для этого воспользуемся критерием хи – квадрат Фишера – Пирсона с $r-k-1$ степенями свободы:

$$X^2 = \min_{\theta} \sum_{i=1}^r \frac{[m_i - np_i(\theta)]^2}{np_i(\theta)} \quad (4)$$

здесь θ – оценка наибольшего правдоподобия, найденная по частотам m_1, \dots, m_r ; n – количество элементов в выборке; $p_i(\theta)$ – вероятности элементарных исходов с точностью до некоторого неопределенного k -мерного параметра θ .

Указанная статистика X^2 позволяет при заданных выше предположениях, проверить гипотезу о представимости выборочных дисперсий и ковариаций факторов, содержащихся в статистической модели. Область принятия гипотезы есть $X^2 \leq \chi_{n-m; \alpha}$, где α – уровень значимости критерия. Вычисляя значение хи – квадрат по наблюдаемым частотам m_1, \dots, m_r (суммируя по строчно вероятности исходов каждой измеренной величины) и сравнивая его с критическими значениями распределения хи – квадрат с числом степеней свободы $r-k-1$. В нашем случае при числе степеней свободы 13 и $\alpha=0,05$ случайная величина хи – квадрат 3,644 не превысила критического значения из таблицы 22,362; а это означает, что гипотеза о нормальном законе распределения может быть принята и выборки однородны.

Выбор архитектуры НС. Для решения задачи идентификации ГТД в нейросетевом базисе в качестве основных архитектур были выбраны персептрон, модульная нейронная сеть и сеть на радиально – базисных функциях (НС РБФ). Целесообразность применения этих архитектур НС

обоснована многочисленными экспериментальными исследованиями, проведенными в процессе решения задачи идентификации модели масляной системы ГТД.

Выбор структуры НС. Модель нейронной сети персептрон построена с учетом анализа статистики экспериментальных данных: на вход сети поступают 5 параметров измерений проточной части ГТД, а на выходе – 8 параметров масляной системы. В качестве активационных функций нейронов для персептрона использовались сигмоидные функции. Оптимальной структурой НС является: для персептрона – структура 5 – 15 – 8, (т.е. 5 нейронов – во входном слое; 15 нейронов – в скрытом слое и 8 нейрон – в выходном слое НС); для НС РБФ: 5 – 25 – 8, (т.е. 5 нейрон во входном слое; 25 нейронов в радиальном (скрытом) слое и 8 нейронов – в выходном слое).

Выбор алгоритмов обучения. Анализ полученных результатов показал, что наиболее приемлемым является использование квази-ньютоновского алгоритма, который обеспечивает высокую скорость сходимости и точность процесса обучения НС.

Оценка эффективности результатов идентификации. В результате сравнительного анализа точности нейросетевых (персептрон, РБФ, модульная нейронная сеть) и классических методов: наименьших квадратов (МНК) и группового учета аргумента (МГУА) идентификации масляной системы ГТД по 8 параметрам масла (табл.1) было установлено, что максимальная погрешность идентификации при использовании НС персептрон в 2,2 раза T_{1002} меньше, чем для полиномиальной регрессионной модели 12-го порядка, построенной с помощью МНК и в 1,4 раза меньше, чем МГУА, а модульной НС и для РБФ меньше соответственно в 1,2 и в 1,45 раза. При этом персептрон обеспечивает погрешность идентификации, не превышающую 0,6%; модульная НС - 0,75%; НС РБФ и МГУА – 0,8; МНК – 0,95%.

Таблица 1

Результаты идентификации параметров масляной системы ГТД

Методы вычислений	Параметры масляной системы ГТД							
	d_{T_4}	T_{606}	T_{607}	$d_{T_{606}}$	T_{1002}	T_{1003}	T_m	P_m
МНК	0,945	0,350	0,278	0,459	0,281	0,288	0,229	0,176
МГУА	0,832	0,235	0,316	0,391	0,182	0,199	0,223	0,144
НС РБФ	0,814	0,245	0,265	0,352	0,189	0,165	0,196	0,148
Модульная НС	0,747	0,228	0,246	0,344	0,153	0,168	0,218	0,134
НС персептрон	0,574	0,222	0,251	0,327	0,130	0,152	0,196	0,126

С целью анализа устойчивости нейронных сетей к изменению входных данных (табл.1) к ним добавлялась аддитивная помеха по отношению к текущему значению каждого из параметров в виде белого шума с нулевым математическим ожиданием и $\sigma_i = 0,01$ (табл.2).

Результаты анализа точности идентификации для 8 параметров масла ГТД в условиях действия шума показали следующие результаты: НС персептрон - 0,76%; модульная НС - 0,87%; НС РБФ – 1,32%; МГУА – 0,93%; МНК – 7,41%.

Результаты идентификации параметров масляной системы ГТД в условиях помехи ($M=0$; $\sigma=\pm 0,01$)

Методы вычислений	Параметры масляной системы ГТД							
	d_{T_4}	T_{606}	T_{607}	$d_{T_{606}}$	T_{1002}	T_{1003}	T_m	P_m
МНК	7,413	2,248	2,621	3,573	2,188	1,833	1,894	1,675
МГУА	0,932	0,355	0,529	0,664	0,472	0,375	0,467	0,668
НС РБФ	1,037	1,142	1,157	1,126	1,221	1,321	1,236	1,212
Модульная НС	0,872	0,343	0,362	0,395	0,210	0,210	0,263	0,358
НС персептрон	0,755	0,285	0,315	0,352	0,189	0,175	0,227	0,262

Выводы

Подводя итоги вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

1. В процессе решения задачи идентификации ММ масляной системы ГТД на основе НС было установлено, что нейронные сети решают задачу идентификации точнее классических методов: погрешность идентификации на выходе НС типа персептрон в 1,4 раза меньше, чем у регрессионной модели, полученной с помощью МНК для рассмотренного диапазона изменения режимов работы двигателя.

2. Погрешность идентификации масляной системы модели ГТД с помощью персептрона не превысила 0,6%; для модульной НС - 0,75%; для НС РБФ и МГУА – 0,8%, в то время как для классического метода (МНК) она составляет около 0,95% в рассмотренном диапазоне изменения режимов работы ГТД.

3. Нейросетевые методы более робастны к внешним возмущениям: для уровня шума $\sigma = 0,01$ погрешность идентификации ГТД при использовании персептрона возросла с 0,6 до 0,769%; для модульной НС с 0,75 до 0,87%; для НС РБФ с 0,8 до 1%, а для метода наименьших квадратов – с 0,95 до 7,4%.

4. Приведенные примеры показывают эффективность (или, по крайней мере, перспективность) решения перечисленных выше задач с помощью НС.

Результаты научных исследований поддержаны грантами РФФИ: №11-08-00871-а; 12-08-01014-а.

Список литературы

1. Жернаков С.В. Идентификация характеристик ГТД на основе технологии нейронных сетей // Информационные технологии. №3, 2010. С.39 – 47.

2. Жернаков С.В., Равилов Р.Ф. Идентификация характеристик газотурбинного двигателя и его масляной системы на основе технологии нейронных сетей // Интеллектуальные системы в производстве. т.17, №1, 2011. С.91 – 104.

3. Жернаков С.В., Равилов Р.Ф. Идентификация обратной многорежимной модели ГТД по параметрам его масляной системы на основе технологии нейронных сетей // Вестник ИжГТУ. т.51, №3, 2011. С.126 – 129.

ЛОГИКА РАБОТЫ АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Аннотация

Рассматривается интеллектуальная система управления группировкой космических аппаратов, разработанная на основе мультиагентных технологий и онтологий. Приводится описание логики работы отдельных агентов.

Введение

Космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначены для наблюдения за объектами и процессами, происходящими на поверхности Земли и в околоземном пространстве. С развитием технологии ДЗЗ наметился переход от одиночных космических аппаратов (КА) к их группировкам. Такой переход невозможен без решения задачи управления коллективами подвижных объектов. В целях решения этой задачи была разработана интеллектуальная система коллективного управления группировкой спутников, построенная на основе применения баз знаний и мультиагентных технологий [1].

Модель предметной области задачи ДЗЗ

В разработанной системе базовыми являются три класса сущностей: «*Sat*» (спутник), «*TargetOnEarth*» (цель на Земле), «*ControlCenter*» (центр обработки данных – ЦОД).

Спутник представляет собой малоразмерный космический аппарат, обладающий определенными параметрами орбиты и возможностями аппаратуры, позволяющими ему производить распознавание наземных объектов в различных спектрах исследования. Целью является область на поверхности Земли, которую необходимо исследовать с помощью имеющейся группировки спутников. Задача исследования сводится к установлению соответствия между заданным в онтологии описанием искомого объекта и данными, полученными при распознавании цели. К атрибутам цели относятся ее расположение, приоритет и временной интервал, в рамках которого исследование будет актуальным. Центры обработки данных характеризуются только расположением.

Для реализации мультиагентной системы каждой сущности ставится в соответствие один или несколько агентов, действующих от лица своего владельца, и способных принимать компромиссные решения в порождаемых ими ситуациях, формирующихся на основе определенных протоколов взаимодействия и проведения переговоров. При этом всё множество агентов действует в общей среде – сцене.

Логика работы агентов

Процесс исследования цели начинается после формирования агентом ЦОДа соответствующего задания. Информация о задании представляется в виде сообщения *TargetPositionMessage*, содержащего координаты цели и онтологическое описание искомого объекта. Так как агент ЦОДа не обладает данными о текущем расположении спутников из группировки, то сообщение передается специальным КА-ретрансляторам, положение которых в любой момент времени определено их геостационарной орбитой. В дальнейшем процессе исследования ЦОД участия не принимает, а лишь ожидает получения результатов и, при необходимости, выступает в роли ретранслятора при передаче сообщений между КА. Работу агента ЦОДа можно представить следующим набором состояний:

1) Получая управление, агент специфицирует сформулированные пользователем задачи и передает их в виде сообщения *TargetPositionMessage* ближайшему КА-ретранслятору.

2) При получении сообщения *PacketMessage* агент ретранслирует его указанному спутнику.

3) После получения сообщения *AcceptMessage* агент сообщает пользователю о результатах исследования цели.

КА-ретрансляторы – это геостационарные КА, предназначенные для передачи сообщений между спутниками группировки. Работа агента КА-ретранслятора представляется следующим набором состояний:

1) Взаимодействие с агентом ЦОДа. При получении сообщения *TargetPositionMessage* агент КА-ретранслятора на основании имеющихся у него данных производит выбор первоначальных спутников-инспекторов, которые вместе смогут обеспечить наиболее продолжительное по времени покрытие цели. Затем исходное сообщение рассылается всем выбранным спутникам. После проведения исследования его результат передается через ретрансляторы в ЦОД.

2) Ретрансляция сообщений. Получая от агента КА сообщение *PacketMessage*, ретранслятор проверяет, виден ли его конечный адресат. Если спутник-получатель виден, то сообщение отправляется напрямую, если нет – через сеть таких же ретрансляторов.

Процесс исследования цели в зависимости от вида искомого объекта разбивается на несколько составляющих. При этом любой спутник из группировки способен одновременно работать с множеством целей, играя в исследовании каждой из них определенную роль. Все роли спутника представляются в виде совокупности агентов, действующих от его лица. Ниже приводится их описание.

«*FreeAgent*» (свободный агент) реализует базовые (не зависящие от контекста решаемой задачи) функции. Этот агент сохраняет активность даже в случае отсутствия у спутника каких-либо текущих заданий. Работа свободного агента представляется следующим набором состояний:

1) Получение задания на исследование цели. При получении сообщения *TargetPositionMessage* агент помещает ее в общий пул задач спутника и проверяет текущий уровень загруженности КА. Если этот уровень выше установленного в системе значения, агент инициирует процесс перераспределения задач, происходит переход в состояние 2. Иначе агент переходит в состояние 4.

2) Выбор передаваемой задачи. На этом этапе агент формирует сообщение *IndexRequestMessage*, в которое помещает информацию об одной из текущих задач спутника. Сформированное сообщение рассылается всем ближайшим агентам КА. Далее агент переходит в состояние 3.

3) Сбор информации и принятие решения о передаче задания. Получая ответные сообщения *IndexAnswerMessage*, агент собирает данные о приспособленности опрашиваемых спутников к решению передаваемой задачи. После получения всей информации агент выбирает наиболее подходящий спутник и пересылает ему задание в виде сообщения *TargetPositionMessage*. Далее происходит переход в состояние 4.

4) При получении сообщения *IndexRequestMessage* агент отправляет ответное сообщение *IndexAnswerMessage*, в котором содержится информация об имеющейся у спутника возможности для исследования указанной в исходном сообщении цели.

Протокол переговоров между свободными агентами спутников при передаче задания показан на рисунке 1.

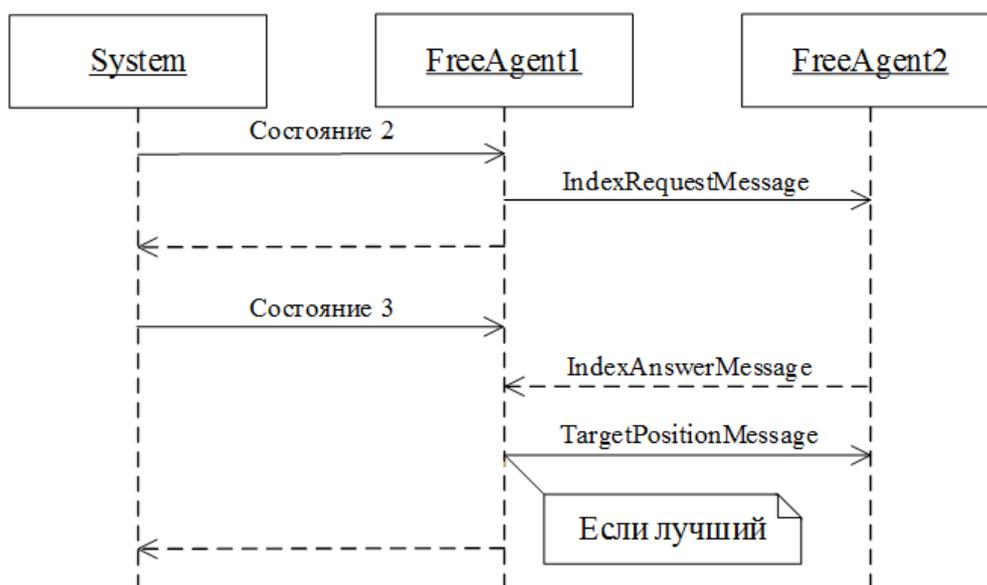


Рис. 1. Протокол переговоров при перераспределении задач

«SpyAgent» (инспектор) активизируется после принятия спутником сообщения *TargetPositionMessage*. В процессе перемещения КА по орбите агент инспектора отслеживает видимость имеющихся в пуле целей. В течение интервала времени, когда спутник проходит над целью, агент инспектора выполняет задачу идентификации цели, исследуя целевой объект в доступном

для КА диапазоне длин волн. При обнаружении объекта, подходящего под заданное онтологическое описание, агент инспектора параллельно передает сообщение *VerifyTargetMessage* на исследование цели другим КА, работающим в оставшихся спектрах.

«*ChiefAgent*» (агент-инициатор) активизируется после принятия решения о привлечении к исследованию цели КА других диапазонов длин волн. Исследовав цель в своем спектре, они передают полученные данные агенту-инициатору в виде сообщения *SuccessfulTestMessage*. Агент-инициатор объединяет все имеющиеся данные и на их основе приходит к выводу о соответствии или несоответствии цели онтологическому описанию. Результат передается агенту ЦОДа посредством сообщения *AcceptMessage*.

«*CandidateAgent*» (агент-кандидат) активизируется после принятия спутником сообщения *VerifyTargetMessage* и производит исследование цели в соответствии с полученным от спутника-инициатора заданием, после чего отправляет ему результат в виде сообщения *SuccessfulTestMessage*.

Протокол переговоров между агентом инспектора, кандидата, инициатора и ЦОДа показан на рисунке 2.

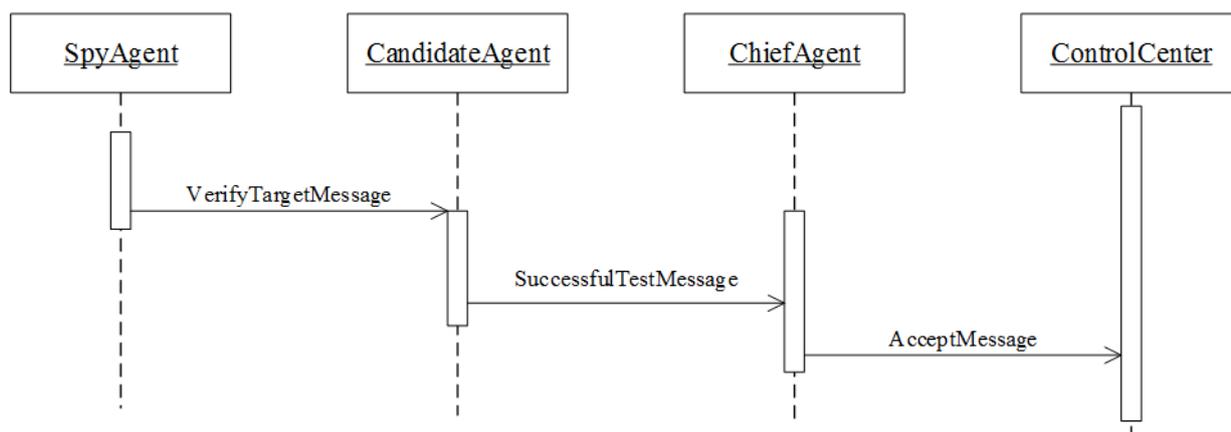


Рис. 2. Протокол переговоров агента инспектора, кандидата, инициатора и ЦОДа

Заключение

Описанная логика работы лежит в основе создания самоорганизующейся команды взаимодействующих интеллектуальных агентов, способных как к индивидуальному планированию своего поведения, так и к работе в группе. Данный подход позволяет эффективно решить задачу управления группировкой КА ДЗЗ без необходимости привлечения наземных служб.

Список литературы

1. Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е., Жилев А.А. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы. 2013. №1(62). С. 16–26.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДОПОЛНЕНИЯ ПАРСОЧЕТАНИЯМИ ДЛЯ АСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Аннотация

Рассмотрен способ приближенного решения асимметричной задачи коммивояжера, основанный на ее приведении к последовательности задач о назначении. Проведен вычислительный эксперимент, давший основание выдвинуть гипотезу об асимптотической точности алгоритма, это предложение было подтверждено на случайно сгенерированных задачах с количеством вершин до 1024.

Введение

Задача коммивояжера является *NP*-сложной задачей дискретной оптимизации. Для нее не найдено быстрых, полиномиальных алгоритмов [3]. На графах она формулируется следующим образом: требуется найти гамильтонов цикл наименьшей стоимости во взвешенном полном графе, т.е. выйдя из стартовой вершины, посетить каждую вершину графа ровно один раз и вернуться в начальную по кратчайшему пути.

Поиск точных и приближенных способов решения задачи о коммивояжере остается актуальным и с теоретической, и с практической точек зрения. Задача о коммивояжере является упрощенной моделью для многих других задач дискретной оптимизации, а также часто является подзадачей, например, в задаче о маршрутизации. Среди приложений ЗКВ можно отметить:

- оптимизацию в сетях;
- оптимизацию маршрутов;
- приложения в кристаллографии;
- управление роботами;
- обработку печатных плат;
- исследование ДНК.

Метод исследования

В данной работе для решения асимметричной задачи коммивояжера исследуется метод дополнения паросочетаниями [2].

В основу используемого метода легла идея о сведении задачи коммивояжера к последовательности задач о назначении. Суть ее состоит в следующем.

Каждую вершину ориентированного графа $G = (V, E)$ расщепим на две вершины, одна из которых инцидентна только исходящим дугам, другая – только входящим.

Далее в полученном двудольном графе H решаем задачу о назначении минимального веса. Решение задачи о назначении для двудольного графа H даст оптимальное цикловое покрытие графа G . Если в результате решения задачи о назначении образуется несколько циклов, то из каждого цикла исключаем ребро с максимальным весом, получая тем самым пары «открытых» вершин, одна из которых может быть инцидентна входящей дуге, другая – исходящей.

Далее опять решаем задачу о назначении на подграфе графа H , содержащем только «открытые» вершины. Указанная последовательность действий повторяется до тех пор, пока не будет получен гамильтонов цикл в исходном графе.

Результаты исследования

Экспериментально исследуем точность применяемого метода. Для этого проведем по 100 испытаний для матриц с различным разбросом значений d и числом вершин n , посчитаем для них среднее значение и дисперсию относительной погрешности. Будем генерировать матрицы со значениями находящимися в следующих интервалах: [1;10], [1;20], [1;40], [1;80] и [1;160].

Относительную погрешность будем считать как отношение разности полученного значения и нижней оценки к нижней оценке. В качестве нижней оценки возьмем сумму весов ребер, полученную на первой итерации цикла, то есть минимальный маршрут.

На рис. 1 приведен график средних отклонений от точного решения для различного разброса значений матрицы стоимостей. Как видно из рисунка, с ростом числа вершин точность сначала падает, потом растет. Также заметим, что погрешности растут с увеличением разброса значений.

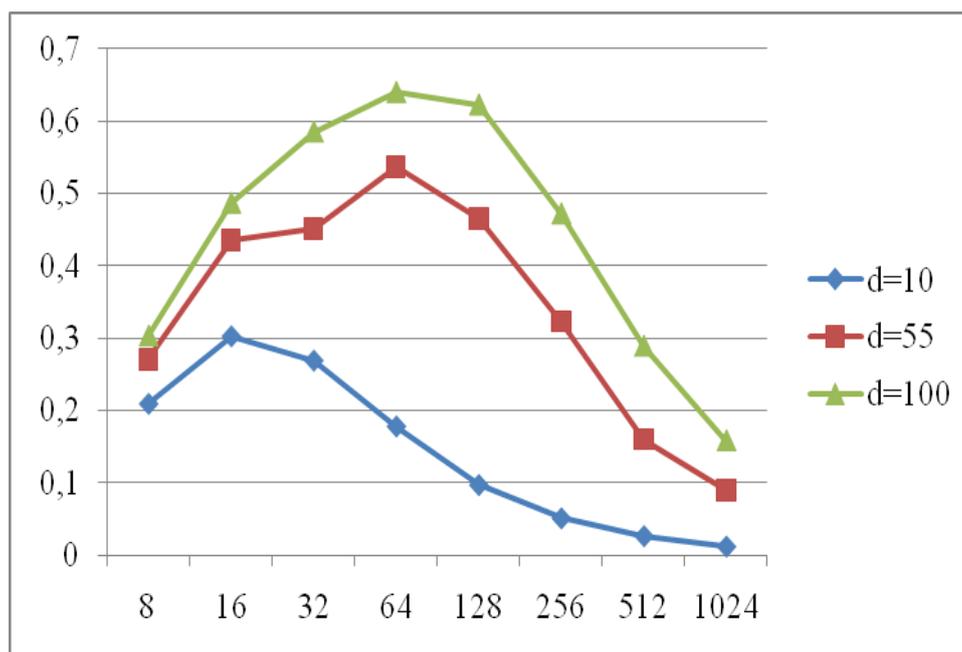


Рис. 1. Средние относительные погрешности

Подобную картину можно увидеть на графике дисперсии ошибок (рис. 2): значения дисперсии уменьшаются с ростом числа точек и увеличиваются при возрастании ширины интервала для значений матрицы стоимостей.

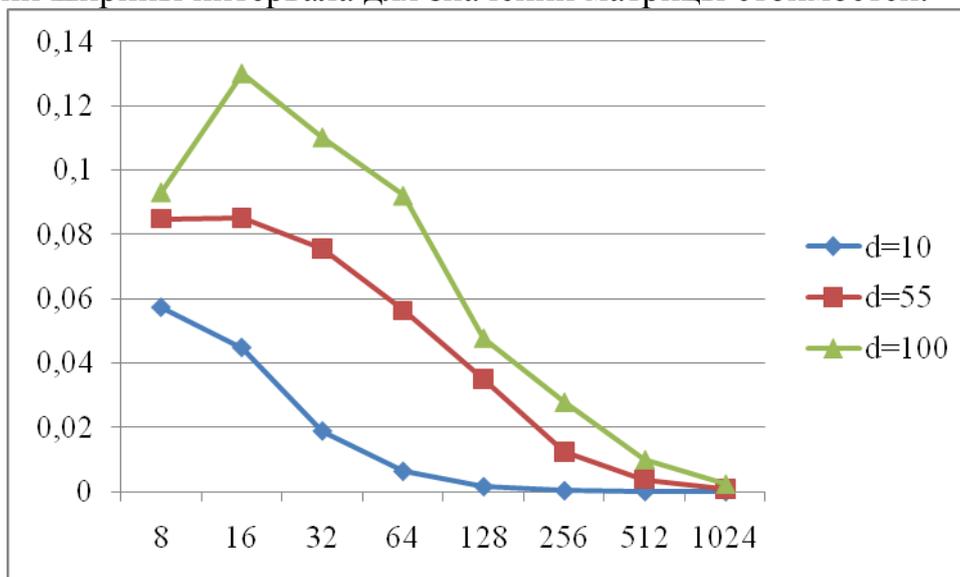


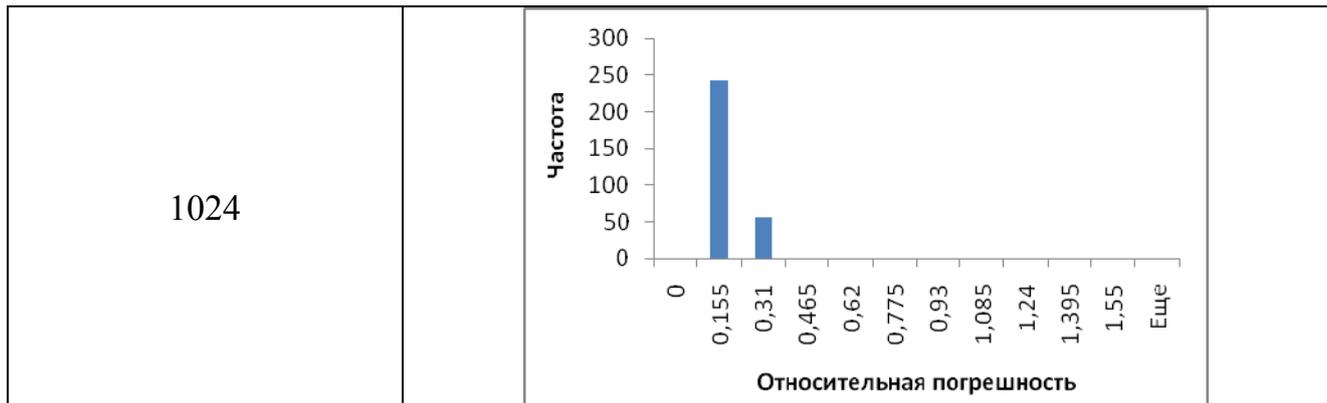
Рис. 2. Дисперсии погрешности

Далее исследуем, как будет изменяться распределение частоты наблюдения относительных погрешностей с ростом числа вершин. Для этого решим по 300 задач для различных n . Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение частоты наблюдения относительных погрешностей

Число вершин	Гистограмма
32	
512	



Как мы видим, с ростом числа вершин графа решение, найденное с помощью изучаемого метода, концентрируется около сравнительно небольших относительных погрешностей.

Заключение

Решение случайно сгенерированных задач коммивояжера с числом вершин до 1024 дает основание с достаточной вероятностью утверждать, что точность решения задачи при увеличении количества вершин асимптотически растет, т.е. с большой вероятностью исследованный алгоритм принадлежит классу асимптотически точных алгоритмов [1].

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0395.

Список литературы

1. Гимади Э.Х., Глебов Н.И. Дискретные экспериментальные задачи принятия решений: Учебное пособие / Новосибирский гос. ун-т. 1991: НГУ, 76 с. – ISBN 5-230-13491-7.
2. Панюков А.В., Пьянков В.А. Алгоритм дополнения паросочетаниями для асимметричной задачи коммивояжера. // Математическое и статистическое исследование социально-экономических процессов / под ред. А.В. Панюкова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2008.. –С.115-122. – ISBN 978-5-696-03787-5/
3. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование : модели и вычислительные алгоритмы: Учеб. Пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 240 с. – ISBN 5-9221-0189-7.

УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АЭРОПОРТ»

Аннотация

Разработан учебно-тренировочный модуль для персонала транспортно-технологических служб аэропорта, обеспечивающий обучение технологии управления процессами наземного обслуживания воздушных судов с применением проприетарного специализированного ПО.

Введение

Информационная поддержка управления транспортно-технологическими процессами аэропорта как большой организационно-технической системы осуществляется с применением систем автоматизации наземного обслуживания воздушных судов (НО ВС). Примером подобной системы является информационная система (ИС) «Аэропорт» (ООО «Авиабит», СПб. – Москва), которая является корпоративной проприетарной системой. ТП аэропорта происходят в реальном масштабе времени, темп процессов может сильно различаться в штатных и нештатных ситуациях, поэтому степень обученности персонала аэропорта крайне важна.

1. Состояние вопроса и актуальность

С точки зрения системного подхода, ИС «Аэропорт» является автоматизированной системой управления международным аэропортом, который рассматривается как объект управления. В общем виде взаимодействие аэропорта как объекта управления с системой управления представлено на рис. 1.



Рис. 1. Объект и система управления

Процесс внедрения ИС «Аэропорт» должен сопровождаться обучением сотрудников. Поэтому возникла потребность разработки и внедрения учебно-тренировочного модуля (УТМ) для более целенаправленного обучения персонала работе с ИС [3].

2. Постановка задачи

Целью разрабатываемого УТМ является повышение вероятности принятия правильных решений пользователями ИС «Аэропорт».

УТМ должен обеспечить пользователю возможность непосредственного участия в координации ТТП. С точки зрения управления транспортно-технологическими процессами, обучать сотрудников аэропорта необходимо, разделив их на условные группы согласно регламенту их производственной деятельности, степени ответственности, специфике выполняемых задач: руководство, начальники отделов и служб, диспетчеры и сотрудники.

В рамках обучения каждому пользователю должна быть предоставлена возможность отработки действий в штатных и нештатных ситуациях. Для этого необходимо также разработать учебные материалы и критерии оценки персонала.

Для каждого подразделения предоставлены на отработку задачи двух типов: на начальном уровне - отработка локальных задач, связанных только со спецификой работы конкретного подразделения; на следующем уровне – обучение взаимодействию с другими подразделениями.

Процесс обучения персонала выполняется совместно отделом переподготовки и повышения квалификации и техническим отделом аэропорта при помощи разработанного УТМ и обучающих материалов ИС «Аэропорт». Инструктор должен осуществлять проверку успешности обучения сотрудника. По окончании обучения инструктор с помощью УТМ выставляет сотруднику результирующий балл, формирует отчет о результатах обучения, на основе которого рекомендуется допустить сотрудника к работе или направить на повторное обучение.

3. Методика исследования

Среди ТТП выделяются организационные и технологические процессы. Из организационных процессов выбран процесс «Формирование суточного плана полетов», из технологических – «Формирование технологического графика НО ВС». Для выбранных процессов построены функциональные модели на основе методологии *SADT/IDEF0*, произведена их декомпозиция, выделены основные исполнители, основные информационные потоки, входные данные и выходные результаты [4]. Также в работе построена функциональная модель процесса обучения пользователя.

Вводом информации в базу данных и выставлением оценок сотрудникам занимается инструктор. Типовая программа обучения составляется из типовых заданий для отдела, в котором работает сотрудник, в соответствии с выбранным уровнем сложности и типом взаимодействия. На начальном этапе обучения пользователь может ознакомиться с предлагаемыми учебно-методическими материалами [1, 2], а затем перейти к выполнению заданий.

Инструктор оценивает правильность выполнения задания с помощью двух критериев: экспертного S_1 - для оценки технологичности выполнения задания; и временного S_2 - для оценки соблюдения требований по времени выполнения заданий.

Обозначим время, отведенное для выполнения k -го задания – T_k минут, и t_{kj} – время, которое j -й пользователь затратил на выполнение k -го задания.

Полученные оценки по временному критерию выставляются по следующей шкале:

$$S_2 = \begin{cases} 5, & \text{если } t_{kj} = [0; T_k); \\ 4, & \text{если } t_{kj} = [T_k; T_k + \frac{T_k}{5}); \\ 3, & \text{если } t_{kj} = [T_k + \frac{T_k}{5}; T_k + \frac{2T_k}{5}); \\ 2, & \text{если } t_{kj} = [T_k + \frac{2T_k}{5}; \infty). \end{cases} \quad (1)$$

Результующая оценка сотрудника:

$$S = 0,6 \cdot S_1 + 0,4 \cdot S_2,$$

где S_1 – оценка, выставленная за технологичность выполнения задания; S_2 – оценка, выставленная за время выполнения задания.

Однократная точечная оценка может свидетельствовать о случайно достигнутом положительном результате. Для снижения случайности результата типовые задания выполняются по несколько раз. Средняя оценка за выполнение сотрудником типового задания:

$$\tilde{S}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{ij}$$

где N – кратность выполнения задания; S_{ij} – оценка, полученная j -м пользователем при i -й попытке.

Тогда вероятность получения положительной оценки \tilde{S}_j за N попыток составляет:

$$P^+ = P\{\tilde{S}_j \in [4,5]\} = \frac{n\{\tilde{S}_j \in [4,5]\}}{N}$$

Если сотрудник находится в цепи взаимодействия с сотрудниками других подразделений и совокупный успех их деятельности зависит от координации и от навыков всех участников цепи, тогда рассчитывается вероятность положительной оценки для всей группы сотрудников (рис.2).

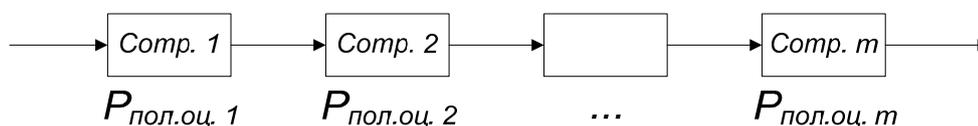


Рис.2. Цепочка сотрудников, задействованных в ТПП

Таким образом, вероятность положительной оценки группы из M сотрудников при совместных действиях определяется:

$$P_M^+ = \prod_{j=1}^M P_j^+,$$

Для построения программного обеспечения (ПО) УТМ были разработаны схемы работы УТМ и процесса обучения сотрудника, которая отражает основные этапы обучения для овладения навыками работы с ИС «Аэропорт».

Работа с программой начинается с окна входа в программу, на котором указываются параметры обучения: уровень (простой или сложный), тип задач (локальное или взаимодействие). В УТМ два типа пользователя: инструктор и сотрудник. Для работы с учебной базой системное время откатывается к определенному времени: либо разреженный участок суточного плана полетов, либо насыщенный.

В режиме обучения пользователь может просмотреть обучающие видео или изучить мануальные руководства, а для проверки действий пользователя записывается видеофайл, который анализируется инструктором для выставления оценки по критерию технологичности.

4. Обсуждение и приложение результатов

В работе проведен эксперимент для 4 человек. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

	Сотрудник	Оценки, полученные в ходе эксперимента					\tilde{S}_j	P^+
1	Сотрудник 1	4	4	5	4	4	4	1
2	Сотрудник 2	3	4	4	4	4	4	0,8
3	Сотрудник 3	5	5	5	4	5	5	1
4	Сотрудник 4	4	4	4	4	4	4	1
	Групповые показатели						4	0,8

Выводы

Информационная поддержка управления ТТП аэропорта, осуществляемая на основе разработанного УТМ, обеспечивает повышение степени готовности персонала к целевому использованию ИС и качества управления.

Список литературы

1. ООО «АВИАБИТ». Руководство ИС «Аэропорт». Электронный справочник – СПб.: 2004.
2. ООО «АВИАБИТ». Технологии и алгоритмы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aviabit.ru> (дата обращения 17.04.2012).
3. Магдиева М.И., Каримов Р.Р. Применение тренажеров для обучения персонала аэропорта в процессе внедрения корпоративной информационной системы // Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции «Мавлютовские чтения». – Уфа, УГАТУ, Т. 3, 2012. - с. 163-164.
4. Магдиева М.И., Каримов Р.Р. Информационные технологии поддержки транспортно-технологических процессов // Сборник трудов конференции «Транспорт XXI века». – Екатеринбург, УРГУПС, Т.2, 2011. – с. 742-747.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ МИКРОСПУТНИКА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Аннотация

Рассматривается информационное обеспечение стратегического управления техническим состоянием микроспутника на основе интеллектуальных эвристических алгоритмов обработки телеметрической информации на базе центра управления полетом.

Введение и актуальность

Информационная поддержка управления техническим состоянием микроспутника осуществляется на основе телеметрической информации (ТМИ), поступающей в центр управления полетом (ЦУП) во время сеансов связи.

Служебные системы микроспутников и малых космических аппаратов (МКА) представляют собой сложные аппаратно-программные распределенные комплексы, состоящие из большого количества подсистем, между которыми существуют структурно – функциональные и логически связи. Управление и контроль технического состояния МКА как объекта управления необходим для обеспечения необходимой длительности фазы эксплуатации жизненного цикла МКА в условиях существенной неопределенности.

При летных испытаниях и в процессе эксплуатации МКА накапливается значительный объем телеметрической информации (ТМИ), на основе которой в условиях ЦУП возможно получение прогноза остаточного ресурса МКА и обнаружение скрытых постепенных отказов путем анализа структурно – функционального взаимодействия подсистем МКА.

Решение подобных задач возлагается на аналитические группы стратегического планирования в составе ЦУП МКА. Аналитическая и статистическая обработка данных совместно с задачами оперативного управления обеспечивают возможность комплексного анализа технического состояния МКА в долгосрочной перспективе (рис.1).

Аналитическая обработка ТМИ в ЦУП обеспечивает долгосрочную составляющую программы управления МКА по результатам проведенных сеансов связи. В силу разнообразия и сложности конструкции МКА, технические параметры функционирования МКА также могут быть сложно коррелированными. Исследование связей между ТМ – параметрами МКА представляет собой сложную научно-техническую задачу, которая в условиях большого потока информации может быть решена либо путем привлечения

высококвалифицированных экспертов, либо за счет разработки интеллектуальных алгоритмов аналитической обработки данных.

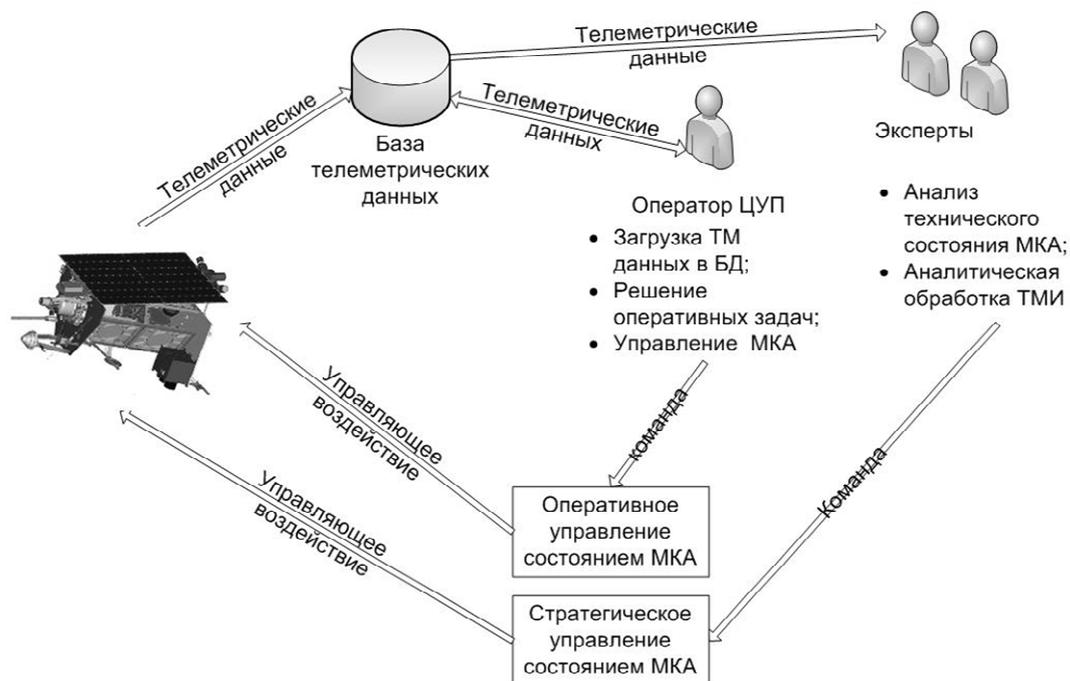


Рис. 1. Комплексный анализ технического состояния МКА

1. Постановка задачи

Целью работы является повышение качества информационной поддержки управления техническим состоянием МКА за счет минимизации вероятности принятия ошибочного решения при анализе зависимостей между телеметрическими данными:

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{ош},1} + P_{\text{ош},2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $P_{\text{ош},1}$ - вероятность ошибки первого рода, $P_{\text{ош},2}$ - вероятность ошибки второго рода.

Для оценки динамики показателей технического состояния МКА предлагается использовать анализ взаимной корреляции [1] ТМ - параметров подсистем МКА. Характер взаимной корреляции ТМ - параметров определяется особенностями конструкции, механизмами взаимодействия подсистем МКА и архитектурой вычислителей бортовой системы.

В работе рассматриваются два вида взаимной корреляции: 1) мгновенная корреляция, т.е. при изменении значения одной величины мгновенно изменяется другая величина; 2) корреляция со сдвигом во времени.

Регрессионный анализ множества $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_N\}$ непрерывно-дискретных ТМ-параметров затруднителен в силу его большой размерности, а также разнообразия и сложности взаимосвязей между ТМ-параметрами. Кроме того, ряд ТМ-параметров запаздывают друг относительно друга со случайным сдвигом по времени τ . Поэтому прямое применение инструментов регрессионного и корреляционного анализ затруднительно.

Вместо сигналов $x_i(t)$ предлагается использовать импульсно-дискретные функции $\tilde{x}_i(t)$:

$$\tilde{x}_i(t) = \begin{cases} \text{sign}\left(\frac{\partial x_i(t_{k-1})}{\partial t}\right), & \text{при } \frac{\partial x_i(t_{k-1})}{\partial t} \frac{\partial x_i(t_k)}{\partial t} < 0, k = 0, 1, \dots \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Пример импульсно-дискретной функции $\tilde{x}_i(t)$ представлен на рис.2.



Рис. 2. Импульсно-дискретная функция $\tilde{x}_i(t)$

Тогда вместо расчета взаимной корреляционной функции (ВКФ), что при различии в форме сигналов $x_i(t)$ и $x_j(t)$ дает неудовлетворительный результат, применяем ВКФ дискретных сигналов $\tilde{x}_i(t)$ и $\tilde{x}_j(t)$:

$$B_{i,j}(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^K \tilde{x}_i(t) \tilde{x}_j(t - \tau), \quad (3)$$

Анализ динамики $B_{i,j}(\tau)$ вместе с оценкой математического ожидания $M_{i,j}(\tau)$ и дисперсии $\sigma_{i,j}^2(\tau)$ дает развернутое представление о взаимной корреляции между параметрами $x_i(t)$ и $x_j(t)$ [2].

Таким образом, программный модуль аналитической обработки ТМ-данных МКА должен реализовывать следующие функции: 1) обнаружение взаимной корреляции; 2) определение типа корреляции – мгновенная или со сдвигом во времени; 3) анализ и контроль статистических показателей взаимной корреляции – $B_{i,j}(\tau)$, $M_{i,j}(\tau)$ и $\sigma_{i,j}^2(\tau)$.

2. Решение задачи

Процесс загрузки ТМИ в базу данных осуществляется оператором, а создание исследуемой выборки – экспертом ЦУП, с помощью специального ПО, разработанного авторами [3].

Анализ телеметрических данных состоит из трех процессов обработки. Сначала производится поиск новых (ранее неизвестных) зависимостей в исследуемой выборке. После чего экспертом составляется список отобранных для анализа зависимостей. Затем сравниваются результаты анализа системы с

мнениями экспертов, и делается вывод о наличии, либо отсутствие зависимостей. Возникновение новых зависимостей или изменение их характера может говорить об отклонениях в работе МКА, либо об изменении его режима работы.

Для создания программного модуля разработаны алгоритм построения импульсно дискретных функций и алгоритм обнаружения зависимостей между ТМ - данными.

При обнаружении корреляции со сдвигом времени модуль рассчитывает статистические характеристики парной корреляции.

Программный модуль реализован средствами *MS Visual Basic for Applications* с хранением данных на листе электронной книги *MS Excel*.

3. Результаты эксперимента

Для анализа результативности разработанных алгоритмов проведен эксперимент, в котором исследовалась выборка ТМ-данных, включающая 13 параметров. Из 78 пар параметров экспертами зафиксированы 60 парных корреляционных зависимостей. Из них безошибочно определено 57, что составило 95% объема выборки. Таким образом, суммарная ошибка обнаружения корреляционных зависимостей составила не более 5%.

4. Выводы

Разработан программный модуль, реализующий элементы аналитической обработки ТМ – данных. Программный модуль реализует требуемые функции, при этом достигнутая в эксперименте вероятность ошибки не превышает 5%, что обеспечивает повышение качества информационная поддержка управления техническим состоянием МКА.

Список литературы

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. М.: Вильямс, 2004. - 992 с.
2. Шеина А.А., Каримов Р.Р. Алгоритм анализа взаимной корреляции телеметрических параметров малого космического аппарата / Проблемы техники и технологий телекоммуникаций. – Уфа: УГАТУ, 2012, с. 164-165.
3. Теплов А.В., Каримов Р.Р. Система поддержки информационного взаимодействия между пользователями распределенного центра управления полётом малого космического аппарата при обработке телеметрической информации / Сборник трудов шестой всероссийской зимней школы аспирантов и молодых ученых. Том 1. Уфимск. гос. авиац. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2011.– с. 122–126.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация

В статье рассматривается задача формирования оптимальной конфигурации сложного технического объекта (СТО). Анализируются трудности проектирования СТО. Формулируются основные этапы решения задачи формирования оптимальной конфигурации с использованием генетических алгоритмов, систем управления данными об изделии (PDM), технологий виртуальной реальности.

Введение

Проектирование сложных технических объектов, к которым относятся и конструкции авиационно-космической техники является сложной многоаспектной проблемой. На ранних стадиях проектирования образцов авиационно-космической техники необходимо принимать решения в условиях неопределенности исходных данных, недостаточных данных о самом объекте и его внутренних связях. Допущенные ошибки влекут за собой доработки на последующих стадиях, которые как правило, обходятся дороже затрат на этапе проектирования [3].

Применение CALS-технологий (*Continuous Acquisition and Life cycle Support*) позволяет существенно сократить объёмы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS. Данные технологии позволяют генерировать большие объёмы информации на различных этапах жизненного цикла СТО. Собранные данные на различных этапах жизненного цикла объекта представляют интерес при проектировании новых СТО.

Конкурентоспособность изделий достигается повышением эффективности управления ресурсами, используемыми при выполнении работ на различных стадиях ЖЦ, посредством организации непрерывной информационной поддержки. Предприятия и организации космической отрасли постепенно осознают необходимость следования основному принципу CALS, предполагающему создание единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла (ЖЦ) продукции.

Необходимость применения CALS-технологий также обусловлена высокой ценой ошибки при создании образцов авиационно-космической техники, особенно на ранних стадиях. Количество доработок при автоматизированном проектировании с применением CALS-технологий меньше, чем при «ручном» проектировании.

Объект исследования

Космический летательный аппарат (КЛА) является сложным техническим объектом, в структуре которого выделяется полезная нагрузка (например, система дистанционного зондирования) и служебные подсистемы, обеспечивающие процесс целевого функционирования. Состав КЛА схематично представлен на рисунке 1. КЛА могут служить базой для апробации предлагаемого в статье подхода, что позволит обеспечить совершенствование технологии их проектирования с целью улучшения тактико-технических характеристик и повышения технико-экономической эффективности [2].



Рис. 1. Состав КЛА

Постановка задачи

Целью работы является формирование конфигурации изделия, оптимальной по заданному набору критериев, с помощью генетического алгоритма (ГА), *PDM*-технологий и элементов виртуальной реальности.

Формирование облика перспективного КЛА связано со значительным техническим риском, обусловленным отсутствием объективной информации об основных параметрах КЛА. Поэтому при постановке задачи оптимизации необходимо обеспечить учет неизвестных факторов, влияющих на облик СТО, и снизить их влияние на конечный результат.

В качестве исходных данных рассматриваются: база данных изделия (БДИ) в *PDM*-системе, база данных (БД) *COTS*-компонентов (космических и авиационных изделий), требования и ограничения, предъявляемые к КЛА, а также критерии оптимальности КЛА.

Анализ и обоснование методов решения

На сегодняшний день одним из направлений развития авиационных и космических технологий является широкое использование малых космических летательных аппаратов в научных, коммерческих, образовательных и иных целях.

Процесс создания новых образцов КЛА начинается с формирования с большого количества альтернативных вариантов систем. В начале стадии технического проектирования (ТП) могут рассматриваться десятки и даже сотни вариантов, число которых к завершению этапа ТП должно быть минимизировано.

В общем случае космические системы являются большими техническими системами, многие элементы которых описываются сложными математическими моделями, не дающими однозначного аналитического решения по выбору наилучшего варианта.

При окончательном выборе варианта на практике приходится учитывать большое количество факторов, не формализуемых математически, например, уровень подготовки разработчиков системы, их оснащенность вычислительными средствами и программным обеспечением, наличие испытательных стендов, специализированного оборудования, технологические возможности заводов изготовителей и многое другое, что в итоге не гарантирует выбор наилучшего варианта.

Таким образом, на всех стадиях проектирования необходимо проведения итерационного процесса выбора наилучшего альтернативного варианта облика КЛА, что во многом объясняет большое время разработки и ее стоимости.

Повышение эффективности и конкурентоспособности КЛА возможно за счет применения *CALS*-технологий. Использование *PDM*-технологий обеспечивает повышение эффективности управления информацией за счет ускорения обмена и доступности данных об изделии, требующихся для информационных процессов ЖЦ изделия [1].

Для решения задачи оптимизации изделия в соответствии с заданными критериями эффективности с помощью *PDM*-системы, необходимо встраивание в нее интеллектуальных алгоритмов, которые должны формировать множество альтернативных вариантов создаваемого изделия на основе комбинации признаков и характеристик компонентов изделия.

Решение задачи

На первом этапе создается база данных изделия с применением *CALS*-технологий и *PDM*-систем, включая трехмерные модели деталей, сборочных единиц, а также готовых к использованию (*COTS*) компонентов и их характеристик. На втором этапе формализуются требования к технико-экономическим, массово-габаритным и другим характеристикам изделия и на их основе описывается математическая оптимизационная задача проектирования. На третьем этапе решается задача эволюционного синтеза облика изделия. На четвертом этапе формируется трехмерная модель изделия с оптимальной конструкцией (конфигурацией) с помощью средств виртуальной реальности и трехмерного моделирования.

Для решения задачи по формированию конфигурации КЛА, удовлетворяющего заданным техническим требованиям, в данной работе разработан специализированный программный модуль генетической

оптимизации сложного технического изделия. С помощью разработанного программного обеспечения исследована эффективность разработанной технологии на примере двигательной установки КЛА и получена оптимальная конфигурация изделия.

На рисунке 2 представлена виртуальная модель СТО на примере малого космического аппарата.

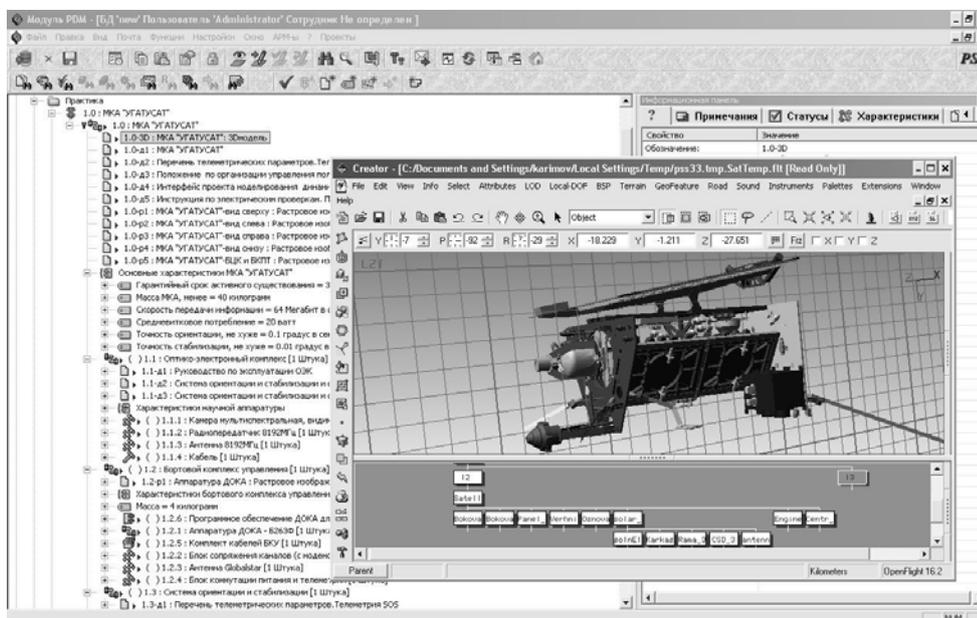


Рис. 2. Виртуальная модель КЛА в составе БДИ

Заключение

Интеграция генетических алгоритмов оптимизации конфигурации структуры и состава СТО, БДИ на основе PDM - системы, технологий виртуальной реальности при системном проектировании, как показали результаты исследований, позволяют сократить сроки проектирования. При этом обеспечивается улучшение тактико-технических характеристик СТО.

Список литературы

1. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Павлов В.В., Рыбаков Л.В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS технологии. М.: Наука, 2003, – 292 с.
2. Карпенко О.Ю. Интеллектуальный синтез облика сложного технического объекта на примере малого космического летательного аппарата. Всероссийская олимпиада студентов «Авиация и авиационная техника», М: ОАО ОАК, 2010. - с. 27-35.
3. Медведев А.А. Особенности жизненного цикла наукоемкой космической техники. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение.– М. НИЦ АСК, 2008. 601 с.

УДК 004.272.43

А.Б. Клименко, В.В. Клименко

Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Таганрог

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ УСТРОЙСТВ В БОРТОВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ НЕОДНОРОДНОЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

Статья посвящена вопросам разработки алгоритмов взаимодействия агентов в составе мультиагентной системы для решения задачи формирования конфигурации бортовой распределенной информационно-управляющей системы с оптимизацией по стоимостному критерию.

Введение

В настоящее время требования к надежности функционирования информационно-управляющих систем (ИУС) варьируются в зависимости от решаемых задач и критичности возникновения ошибки. Бортовые авиационные ИУС, работоспособность которых критична, должны обладать высокими оценками таких характеристик, как надежность эксплуатации, отказоустойчивость и способность восстановления после сбоев.

Недостатки эксплуатируемых в настоящее время БИУС с одной стороны [1] и тенденция повышения требований к характеристикам БИУС с другой, стали отправной точкой для формирования концепции децентрализованной БИУС, когда, помимо прочих задач, БИУС способна адаптироваться к заранее непредсказуемым ситуациям, парировать сбои и отказы в режиме реального времени без приостановки основной задачи управления [2,3]. Такими возможностями может обладать только БИУС, наделенная свойством динамического изменения конфигурации, что, в свою очередь, становится доступным для распределенных ИУС, когда каждое процессорное устройство (ПУ) представлено локальным диспетчером (ЛД).

Постановка задачи реконфигурирования

Формально задачу реконфигурирования с оптимизацией по стоимостному критерию представим в следующем виде: для заданного графа задачи управления G и имеющегося множества процессорных устройств среди множества вариантов комплектаций системы $K = \{k_1, \dots, k_q\}$ с соответствующими стоимостями комплектации $S = \{s_1, \dots, s_q\}$ необходимо найти $S = \underset{K}{MIN} \{S_1, \dots, S_q\}$ и план распределения задач по ПУ, чтобы выполнялись следующие условия:

- $\forall i: prod_i \leq prod_{max}$;
- $T_c \leq T^{plan}$;
- $prod_i = prod_{i+1} = \dots = prod_{i+m}$;
- $M \subseteq M_{bas} \cup M_{avail}$,

где $prod_i$ – нагрузка i -го ПУ, T_c – время решения задачи управления системой ПУ, T^{plan} – заданное время завершения решения задачи управления, M – суммарное количество ПУ, M_{bas} – множество основных ПУ, M_{avail} – множество резервных ПУ.

Анализ задачи

Важным является ограничение, налагаемое на выравнивание нагрузки на ПУ: в работе [5] показано, что выравнивание нагрузки на ПУ существенно снижает вероятность их отказов и повышает эффективность использования ресурсов БИУС.

Оценка равномерности распределения нагрузки вычисляется следующим образом:

- определяется идеальная нагрузка на ПУ путем деления суммы трудоемкостей подзадач на количество ПУ;
- после построения расписания выполнения подзадач каждому ПУ назначено некоторое их подмножество. Трудоемкости подмножества закрепленных за ПУ задач суммируются;
- производится их сравнение с идеальной загрузкой ПУ, вычисленной ранее.

Анализируя сформулированную задачу комбинаторной оптимизации, можно сделать вывод о ее принадлежности к классу NP-полных задач. Кроме того, целевая функция и ограничения не являются линейными, а представляют собой результат работы алгоритма распределения подзадач по ПУ. Также следует отметить, что дискретность значений не позволяет использовать методы непрерывной оптимизации. В этом случае применение точных методов (например, метода динамического программирования или полного перебора), а также использование метода ветвей и границ становятся неперспективными.

Решение задачи реконфигурирования на базе неоднородной мультиагентной системы

В случае, когда речь идет о распределенной ИУС (РИУС), предполагается, что каждое ПУ обладает собственным локальным диспетчером, который, в свою очередь, может быть представлен агентом. Принципы мультиагентного взаимодействия, на которых строятся мультиагентные системы, позволяют произвести распараллеливание вычислений и тем самым сократить время нахождения приемлемого решения.

Рассмотрим следующую структуру мультиагентной системы для решения задачи реконфигурации и восстановления вычислительно-управляющего процесса в бортовых информационно-управляющих системах. При этом сделаем

допущение о том, что в системе присутствует достаточное количество ПУ, соответствующих двум типам агентов, которые будут подробно описаны ниже.

Так как сложность агента, соответствующего ЛД ПУ системы, предпочтительно, не должна стать источником вычислений, замедляющих решение задачи реконфигурации и восстановления, будем полагать, что агенты системы выполняют простые действия, не обладают механизмами, реализующими искусственный интеллект, а сама система агентов частично воплощает концепцию *swarm intelligence*, когда каждый агент ориентирован на решение элементарной задачи.

Агенты разделяются на два подмножества, назовем их условно «оценщики» и «строители». Задачей агента-«оценщика» является оценка перспективности комплектации агентов для дальнейшего решения задач управления на основе анализа младших G -выборок конфигураций [4,6].

Задачей агента-«строителя» является формирование распределения подзадач задачи управления по доступным агентам. Также будем считать, что КС является аналогом доски объявлений для агентов и доступна всем имеющимся в системе агентам.

Пусть на реконфигурирование и восстановление системы отпущены фиксированные и заранее определенные периоды времени. По поступлению в коммутационную среду(КС) сообщения, сигнализирующего о сбое одного из ПУ, запускается задача реконфигурации, агенты разделяются произвольным образом на «оценщиков» и «строителей».

По окончании периода реконфигурации все агенты прекращают выполнять отведенные им роли и осуществляют выбор лучшего по выбранному критерию варианта решения (в данном случае - стоимости). В данном случае оптимальность решения не гарантируется, однако, велика вероятность выбора достаточно хорошего (в смысле близости к оптимальному) решения.

Алгоритм функционирования агента «оценщика» имеет следующий вид:

- 1) случайным образом сформировать комплектацию ПУ;
- 2) проверить наличие идентичной комплектации в КС. Если такая присутствует, перейти к п. 1. Если сформированная комплектация новая, то поместить ее в КС и пометить как «занятую»;
- 3) произвести анализ G -выборки. Если $T_{cr} < T_{plan}$, то пометить комплектацию как «годная», в противном случае как «не годная»;
- 4) перейти к п.1.

Алгоритм функционирования агента «строителя»:

- 1) Считать из КС комплектацию, помеченную как «годная», пометить ее как «занятую»;
- 2) построить распределение подзадач задачи управления при помощи описанного выше алгоритма. Если $T_c < T_{plan}$, то выложить в КС следующие характеристики комплектации: «использовано», время решения, план распределения задач, стоимость, равномерность нагрузки ПУ;

3) перейти к п.1.

Алгоритм совместного принятия решения после отмены ролей:

1) Считать из КС все решения, которым соответствует характеристика комплектации «использовано»;

2) выбрать вариант, удовлетворяющий поставленным условиям.

Выводы

В описанных алгоритмах видно, что каждый агент осуществляет решение простой задачи и не проводит анализ ситуации в целом, при этом отсекая неперспективные варианты распределения подзадач.

Совместная работа таких агентов, однако, позволяет произвести подбор и оценку подходящих решений для реконфигурации и восстановления БРИУС, что в общем соответствует основной идее концепции swarm intelligence для мультиагентных систем.

Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае условием останова может быть как окончание перебора, так и завершение временного интервала, отпущенного на решение задачи реконфигурирования.

Список литературы

1. Анцев Г.В. и др. Принципы построения бортовых информационно-управляющих систем высокоточного оружия нового поколения. // Радиотехника. 2001. № 8. С. 81 – 86.

2. Ахметов М.И., Ефанов В.Н. Принципы разработки высокопроизводительных бортовых вычислительных систем реального времени// Вестник УГАТУ : научный журнал УГАТУ. 2006. Т. 7, № 1. С. 93–102.

3. Ахметов М.И., Ефанов В.Н. Совмещенный синтез алгоритмического облика и архитектуры бортовых информационно-управляющих систем// Вестник УГАТУ : научный журнал УГАТУ. 2006. Т. 8, № 1. С. 16–22.

4. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах: планирование и организация. – М.: Радио и связь, 1990

5. Каляев И.А, Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2011. 196с.

6. Клименко А.Б. К вопросу о получении младшей G-выборки графа задач для неоднородного множества исполнителей с переменной производительностью // Труды международной научно-практической конференции «Управление большими системами-2011». Том 2. Общая редакция – В.Н.Бурков, Д.А.Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2011. С.172-176.

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОАГЕНТНОЙ ПЛАТФОРМЫ *ABSYNTH*

Аннотация

В статье рассматриваются программные аспекты имитационного моделирования сложных систем, а также процессов управления в больших организационно-технических системах. Специфика построения таких имитационных моделей обусловлена естественной декомпозицией глобальной задачи моделирования на автономные подзадачи и сигнальные связи между ними. Показаны возможности использования в этих целях многоагентной платформы *ABSynth*, представлена ее архитектура.

Введение

Представление сложных систем при построении их моделей в виде множества взаимодействующих автономных программных агентов позволяет строить гибкие и адаптивные имитационные модели. Таким образом, для решения задачи построения имитационных моделей управления сложными организационно-техническими объектами необходима разработка эффективного программного решения, базирующегося на применении агентно-ориентированного подхода. Кроме того, такой подход позволяет наряду с техническими устройствами при моделировании учитывать в модели поведение людей, работающих в системе, т.е. исследовать системы в классе активных систем.

Примером такого продукта является платформа *ABSynth*, которая относится к промежуточному уровню программного обеспечения и реализует специфическую архитектуры построения прикладных программ, основанную на идее агетно-ориентированной организации. Эта архитектура позволяет строить имитационные модели из математических и логических наиболее естественным образом. Данная тематика является актуальной в условиях интенсивного развития вычислительных технологий, технологий моделирования и различных высокопроизводительных программных платформ [1].

Постановка задачи построения имитационной модели сложной организационно-технической системы

Для достижения максимального эффекта от имитационного моделирования при проектировании сложных организационно-технических объектов необходимо, чтобы процессы моделирования, прототипирования и построения управляющих программ были максимально сближены. В этом

случае в процессе проектирования и создания имитационной модели системы управления, по сути, происходит создание и отладка управляющих программ. Поэтому поставим задачу построения многоуровневых распределенных моделей управления сложными организационно-техническими системами на основе программных технологий высокого уровня.

Сформулируем требования к имитационной модели:

- программные модули, реализующие фрагменты имитационной модели, должны выполняться в едином адресном пространстве распределенной вычислительной системы;

- фрагменты модели должны функционировать автономно и изолированно друг от друга;

- аппаратный уровень вычислительной системы должен включать в себя все необходимые устройства: высокопроизводительные узлы, мобильные устройства, микроконтроллеры и пр.;

- технология разработки многоагентных имитационных моделей должна позволять учитывать требования алгоритмов по времени, необходимые темпы их выполнения, а также удовлетворять критериям жесткого и мягкого реального времени, если это необходимо;

- программная реализация имитационной модели должна оптимально использовать вычислительные ресурсы вычислительной сети и гибко адаптироваться к изменениям как ее структуры, так и вычислительной мощности узлов.

Таким образом, задача построения распределенных имитационных моделей управления сложными организационно-техническими системами может быть решена с использованием программой платформы промежуточного уровня реализующей агентно-ориентированный подход, специфическую программную архитектуру, а также, позволяющая создавать имитационные модели на базе гетерогенных вычислительных сетей.

Программная архитектура построения распределенных имитационных моделей

Каждый фрагмент модели реализуется в виде автономной программной сущности заданной структуры, в которой опционально могут быть реализованы некоторые из следующих атрибутов:

Вектор состояния.

Набора входящих сигналов – значения векторов состояния сущностей, реализующих другие фрагменты, которые запрашиваются с заданной периодичностью.

Набор исходящих сигналов – перечень имен сущностей, которым с заданной периодичностью устанавливаются значения векторов состояния в соответствии с собственным алгоритмом.

Главная процедура, которая с заданной периодичностью выполняет цикл однотипных операций (например, пересчет текущего вектора состояния, взаимодействие с датчиками и/или исполнительными механизмами).

Схематически функционирование целевого агента имитационной модели показано на рисунке (рис. 1).

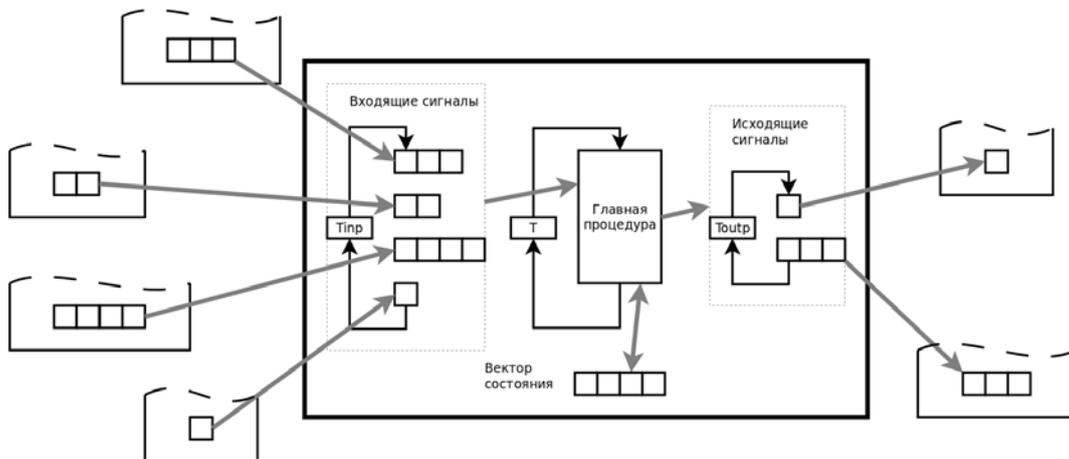


Рис. 1. Структура сущности, реализующей отдельную подзадачу управления

С некоторой заданной периодичностью обновляются значения входных сигналов. Аналогично, с некоторым периодом обновляются значения выходных сигналов. Параллельно с некоторой периодичностью выполняется главный цикл (главная процедура) агента. Так, основными параметрами агента являются:

- период опроса входных сигналов T_{inp} ,
- период рассылки выходных сигналов T_{outr} ,
- период выполнения главной процедуры T .

Целью функционирования каждого агента модели является вычисление актуального значения одного из рабочих параметров модели, либо взаимодействие с устройством в режиме реального времени. Таким образом, совокупность подобных агентов будет в целом решать глобальную задачу имитационного моделирования.

Приведенная архитектура реализована в рамках платформы распределенного имитационного моделирования *ABSynth* (*Agent-Based Synthesis*).

Структура и основные возможности программной платформы *ABSynth*.

Программное обеспечение промежуточного уровня *ABSynth* базируется на агентный функционал на фреймворке *JADE* (*Java Agent Development Environment*) и состоит из двух частей.

ABSynth-base. Основанная на *JADE* программная платформа. Представляет из себя промежуточный уровень ПО.

Агентной платформы и набором стандартных инструментов *JADE*:

Agent Management System (AMS).

Direct Facilitator (DF).

Remote Monitoring Agent (RMA) — агент, предоставляющий пользователю графический интерфейс для наблюдения и управления платформой.

Специального агента *MainManager* и агентов типа *PeripheralManager*, обеспечивающих жизненный цикл модели (создание, запуск, остановку и уничтожение целевых агентов).

Интерфейсного абстрактного класса *BasicUnit*, на основе которого реализуются фрагменты имитационной модели.

ABSynth-library. Набор готовых настраиваемых компонент для моделирования с использованием платформы.

Построение имитационной модели заключается в создании декларативного описания программы на специальном *XML* подобном языке, сохранении его в виде файлы и открытии его средствами агента *MainManager*.

На рисунке приведен пример использования платформы *ABSynth* для имитационного моделирования САУ ГТД (см. рис. 2).

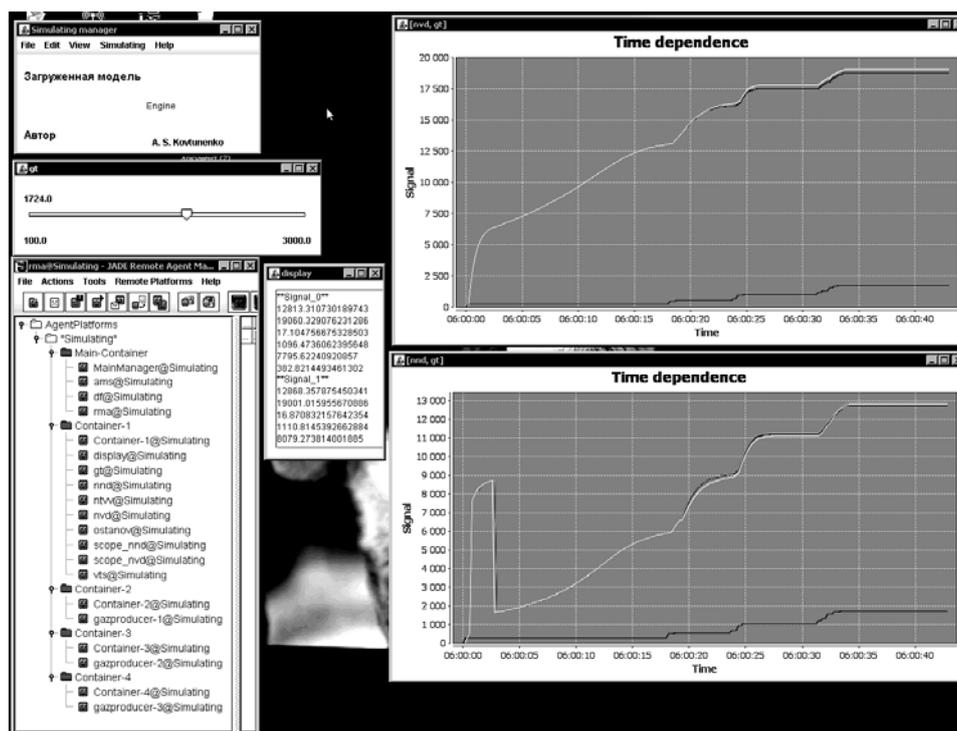


Рис. 2. Результаты моделирования САУ ГТД с использованием программной платформы *ABSynth*

Заключение

В статье представлен программный продукт промежуточного слоя *ABSynth*, а также показаны его возможности для построения распределенных имитационных моделей сложных организационно-технических систем.

Список литературы

1. Fabio L. Bellifemine, Giovanni Caire, Dominic Greenwood. Developing Multi-Agent Systems with JADE: John Wiley&Sons, Ltd, 2007
2. С. С. Валеев, В. А. Масленников, А. С. Ковтуненко. Проектирование промежуточного программного обеспечения на основе агентно-ориентированных технологий для САУ сложными техническими объектами. «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2012. - Труды: в 3 т. - М.: ИПУ РАН, 2012. - Том 1, С. 250 – 259

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Аннотация

Рассматривается задача снижения рисков, возникающих при эвакуации в организационно-технических системах, имеющих сложную инфраструктуру и характеризующихся большим скоплением людей, например, в аэропортах, вокзалах, торговых центрах и т.д.

Введение

Крупные аэропорты и другие аналогичные сооружения представляют собой сложные организационно-технические системы, в том числе и с точки зрения обеспечения безопасности в критических ситуациях. Например, система обеспечения эвакуации из здания включает в себя технические средства обнаружения и оповещения о критической ситуации, разнообразные датчики, средства обработки информации, телекоммуникации, а также организационные ресурсы в лице сотрудников инженерных служб и службы безопасности здания [4].

Помимо этого, в критической ситуации присутствует множество различных факторов неопределенности, которые необходимо принимать во внимание в ходе принятия решений по эвакуации [3]. В настоящее время решение задачи снижения рисков при эвакуации является актуальной задачей.

В качестве инструмента для снижения рисков предлагается информационная поддержка в критических ситуациях на основе системы поддержки принятия решений. В связи с этим, представляется целесообразной разработка иерархической системы поддержки принятия решений (ИСППР) в критических ситуациях.

1. Принципы построения ИСППР

Построение иерархической СППР оправдано для сложной структуры объектов и процессов, в которых она применяется. Эффективное принятие решений в процессе эвакуации из больших зданий в указанных выше условиях, безусловно, сложно обеспечить по централизованной схеме [2]. Поэтому авторами предлагается трехуровневая СППР, что позволяет снизить общую сложность задачи принятия решений и, как следствие, повысить быстродействие процесса эвакуации.

На рис. 1 представлена информационная структура трехуровневой ИСППР в критических ситуациях.

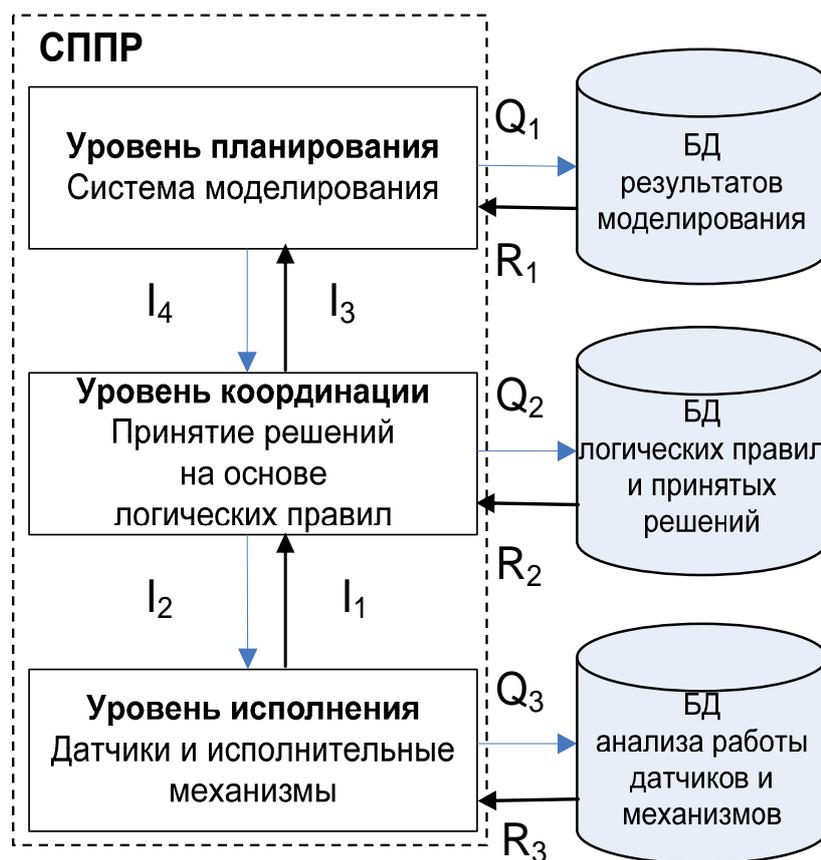


Рис. 3. Информационная структура ИСПП

Восходящий информационный поток I_1 с датчиков исполнительного уровня поступает на уровень координации. В обратном направлении передается управляющие воздействия на исполнительные механизмы и технические устройства, обеспечивающие эвакуацию I_2 . При этом в базу данных работы датчиков и механизмов поступает информация Q_3 о состоянии элементов исполнительного уровня. В обратном направлении передается информация R_3 , необходимая для эффективного функционирования датчиков и механизмов. Принятие решений на уровне координации в реальном масштабе времени осуществляется на основе логических правил R_2 . Одновременно в базу данных логических правил поступает информация о принятых решениях Q_2 . Уровень координации передает информацию о возникшей критической ситуации I_3 на уровень планирования, который, в свою очередь, вырабатывает эффективные стратегические решения для уровня координации I_4 на основе непрерывного имитационного моделирования возможных критических ситуаций. Результаты моделирования Q_1 передаются в базу данных результатов моделирования. В случае необходимости они могут служить исходными данными R_1 для следующего этапа моделирования.

В качестве критерия эффективности работы ИСПП был принят риск неэффективной эвакуации [1]:

$$Q_э = 1 - P_э, \quad (1)$$

где $P_э$ – вероятность эвакуации людей при пожаре.

Вероятность $P_э$ при условии, что время скопления людей на пути эвакуации $t_{ск} \leq 6$ мин, определяется по формуле:

$$P_э = \frac{0,8 \cdot t_{бл} - t_p}{0,8 \cdot t_{бл}} \text{ при } t_p < 0,8 \cdot t_{бл} , \quad (2)$$

где $t_{бл}$ – время блокирования выходов из здания (в нашем случае $t_{бл} = 288$ сек.); t_p – расчетное время эвакуации, определяемое для каждого найденного оптимального пути эвакуации.

Расчетное время эвакуации t_p напрямую зависит от принятого в критической ситуации решения по эвакуации:

$$t_p = f(I_1, I_2, I_3, R_1, R_2, R_3, Q_1, Q_2, Q_3). \quad (3)$$

Следует иметь в виду, что на рис. 1 представлена обобщенная информационная структура ИСППР. Рассматриваемые информационные потоки обладают большой мощностью, передаются в реальном времени, и каждый из них сам по себе имеет весьма сложную структуру.

С учетом этого, практическая реализация ИСППР также является сложной информационной задачей.

2. Оценка эффективности ИСППР

Оценка эффективности предлагаемого подхода на основе применения ИСППР в критической ситуации проводилась на основе сравнительного расчета рисков неэффективной эвакуации $Q_э$ при пожаре в условиях применения ИСППР и отсутствия таковой. В качестве примера рассматривался процесс принятия решений при эвакуации из здания аэропорта, имеющего четыре пожарных выхода.

Величины риска $Q_э$ и вероятности эвакуации $P_э$ определялись по формулам (1) и (2).

Расчет необходимого времени эвакуации t_p проведен по методике, изложенной в п. 2.5. ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [5].

Результаты сравнительной оценки эффективности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка эффективности ИСППР

Выходы	Ситуация	$t_{бл}$, сек	t_p , сек	$t_{p(СППР)}$, сек	$P_э$	$Q_э$	$P_{э(СППР)}$	$Q_{э(СППР)}$	$\frac{Q_э}{Q_{э(СППР)}}$
№3	Штатная	288	16	12	0,93	0,07	0,947	0,053	1,3
	Критическая		12	9	0,947	0,053	0,96	0,04	1,32
№2	Штатная		14	11	0,939	0,061	0,952	0,048	1,27
	Критическая		10	8	0,96	0,04	0,97	0,03	1,33

В результате работы ИСППР были найдены кратчайшие пути эвакуации людей с минимальными рисками, ведущие к выходам №2 и №3.

Из табл. 1, видно, что во всех рассмотренных случаях вероятность эвакуации близка к единице и превышает аналогичную величину при отсутствии СППР в критических ситуациях. При этом риск неэффективной эвакуации минимален. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования рассматриваемого подхода на основе иерархической СППР в критических ситуациях, возникающих в организационно-технических системах.

Заключение

Анализ причин неэффективной эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей показывает, что основной из них в подавляющем большинстве случаев является отсутствие эффективной информационной и технической поддержки при эвакуации. Внедрение разработанной ИСППР позволяет снизить время, в течении которого люди могут при необходимости покинуть отдельные помещения и здание в целом, что обеспечивается использованием СППР лицом, ответственным за эвакуацию.

Новизна работы заключается в предложенной концепции трехуровневой СППР, учитывающей моделирование распространения пожара, что позволяет, в зависимости от результатов моделирования, выбирать оптимальный путь эвакуации, а также обеспечивать информационную поддержку пассажиров и техническую поддержку в ходе эвакуации.

Список литературы

1. Холщевников В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. М.: МИПБ МВД России, 1999. 93 с.
2. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Компьютерное моделирование динамики опасных факторов пожара // Вестник ВНУ им. В.Даля. Луганск, 2003. № 8 (66). С. 99-103.
3. Карпов А.В., Крюков А.П., Рыжов А.М. Полевое моделирование процессов тепло- и массопереноса в пламени и восходящей свободно конвективной струе // Пожаровзрывобезопасность. 2001. Т. 10, № 2. С. 35-41.
4. Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. Монография. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 222 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. М. 1999. 117 с.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМАХ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Аннотация

В данной работе представлена процедура, позволяющая построить нечеткий регулятор для систем управления с большим количеством входных переменных. Иллюстрация работы данной процедуры происходит на примере управления движением перевернутого маятника.

Актуальность

Нечеткое моделирование является наиболее перспективным направлением в исследовании сложных систем управления и регулирования с несколькими управляемыми величинами. Спектр его применения очень велик – от бытовой до космической техники. Основное место в нечетком моделировании занимает нечеткий регулятор, структура которого содержит входные и выходные нечеткие переменные, содержащие определяемое задачей количество термов с заданной функцией принадлежности. Эти переменные связаны между собой нечеткими правилами [1]. Главной задачей в нечетком моделировании является процесс построения нечеткого регулятора.

Материалы исследования

Структура нечеткого регулятора содержит входные и выходные нечеткие переменные, содержащие определяемое задачей количество термов с заданной функцией принадлежности одного из следующих типов: треугольная, трапецидальная функции, s -, z -функции и функция Гаусса. Эти переменные связаны между собой нечеткими правилами, которые записываются в виде следующего выражения:

$$\text{ЕСЛИ } \beta_1 = \mu_i \text{ И } \dots \text{ И } \beta_n = \mu_i \text{ ТО } \gamma_1 = \mu_i \text{ И } \dots \text{ И } \gamma_n = \mu_i, (w = c), \quad (1)$$

где $\beta_1 = \mu_i$, $\beta_n = \mu_i$ – условие, $\gamma_1 = \mu_i$, $\gamma_n = \mu_i$ – заключение, а w – вес правила. Условия и заключения характеризуются элементом из терм-множества μ_i , а они могут принимать значения от 1 до n , и вес – от 0 до 1.

Параметры функций принадлежности и нечетких правил являются параметрами системы нечеткого вывода. Правильный выбор структуры и оптимальный набор параметров позволяют улучшить характеристики системы управления. Набор параметров нечеткого регулятора сложной системы представляет собой многомерное пространство, поэтому целесообразно применять автоматические методы подбора их оптимального сочетания.

Существует три группы методов построения нечеткого регулятора: текстологические (изучение научной литературы об объекте управления), экспертные (статистическая обработка мнений группы экспертов, парные

сравнения) и интеллектуальные (применение нейронных сетей и генетических алгоритмов) [2-4]. Одними из наиболее эффективных методов автоматической оптимизации являются эволюционные или генетические алгоритмы [5]. Нечеткие регуляторы, параметры которых получены с помощью эволюционных методов называются генетические нечеткие системы [4]. Они позволяют подобрать параметры нечеткого регулятора и достичь заданного критерия оптимизации.

На основе описанного выше метода автором данной работы разработана процедура построения нечеткого регулятора, который имеет несколько входных и одну выходную переменную, с одновременным подбором всех параметров. Размер базы нечетких правил зависит от количества термов всех входных переменных и равен их произведению. Комбинация параметров нечеткого регулятора подбирается с помощью генетических операторов скрещивания и мутации. Скрещивание представляет собой получение двух новых комбинаций параметров, полученных путем инверсии элементов при дихотомическом делении элитных наборов случайным образом. Мутация заключается в изменении на некоторую величину случайно выбранного элемента одного из элитных наборов параметров.

Алгоритм нахождения оптимального набора параметров написан на языке системы *MatLab*, а модель системы управления создана в *Simulink*.

Результаты исследований

Иллюстрация представленной процедуры рассматривается на примере решения классической задачи теории управления о стабилизации вертикального положения перевернутого маятника. Вертикальный стержень, установленный на каретке в положении, когда центр масс находится выше точки опоры, представляет собой перевернутый маятник.

Изменение значения угла φ при движении каретки описывается системой дифференциальных уравнений (ДУ) второго порядка [6]:

$$\begin{cases} (J + ml^2)\ddot{\varphi} - mgl\varphi = ml\ddot{s}, \\ (M + m)\ddot{s} + b\dot{s} - ml\ddot{\varphi} = u, \end{cases} \quad (2)$$

где M – масса каретки, m – масса стержня, b – коэффициент вязкого трения каретки, l – расстояние от начала оси вращения стержня до центра масс стержня, J – момент инерции стержня, s – позиция каретки, φ – угол между стержнем и верхним вертикальным положением маятника, u – управляющее воздействие на маятник, имеющее размерность силы.

Управление движением перевернутого маятника осуществляется с помощью нечеткого регулятора, который имеет следующую структуру: три входные переменные (s , φ , $\dot{\varphi}$) со следующим диапазоном значений: для переменной s – от -1 м. до 1 м., для φ – от -1 рад до 1 рад. и для $\dot{\varphi}$ - от -1 рад/с до 1 рад/с. Выходная переменная (u) является коэффициентом усиления для постоянной управляющей силы, воздействующей на маятник, поэтому она изменяется в пределах от -1 до 1. Критерием оптимизации является минимизация суммы интегралов ошибок переменных s и φ . Каждая нечеткая

переменная содержит по четыре термина с треугольной и трапецидальной функциями принадлежности. Размер базы правил содержит 64 правила. Параметры термов представлены на рис. 1.

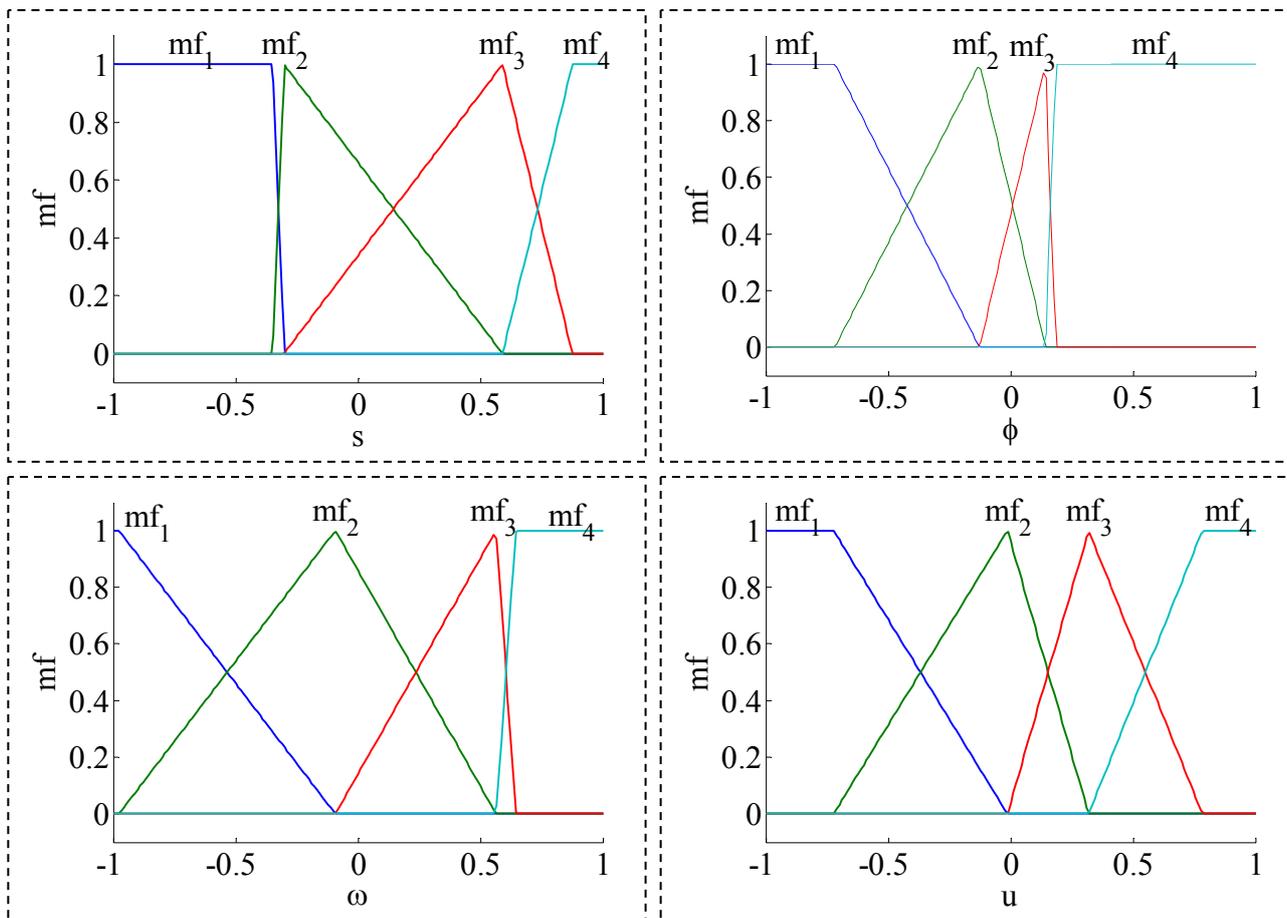


Рис. 1. Параметры термов

Разработанный нечеткий регулятор позволяет получить следующие законы изменения угла отклонения от вертикали ϕ , горизонтального смещения каретки s , представленные на рис. 2.

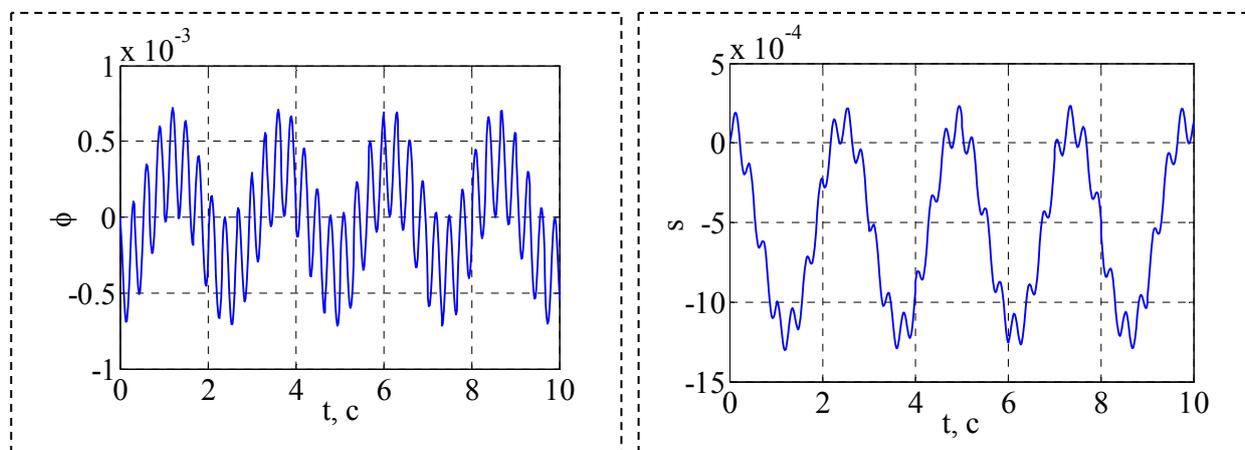


Рис. 2. Закон изменения координаты s и угла ϕ

Законы изменения управляемых величин координаты s и угла φ имеют колебательный характер (рис. 2), наибольшая амплитуда отклонения угла φ от вертикального положения при этом не превышает по модулю 10^{-3} рад, а координата s – не превышает по модулю $15 \cdot 10^{-4}$. Это свидетельствует, что нечеткий регулятор, полученный с помощью разработанной процедуры, может вырабатывать управляющее воздействие u , которое позволяет перевернутому маятнику сохранять положение равновесия.

Выводы

Предложенная авторами процедура позволяет упростить процесс проектирования нечеткого регулятора, устанавливающего взаимосвязь выходных переменных с большим числом входных переменных, ее целесообразно применять в случае отсутствия или чрезвычайной сложности описания объекта. Недостатком процедуры является резкое увеличение времени ее работы при увеличении количества входных переменных или количества термов, которые их описывают, поэтому единственным ограничением для применения разработанного метода является мощность компьютера, выполняющего подбор параметров.

Одним из вариантов модернизации предлагаемого метода может стать учет каких-либо нечетких правил или некоторых параметров термов, предложенных, например, экспертом, или, зафиксированных по технологическим соображениям. В этом случае параметры соответствующих правил фиксируются и не изменяются в процессе работы генетического алгоритма, что позволит уменьшить время нахождения оптимальной структуры нечеткого регулятора.

Список литературы

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил
2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М: Горячая линия - Телеком, 2007 г. - 288 с, ил.
3. Чубукова И.А. Data Mining: учебное пособие/ И.А. Чубукова. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 382 с.: ил., табл. – (Серия «Основы информационных технологий»)
4. Cordon, F. Herrera, F. Hoffman, L. Magdalena Genetic Fuzzy Systems: evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases, 2001.
5. Растрингин Л.А. Случайный поиск — специфика, этапы истории и предрассудки. Вопросы кибернетики. Вып. 33 (1978), С. 3–16.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.И. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.И. Попов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с. – (Серия: Специалист)

ТРАНСЛЯЦИЯ ПРОСТРАНСТВА ОТКРЫТОГО МИРА В РЕЛЯЦИОННЫЕ СХЕМЫ ДАННЫХ

Аннотация

В данной статье рассмотрен вопрос трансляции высказываний дескриптивных логик, сформулированных в рамках предположения об открытости мира в реляционные схемы данных, сформулированные в рамках предположения о закрытости мира. Предложен вариант трансляции, основанный на определении простых отношений для каждого домена сложного реляционного отношения и использовании значимой тройки отношений, покрывающей все пространство определения высказывания, позволяющий явно сохранять только значимую двойку отношений, что существенно уменьшает пространственную сложность решения.

Введение

Современные системы управления сложными техническими и организационными объектами не могут быть реализованы без использования информационных систем, накапливающих и обрабатывающих данные об управляемом объекте и систем управления знаниями в виде онтологий.

Одной из существенных проблем согласования онтологий и систем хранения данных является принципиально различный подход к интерпретации хранимых данных. Онтологии базируются на предположении об открытости мира (ПОМ) [1], следуя которому отсутствие утверждения не говорит о его ложности. Такой подход оправдан для абстрактных систем логического вывода, область охвата предметной области которыми невелика. Для систем хранения и обработки данными (в том числе реляционных баз данных) используется предположение о закрытости мира (ПЗМ) [2], которое постулирует отсутствие утверждение как его ложность. Данный подход оправдан для систем в наибольшей степени охватывающих предметную область.

Проблемы прямой трансляции предикатов в отношения

Основная проблема ПОМ заключается в ее высокой пространственной сложности для прикладных систем [3]. ПОМ сводится к необходимости явного определения истинности или ложности всех высказываний для полного описания предметной области. Таким образом, если существует n -местный предикат $M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, где каждая переменная m_i ($i=1..n$) принадлежит домену (множеству) D^{m_i} , причем только K наборов являются истинными и для полного описания предиката необходимо определить $\prod_{i=1}^n |D^{m_i}|$ наборов

аргументов, то коэффициент избыточности ПОМ относительно ПЗМ C может

$$\text{быть определен как } C = \frac{\prod_{i=1}^n |D^{m_i}| - K}{\prod_{i=1}^n |D^{m_i}|}.$$

Прикладные системы хранения и обработки информации ориентированы на обработку конечных множеств данных, для БК как правило выполняется условие $K \leq \prod_{i=1}^n |D^{m_i}|$, однако для многоместных ролей, определяющих взаимодействие конкретных объектов реального мира друг с другом выполняется условие $K \ll \prod_{i=1}^n |D^{m_i}|$, т.к. для всех объектов реального мира типична локальность – они взаимодействуют только со своим ближайшим окружением, затрагивая относительно небольшое число других объектов.

Типичным примером избыточности ПОМ может быть задача хранения информации о деталях, которая в ПЗМ может быть представлена отношениями-доменами «КОД», «ВЕС» и «СКЛАД» и отношением «ДЕТАЛИ» следующего вида:

КОД	ВЕС	СКЛАД	ДЕТАЛИ		
Имя	Имя	Имя	Код	Вес	Склад
КТ3102	10	1	КТ3102	10	1
КТ3107	12	2	КТ3107	12	2
КП303	13		КП303	13	1

Рис.1. Реляционное отношение «ДЕТАЛИ» и определяющие ее домены

Если информация об отношении «ДЕТАЛИ» известна полностью в рамках ПЗМ, то для полного определения предиката «ДЕТАЛИ» необходимо составление следующей таблицы истинности.

Код (a)	Вес (b)	Склад (c)	P(a,b,c)	Код (a)	Вес (b)	Склад (c)	P(a,b,c)
КТ3102	10	1	1	КТ3102	12	2	0
КТ3107	10	1	0	КТ3107	12	2	1
КП303	10	1	0	КП303	12	2	0
КТ3102	10	2	0	КТ3102	13	1	0
КТ3107	10	2	0	КТ3107	13	1	0
КП303	10	2	0	КП303	13	1	1
КТ3102	12	1	0	КТ3102	13	2	0
КТ3107	12	1	0	КТ3107	13	2	0
КП303	12	1	0	КП303	13	2	0

Рис.2. Таблица истинности предиката «ДЕТАЛИ»

Как видно из приведенного примера, при операциях с реальными объектами в данном случае коэффициент избыточности $C=0.83(3)$. Это связано с тем, что отношение «ДЕТАЛИ» является доменом в трактовке расширенной

реляционной модели данных, т.е. определяет все допустимые комбинации атрибутов (определяет все выполнимые значения предиката).

Расширенная трансляция предикатов в отношения

Одним из возможных решений наиболее точного отображения предикатов на реляционные отношения является расширение области определения отношения на дополнительный атрибут, определяемый значением всего предиката. Любой n -местный предикат может быть представлен $n+1$ -местным отношением [4], где первые n -мест отношения соответствуют n -переменным предиката, а $(n+1)$ -ое место определяет значение предиката. Такой подход дает возможность перевести предикат, определенный в рамках ПОМ в отношение, определенное в рамках ПЗМ.

Если взять за основу таблицу истинности для предиката «ДЕТАЛИ» в рамках ПОМ, приведенную на рисунке 2, то определяющее ее реляционное отношение в рамках ПЗМ без потери тройственности ПОМ будет определено так, как представлено ниже:

ДЕТАЛИ *							
Код	Вес	Склад	F				
КТ3102	10	1	1	КТ3102	13	1	0
КТ3102	10	2	0	КТ3107	13	1	0
КТ3102	12	1	0	КП303	13	1	1
КТ3107	12	1	0	КТ3102	13	2	0
КП303	12	1	0	КТ3107	13	2	0
КТ3102	12	2	0	КП303	13	2	0
КТ3107	12	2	1	КТ3107	10	1	NULL
КП303	12	2	0	КТ3107	10	2	NULL
				КП303	10	1	NULL
				КП303	10	2	NULL

Рис.3. Отображение полной области значений предиката «ДЕТАЛИ» на расширенное реляционное отношение «ДЕТАЛИ*»

Реляционное отношение позволяет определять неизвестные значения атрибутов, что позволяет в рамках $n+1$ -местного реляционного отношения задать всю область значения n -местного предиката. Важно отметить, что при трансляции предиката определенного в рамках ПОМ в отношение, определенное в рамках ПЗМ условие полного определения всей области значения предиката является обязательным – сохраняться должны все три типа высказываний – истинные, ложные и неизвестные. Это дает возможность считать все остальные состояния ложными.

Существенным минусом такого решения является его высокая сложность по памяти: для определения полной области значений необходимо сохранить $\prod_{i=1}^n |D^{m_i}|$ кортежей. Для решения этой проблемы можно воспользоваться возможностью сложной композиции отношений по следующему алгоритму.

Если задан n -местный $M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и его проекция на реляционное отношение определена как $(n+1)$ -местное отношение $R\{r_1, r_2, \dots, r_n, r_{n+1}\}$, где

$r_i \sim m_i$ ($i=1..n$), а $r_{n+1} \sim M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, то отношение R , выступающее в роли проекции предиката, может быть представлено как объединение значимой тройки отношений:

$$R = R_{true} \cup R_{false} \cup R_{NULL}$$

$$R_{true} = \sigma_{r_{n+1}=1}(R); R_{false} = \sigma_{r_{n+1}=0}(R); R_{NULL} = \sigma_{r_{n+1}=NULL}(R);$$

Т.к. каждый атрибут отношения R явно определен на отношении домене (для $\forall r_i (i=1..n) \exists E^i$ такое, что $r_i = FK(E^i)$), то для R как для полного отображения всей области значения предиката M выполняется следующее условие $R' = \pi_{r_1, r_2, \dots, r_n}(R) = \times_{i=1}^n E^i$

Для определения отношения R в рамках всей области определения предиката M достаточно определения любой пары отношений из тройки R_{true} , R_{false} , R_{NULL} . В качестве такой пары в прикладных системах целесообразно выбирать пару, имеющую наименьшую мощность тела отношения с целью уменьшения сложности по памяти. Каждое из отношений тройки определено таким образом, что атрибут r_{n+1} является неизменным для всего отношения, т.е. не является функционально зависимым от первичного ключа, а функционально зависит от метаданных – от наименования самого отношения, то данный атрибут может быть исключен из отношений тройки

$$R_{true}^* = R' - R_{false}^* \cup R_{NULL}^*; R_{false}^* = R' - R_{true}^* \cup R_{NULL}^*; R_{NULL}^* = R' - R_{false}^* \cup R_{true}^*$$

Рассмотрим такую возможность декомпозиции на основе полного отображения, представленного на рис. 3. Значимую тройку для отношения «ДЕТАЛИ*» можно определяются следующим образом:

<i>ДЕТАЛИ_{true}*</i>		
Код	Вес	Склад
КТ3102	10	1
КТ3107	12	2
КП303	13	1

<i>ДЕТАЛИ_{NULL}*</i>		
Код	Вес	Склад
КТ3107	10	1
КТ3107	10	2
КП303	10	1
КП303	10	2

$$ДЕТАЛИ_{false}^* = (КОД \times ВЕС \times СКЛАД) - ДЕТАЛИ_{true}^* \cup ДЕТАЛИ_{NULL}^*$$

Рис.4. Значимая тройка отношений, эквивалентная предикату «Детали».

Выводы

Таким образом, при помощи неизвестных значений и трансляции всей области определения предиката в реляционное отношение становится возможным преобразовывать без потери предикаты, сформулированные в рамках ПОМ в отношения расширенной реляционной модели данных, сформулированные в рамках ПЗМ. Полученные отношения возможно оптимизировать на основе их декомпозиции на значимые тройки и взаимовыразимости каждого отношения тройки на основе пары других отношений и отношений-доменов, определяющих их атрибуты.

Список литературы

1. Ullrich Hustadt. Do we need the closed-world assumption in knowledge representation? // [сайт] URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1/hustadt-long.pdf> (дата обращения: 27/03/2011).
2. Dritan Berzati // Negation as failure — s.l.: Nova Publishers, 2006.
3. Cristina Sirangelo Leonid Libkin Proceedings of the DL Home 22nd International Workshop on Description Logics // Open and Closed World Assumptions in Data Exchange. — Oxford, 2009. — с. 27-30.
4. E.F. Codd A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks // Communications of the ACM. — №13. — june 1970. — с. 377-387

УДК 004.896

И.К. Минашина, Е.М. Захарова

Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ В НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЯХ

Аннотация

Исследуется проблема искажения сигналов в коммуникационных каналах и предлагается методика восстановления исходного сигнала в системах связи, основанных на хаосе. В качестве реализации приводится метод построения модели с помощью нейро-нечеткого гибридного алгоритма, использующего алгоритм Качмажа для параметрической идентификации.

Введение

Данная работа посвящена применению нейро-нечетких моделей для описания коммуникационных каналов и их построению с использованием релаксационных алгоритмов.

Нечеткая логика и нейронные сети являются универсальными аппроксиматорами и теоретически могут приближать произвольную нелинейную функцию с любой заданной точностью. Результаты, полученные в последние десятилетия, показали, что процедура синтеза этих двух технологий оказалась весьма полезной для идентификации нелинейных систем.

Нечеткие модели Такаджи-Суджено стали довольно мощным средством для моделирования и управления сложными системами. Тем не менее, многие вопросы, в том числе и проблема устойчивости нейро-нечеткой идентификации и управления, требуют своего решения.

Основное внимание в данной статье уделяется построению модели с помощью гибридного алгоритма, используя алгоритм Качмажа в качестве параметрической идентификации.

Для решения поставленных задач в работе используются следующие методы: нечеткая логика, нейронные сети и рекуррентные алгоритмы.

Объект исследования - описание проблемы

В статье исследуется проблема искажения коммуникационного канала и предлагается методика восстановления исходного сигнала в системах связи, основанных на хаосе.

В действительности, реализация хаотической системы связи может быть затруднена из-за шума (помех). Этому способствуют такие явления как межсимвольная интерференция, тепловой шум, импульсные помехи и нелинейные искажения, возникающие в процессе модуляции.

В данной работе сделана попытка разработать модель восстановления исходного сигнала в хаотических системах связи, в частности, используя модифицированную рекуррентную нейρο-сеть (РНС) для реализации задачи.

Формальная постановка задачи

Рассмотрим подробнее исследуемую нами задачу.

Предположим x - передаваемый сигнал, а h - трансформирующая функция канала. Выходной сигнал канала s поврежден шумом η , причем $s = h(x)$. Тогда выходной сигнал для моделирования $y = s + \eta$.

В целом, она может быть сформулирована следующим образом. Дана искаженная шумом последовательность y , и надо найти такое преобразование, чтобы первоначально передаваемая последовательность x могла быть реконструирована.

Это может быть аппроксимировано следующей рекуррентной моделью[2]:

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^n u_i \varphi \left(\sum_{j=1}^M \tilde{\omega}_{ij} y(t-j) + \sum_{j=1}^N \tilde{\omega}'_{ij} (x(t-j) - \hat{x}(t-j)) + \theta \right), \quad (1)$$

что на самом деле является частным случаем модели РНС.

Здесь $u_i, \tilde{\omega}_{ij}, \tilde{\omega}'_{ij}$ - коэффициенты; θ - это параметр и φ - нелинейная функция.

Или, в более общем виде в обозначениях модели РНС

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^n [u_i(t) \varphi \sum_{j=1}^{M+N+1} w_{ij}(t) v_j(t)], \quad (2)$$

где $w_{ij}(t)$ - весовой коэффициент связи между i -м скрытым элементом и j -м входным элементом в момент времени t , $u_i(t)$ - весовой коэффициент между i -м скрытым элементом и выходным элементом.

Для $1 \leq i \leq N$, а также полагая

$$w_{ij} = -w_{ij} u_i \quad \text{для } M+2 \leq j \leq M+N+1, \quad (3)$$

и

$$w_{ij}(M > N) = \begin{cases} \tilde{\omega}_{ij} + \tilde{\omega}'_{ij} & \text{при } 2 \leq j \leq N+1 \\ \tilde{\omega}_{ij} & \text{при } N+2 \leq j \leq M+1 \end{cases}, \quad (4)$$

мы можем увидеть, что (1) есть частный случай (2) для $M > N$. Аналогичный вывод можно сделать и для случаев $M < N$ и $M = N$.

Структура алгоритма

Для идентификации модели предлагается использовать гибридный подход, использующий структурную и параметрическую идентификацию.

Поскольку сложные и плохо формализуемые системы функционируют в условиях неопределенностей для построения правил выводов системы принятия решений наряду с аналитическими алгоритмами и нейронными сетями будем использовать нечеткую логику.

В данной работе используется нечеткая разностная модель *TSK*-модель, построенная на базе статистической нечеткой модели Такаги (*Takagi*) и Суджено (*Sugeno*), именуемой *TS*-моделью

$$R^\theta : \text{если } v_1 \text{ есть } V_1^\theta, \dots, v_{N+M+1} \text{ есть } V_r^\theta \\ \text{то } x^\theta(t) = w_0^\theta + \sum_{j=1}^{N+M+1} w_j^\theta v_j(t), \theta = \overline{1, n},$$

где V_l^θ – нечеткие множества, характеризующиеся функциями принадлежности $V_l^\theta(v_l, d_l^\theta)$.

В блоке фазификации значения переменных $v_1(t), v_2(t), \dots, v_{N+M+1}(t)$ преобразуются в матрицу

$$V = \begin{bmatrix} V_1^1(v_1) & V_2^1(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^1(v_{M+N+1}) \\ V_1^2(v_1) & V_2^2(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^2(v_{M+N+1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_1^n(v_1) & V_2^n(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^n(v_{M+N+1}) \end{bmatrix}.$$

В блоке нечеткого вывода вычисляется величина истинности θ -ого правила

$$\beta^\theta = V_1^\theta(v_1) \oplus V_2^\theta(v_2) \oplus \dots \oplus V_{N+M+1}^\theta(v_{N+M+1})$$

и нечеткая функция

$$u^\theta = \beta^\theta / (\beta^1 + \beta^2 + \dots + \beta^n), \theta = \overline{1, n}.$$

Исходные данные для алгоритма: количество правил n , порядок r , s нечеткой модели, начальное значение вектора коэффициентов w , параметры функций принадлежности и обучающая статистика для гибридного алгоритма. Критерием остановки алгоритма является средне модульная ошибка $J < 0.02$.

Рассмотрим подробнее блок нахождения оптимальных коэффициентов.

В отличие от [2], я использовала алгоритм Качмажа в качестве алгоритма параметрической идентификации (исследуя его эффективность по сравнению с МНК):

$$W_t = W_{t-1} + \frac{x_t - \hat{x}_t}{\|V_t\|^2} V_t, \quad (5)$$

где $\|\cdot\|$ - евклидова норма в R^{N+M+1} .

Алгоритм (5) монотонно сходится при любых начальных условиях. Максимальная скорость сходимости достигается, если входные векторы V_t в

последовательных тактах $1, 2, \dots, t-1, t$ ортогональны. В этом случае для точного определения параметров объекта требуется не более $N+M+1$ шагов [1].

Результаты

Изучаемый канал является линейным и может быть представлен в области Z следующей функцией преобразования:

$$H_1(z)=1+0,5z^{-1}.$$

Когда коэффициент сигнал/шум(SNR), становится равным 10 ДБл, из БПФ-спектра передаваемого и полученного сигнала виден широкополосный характер передаваемого сигнала и искажения, вызванные каналом.

После обучения гибридным алгоритмом получены набор нечетких правил. Произведен анализ эффективности работы использованного алгоритма посредством расчета среднемодульной ошибки моделирования.

По результатам проделанной работы были сделаны следующие выводы:

- построен алгоритм восстановления передаваемого сигнала, состоящий из обученной специальным алгоритмом РНС;
- показано, что предложенный алгоритм позволяет эффективно бороться с искажениями канала и восстанавливать полезный сигнал на выходе из хаотического канала связи;
- проведено сравнение результатов работы предложенного гибридного алгоритма с использованием алгоритма Качмажа с РНС на базе метода МНК в качестве методов нахождения оптимальных параметров. Показано, что алгоритм Качмажа дает большую скорость сходимости нежели МНК. Автор выражает благодарность проф.Ф.Ф. Пащенко за постановку задачи и полезные советы.

Список литературы

1. Ф.Ф. Пащенко. «Введение в состоятельные методы моделирования систем; Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1. Математические основы моделирования систем. Ч. 2. Идентификация нелинейных систем » - М.: Финансы и статистика, 2007.
2. A Neural-Network-Based Channel-Equalization Strategy for Chaos-Based Communication Systems, Jiuchao Feng, Chi K. Tse, and Francis C. M. Lau

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УПРАВЛЕНИИ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗКАМИ

Аннотация

Исследуется проблема регулирования пассажиропотоков. Рассматриваются методы интеллектуального анализа данных для моделирования сложных систем в условиях неопределенности. Предложен алгоритм для прогнозирования пассажиропотока, использующий метод стохастической аппроксимации для параметрической идентификации.

Введение

В последние годы проблема оптимизации пассажироперевозок железнодорожным транспортом является особо важной задачей, т.к. РЖД – одна из немногих системообразующих отраслей, связывающая воедино регионы России. Существующие методы уже не являются столь эффективными по причине недостатка адекватных моделей в данной области и увеличения количества потока пассажиров с открытием новых станций на уже существующих путях. Поэтому имеется необходимость прогнозирования потока пассажиров для оптимизации уже существующих или планируемых систем путей сообщения. В работе описана система моделирования и прогнозирования потока пассажиров и оптимизации состава поездов, как составная часть системы поддержки принятия решений (СППР). [2,3]

Постановка задачи

Разработка СППР для управления пассажироперевозками направлена на разработку адекватной математической модели пассажиропотока и ее калибровку, решение проблем управления дорожной ситуацией на основе текущей информации. Методы интеллектуального анализа данных используются для моделирования пассажироперевозок в условиях неопределенности и для принятия решений по оптимизации процесса.

Данную задачу можно рассматривать как задачу нелинейного моделирования и описать следующим способом:

$$N(t) = \omega(N_{-1}(t-1), N_{-1}(t-2), \dots, N_{-1}(t-M), e(t-1), e(t-2), \dots, e(t-L))) + e(t), \quad (1)$$

где $N_{-1}(t)$ – плотность потока пассажиров в предыдущий день; ω – неизвестная функция; $e(t)$ – разница между известной и оцениваемой плотностью потока ω в момент t ; M и L – временные задержки входа и ошибки соответственно.

Это уравнение может быть аппроксимировано следующей рекуррентной моделью:

$$\hat{N}(t) = \sum_{i=1}^n u_i \varphi \left(\sum_{j=1}^M \tilde{\omega}_{ij} N_{-1}(t-j) + \sum_{j=1}^L \tilde{\omega}'_{ij} (N(t-j) - \hat{N}(t-j)) + \theta \right), \quad (2)$$

где \hat{N} – оцениваемый поток; t – момент времени; $u_i, \tilde{\omega}_{ij}, \tilde{\omega}'_{ij}$ – коэффициенты; θ – параметр; φ – нелинейная функция.

Или, в более общем виде в обозначениях модели рекуррентной нейросети (РНС):

$$\hat{N}(t) = \sum_{i=1}^n [u_i(t) \varphi \left(\sum_{j=1}^{M+L+1} w_{ij}(t) v_j(t) \right)], \quad (3)$$

где $w_{ij}(t)$ – весовой коэффициент связи между i -м скрытым элементом и j -м входным элементом в момент времени t , $u_i(t)$ – весовой коэффициент между i -м скрытым элементом и выходным элементом.

Гибридный алгоритм в подсистеме моделирования СППР

Большинство современных систем управления технологическими процессами строятся с использованием математического моделирования и прогнозирования. Они имеют важные особенности: сложность, наличие запаздывания и помех, нестационарность и т.п. Эти условия неопределенности приводят к тому, что стандартный детерминированный подход к моделированию может стать неприемлемым. Один из подходов решения этой проблемы является привлечение качественной информации, а также использование нечеткой логики и нейронных сетей наряду с аналитическими алгоритмами [5].

В данной работе используется нечеткая разностная модель *TSK*-модель, построенная на базе статистической нечеткой модели Такаги (*Takagi*) и Суджено (*Sugeno*), именуемой *TS*-моделью:

$$\begin{aligned} R^\theta : & \text{если } y(t-1) \text{ есть } Y_1^\theta, \dots, y(t-r) \text{ есть } Y_r^\theta \\ & e(t) \text{ есть } E_0^\theta, \dots, e(t-s) \text{ есть } E_s^\theta, \quad (4) \\ \text{то } x^\theta(t) = & a_0^\theta + \sum_{j=1}^r \tilde{\omega}_j^\theta y(t-j) + \sum_{j=0}^s \tilde{\omega}'_j^\theta e(t-j), \quad \theta = 1, \dots, n \end{aligned}$$

где Y_l^θ – нечеткие множества, характеризующиеся функциями принадлежности $Y_l^\theta(y(t-l), \mathbf{d}_l^\theta)$, форма, размеры и расположение которых зависит от векторов параметров \mathbf{d}_l^θ .

TS – модель позволяет применять параметрическую идентификацию для нечеткой динамической модели; описывать нелинейные динамические процессы несмотря на наличие линейного разностного уравнения в правой части; мало чувствительность к помехам и погрешностям измерения за счет усредняющих свойств механизма вывода и специфического вида функций принадлежности.

Перепишем модель, используя введенные нами ранее обозначения:

$$R^\theta : \text{если } v_1 \text{ есть } V_1^\theta, \dots, v_{N+M+1} \text{ есть } V_r^\theta$$

$$\text{то } x^\theta(t) = w_0^\theta + \sum_{j=1}^{N+M+1} w_j^\theta v_j(t), \theta = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где V_l^θ – нечеткие множества, характеризующиеся функциями принадлежности $V_l^\theta(v_l, \mathbf{d}_l^\theta)$

В блоке фазификации значения переменных $v_1(t), v_2(t), \dots, v_{N+M+1}(t)$, преобразуются в матрицу (6):

$$V = \begin{bmatrix} V_1^1(v_1) & V_2^1(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^1(v_{M+N+1}) \\ V_1^2(v_1) & V_2^2(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^2(v_{M+N+1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_1^n(v_1) & V_2^n(v_2) & \dots & V_{M+N+1}^n(v_{M+N+1}) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

В блоке нечеткого вывода вычисляется величина истинности θ -ого правила:

$$\beta^\theta = V_1^\theta(v_1) \oplus V_2^\theta(v_2) \oplus \dots \oplus V_{N+M+1}^\theta(v_{N+M+1}), \quad (7)$$

и нечеткая функция:

$$u^\theta = \beta^\theta / (\beta^1 + \beta^2 + \dots + \beta^n), \theta = \overline{1, n}, \quad (8)$$

Общая структура алгоритма

Будем использовать гибридный подход идентификации модели, включающий в себя структурную и параметрическую идентификацию. Структурная идентификация заключается в определении количества правил и порядка нечеткой модели, параметрическая – в определении коэффициентов линейных разностных уравнений, а также параметров функций принадлежности. Исходными данными для алгоритма: являются: количество правил n , порядок r, s нечеткой модели, значение векторов коэффициентов c и параметры функций принадлежности. Критерием остановки алгоритма является средне модульная ошибка:

$$J(c) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (|x(t) - \hat{x}(t)| / x(t)), \quad (9)$$

Работа всего ГА завершается, когда $J < 0.03$.

Рассмотрим отдельные этапы алгоритма более подробно:

Задание начальных условий экспертом

На этом этапе эксперт задает начальные условия: количества правил «если-то», структуру правил, порядок нечеткой модели (количество переменных характеризующие предыдущие значения выхода), структуру функций принадлежности. Начальные значения нужны для старта работы алгоритма, они будут модифицироваться по мере прохождения алгоритмом следующих этапов.

Нахождение оптимальных коэффициентов модели.

В данном случае для оценки параметров системы был взят алгоритм стохастической аппроксимации, который имеет вид:

$$C_t = C_{t-1} + \alpha(y_t - \hat{y}_t)X_t, \quad \alpha > 0. \quad (10)$$

Оптимизация функций принадлежности

Определение или уточнение структуры функций принадлежности следует рассматривать как поисковую процедуру, позволяющую в некоторых случаях совместно с алгоритмом нахождения вектора параметров c снизить погрешность нечеткой динамической модели без увеличения числа правил n . Определение параметров функций принадлежности – это задача минимизации интегрального критерия – средней относительной модульной ошибки

$$J(c) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (|y(t) - \hat{y}(t, d)| / y(t)), \quad (11)$$

где d – вектор параметров функций принадлежности.

В этих условиях высокую эффективность продемонстрировали генетические алгоритмы.

Имитационное моделирование пассажиропотока

Для старта ГА необходимы обучающие данные. Входными данными него являются: время прогнозирования t , плотности потока в момент $t-1$ и $t-2$, максимальное количество стоячих и сидячих мест. Для каждого из этих параметров рассчитываются функции принадлежности, и набор нечетких правил. Прогнозирование максимальной плотности пассажиропотока по всему временному отрезку движения выбранного поезда определяет его оптимальное количество вагонов.

Заключение

Работа посвящена построению нейро-нечетких моделей пассажиропотока с использованием релаксационных алгоритмов для параметрической идентификации. Для моделирования поведения транспортного потока разработан ГА, основанный на нечеткой логике, нейронных сетях и алгоритме стохастической аппроксимации. Для систем принятия решений управления транспортным потоком предложен алгоритм прогнозирования.

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ проект №12-08-13175-офи_м_РЖД.

Автор выражает благодарность проф. Ф.Ф. Пащенко за постановку задачи и полезные советы.

Список литературы

1. Пащенко Ф.Ф. «Введение в состоятельные методы моделирования систем; Ч. 2 Идентификация нелинейных систем» - М.: Финансы и статистика, 2007.
2. Пащенко Ф.Ф., И.С. Дургарян, В.П. Синицын. «Системы поддержки принятия решений в АСУТП ЭС», ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2012
4. Боровиков В.П. «Нейронные сети. Statistica Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных, 2 издание, Телеком, 2008
5. Вазан М. Стохастическая аппроксимация. М.: «Мир», 1972, с. 295.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ АССОЦИАТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

В настоящее время на практике широко применяются системы управления, построенные с применением технологии нечеткого регулирования. Однако в большинстве случаев они обладают серьезным недостатком - сложностью алгоритма вычисления и, как следствие, требовательностью к вычислительным ресурсам микроконтроллера.

Данный недостаток можно преодолеть, если для реализации регулятора использовать технологию ассоциативной памяти, при помощи которой можно с достаточной точностью воспроизвести поверхность решений нечеткого регулятора, при этом формируя выходной сигнал быстрее и с меньшими затратами аппаратных ресурсов.

Методика синтеза регулятора

Данная методика предполагает использование для синтеза регулятора технологий нечеткой логики, генетических алгоритмов и ассоциативной памяти.

Предлагаемая методика предполагает выполнение следующих шагов:

1. Синтез регулятора-прототипа на основе нечеткой логики, что включает в себя:

- определение множества целей, стоящих перед системой управления;
- определение множества входных и выходных переменных регулятора;
- определение возможных ситуаций в работе системы;
- формирование базы правил;
- выбор методов фаззификации и дефаззификации [1];

2. Донастройка выходной поверхности с помощью генетического алгоритма. В качестве *fitness*-функции предлагается использовать площадь между графиком выходной характеристики и целевым графиком.

3. Синтез выходного ассоциативного регулятора:

3.1 Определение размера ассоциативного массива:

- определение необходимой точности регулирования и диапазона допустимых отклонений управляющего воздействия ассоциативного регулятора от регулятора-прототипа;
- определение шага дискретизации входных воздействий, зависящего как от требуемой точности регулирования, так и от ограничений, накладываемых используемым аппаратным обеспечением;

3.2 Заполнение ассоциативного массива.

Схема алгоритма синтеза регулятора изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема алгоритма синтеза регулятора

Рассмотрим подробнее третий шаг предлагаемой методики, а именно «синтез ассоциативного регулятора».

Для заполнения ассоциативного массива необходимо равномерно разбить область изменения каждой из входных переменных на одинаковое количество участков, и вычислить значение выходной переменной нечеткого регулятора для каждой комбинации границ этих участков. Вычисленное значение заносится в соответствующий элемент ассоциативного массива.

Размерность ассоциативного массива зависит от количества входных величин системы управления. Каждая входная величина соответствует одному измерению ассоциативного массива.

Количество ассоциативных массивов, требуемых для работы регулятора зависит от количества выходных величин системы управления. Однако в целях экономии памяти микроконтроллера возможна реализация одного ассоциативного массива, в ячейках которого могут быть записаны все выходные величины в виде массива.

Поскольку входные сигналы являются непрерывными величинами, а поверхность задана дискретно, то в составе ассоциативного регулятора реализован алгоритм нахождения выходной величины по непрерывным аргументам.

Принцип этого алгоритма заключается в том, что промежуточные значения матрицы аппроксимируются по некоторому алгоритму.

Алгоритм аппроксимации

Разработанный алгоритм аппроксимации предполагает выполнение следующих действий:

1. Нахождение ячеек ассоциативного массива, между которыми «находится» искомое выходное значение. В общем случае число таких ячеек равно 2^n , где n -размерность ассоциативного массива.

2. Вычисляем «расстояния» от «искомой ячейки» до найденных ячеек по формуле

$$d_i = \sqrt{(x_{1i} - y_1)^2 + (x_{2i} - y_2)^2 + \dots + (x_{ni} - y_n)^2}, \quad (1)$$

где x_{1i} – значение 1-го измерения i -ой ячейки,

x_{2i} – значение 2-го измерения i -ой ячейки,

x_{ni} – значение n -го измерения i -ой ячейки,

y_1 – значение 1-ой входной переменной,

y_2 – значение 2-ой входной переменной,

y_n – значение n -ой входной переменной.

3. По вычисленным «расстояниям» определяем «ближайшую» ячейку и принимаем её за базовую.

4. Аналогично способу, описанному в пункте 2, находим n ячеек «ближайших» к базовой ячейке.

5. Вычисляем n корректирующих коэффициентов по формуле

$$k_i = \frac{|x_{i, \text{баз}} - y_i|}{dx_i}, \quad (2)$$

где $x_{i, \text{баз}}$ – значение i -го измерения базовой ячейки,

y_i – значение i -ой входной переменной,

dx_i – разницы между значениями i -го измерения соседних ячеек ассоциативного массива.

6. Вычисляем корректирующие слагаемые для нахождения выходного значения по формуле

$$dh_i = k_i \cdot (Z_i - Z_{\text{баз}}), \quad (3)$$

где Z_i – значение i -ой ячейки ассоциативного массива,

$Z_{\text{баз}}$ – значение базовой ячейки ассоциативного массива.

7. Вычисляем выходное значение по формуле

$$z = Z_{\text{баз}} + dh_1 + dh_2 + \dots + dh_i \quad (4)$$

Сравнение исходного и полученного регуляторов

В качестве примера улучшения технических показателей системы управления приведем графики переходного процесса для двухвходового регулятора. На рис. 2 приведен переходной процесс системы с нечетким регулятором.

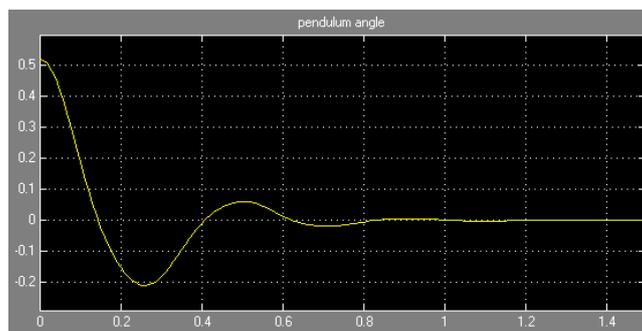


Рис. 2. Переходной процесс системы нечетким регулятором

На рис. 3 приведен переходной процесс системы с синтезированным на основе нечеткого регулятора-прототипа ассоциативным регулятором.

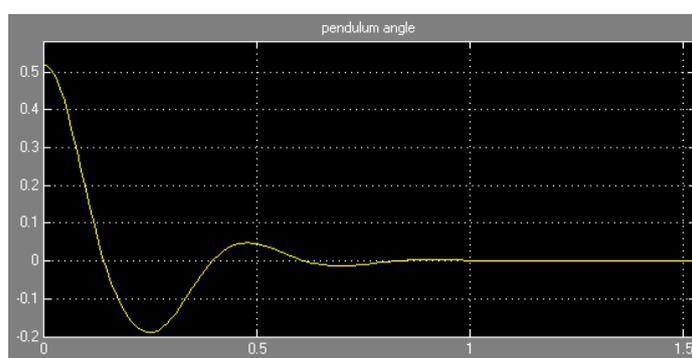


Рис.3. Переходной процесс системы с ассоциативным регулятором

Из приведенных графиков видно, что ассоциативный регулятор имеет лучшие на 15-20% показатели как по величине перерегулирования, так и по времени регулирования.

Таким образом, предлагаемая методика синтеза ассоциативного регулятора на основе гибридных технологий позволяет из исходного регулятора-прототипа, реализованного на нечеткой логике, получить ассоциативный регулятор, обладающий лучшими характеристиками быстродействия и точности работы.

Список литературы

1. В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов, Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики: Учебное пособие – Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1995. – 80 с.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ДОПУСТИМОЙ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Аннотация

Рассматривается задача построения области допустимой вариации параметров при проектировании сложных аналоговых систем. Предложен способ проверки нахождения вектора параметров системы внутри этой области на основе применения радиально-базисной нейронной сети.

Задача построения области допустимой вариации параметров

Проектирование технических систем ответственного назначения связано с задачей исследования влияния параметрических возмущений на способность системы выполнять возложенные на нее функции в рамках установленных требований. Основные трудности решения этой задачи состоят в большой размерности пространства исследуемых параметров и сложности модели системы, которая зачастую задается алгоритмически или в виде «черного ящика». Получение характеристик области в пространстве параметров элементов системы, в каждой точке которой удовлетворяются требования к ее выходным характеристикам, позволит избавиться от трудоемкого и многократного моделирования [1].

Внутренние параметры системы задаются в виде n -вектора действительных чисел:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T. \quad (1)$$

На внутренние параметры налагаются производственные допуски:

$$x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}, \forall i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Выходные характеристики системы количественно задаются m -вектором:

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T. \quad (3)$$

Модель системы устанавливает связь между параметрами элементов (1) и выходными характеристиками (3):

$$y_i = y_i(x), \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Качество функционирования системы определяется проверкой нахождения выходных характеристик (3) в пределах регламентированных диапазонов:

$$y_{i \min} \leq y_i(x) \leq y_{i \max}, \forall i = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

которые называются условиями работоспособности. Ограничения (5) на выходные характеристики задают множество точек в пространстве значений параметров элементов, называемое областью работоспособности (ОР) и представляющее собой область допустимой вариации внутренних параметров:

$$D_x = \left\{ x \in R^n \mid y_{i \min} \leq y_i(x) \leq y_{i \max}, \forall i = 1, 2, \dots, m, \right\} \quad (6)$$

Возможность проверки принадлежности некоторого набора параметров x^* этой области, т. е. $x^* \in D_x$, вместо проверки условия (5) существенно снижает вычислительные затраты на этапе параметрического синтеза в процессе проектирования [1]. Получение характеристик этой области является отдельной самостоятельной задачей и сопряжено с рядом трудностей таких как большая размерность пространства параметров, отсутствие априорной информации о конфигурации этой области, а также отсутствие явных аналитических зависимостей в модели (4).

Один из способов получения характеристик области (6) основан на аппроксимации многомерной области дискретным множеством элементарных параллелепипедов, заданных регулярной сеткой внутри области допусков [2]. Такой способ представления области достаточно громоздкий и требует много ресурсов в случае размерности пространства параметров более 10.

Данная работа посвящена исследованию возможности применения нейросетевого подхода к представлению ОР. Функция обученной нейронной сети заключается в указании находится ли произвольный вектор параметров x^* внутри ОР $x^* \in D_x$ в соответствии с бинарной функцией

$$R(x) = \begin{cases} 1, & y_{i \min} \leq y_i(x) \leq y_{i \max} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

Обучающая выборка ИНС состоит из случайных векторов пространства внутренних параметров и соответствующих им значений функции (7).

Применение радиально-базисной нейронной сети

Для проверки нахождения набора параметров системы внутри ОР предлагается использовать искусственную нейронную сеть (ИНС) с радиально-базисными активационными функциями (РБФ). Топология этой ИНС приведена на рис. 1 [3].

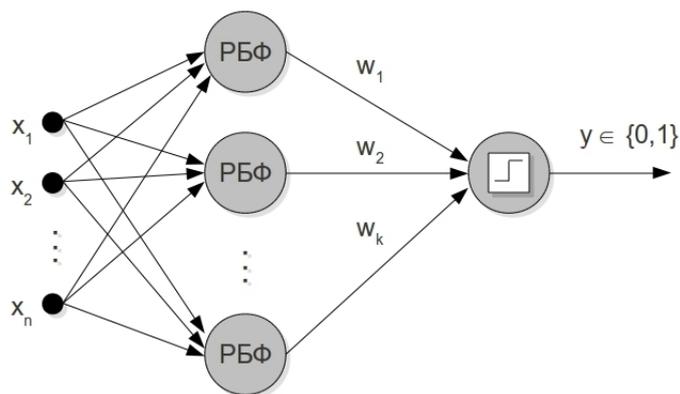


Рис. 1. Структура радиально-базисной ИНС

Активационная функция радиально-базисных нейронов имеет вид:

$$v_i(x) = \exp\left(-\frac{(x - c_i)^2}{\sigma^2}\right), \quad (8)$$

где c_i – радиальный центр i -го нейрона. Как нетрудно видеть, функция (8) изменяется радиально относительно этого центра и в нем достигает своего максимума.

Выход радиально-базисной ИНС формируется, главным образом, за счет взвешенной суммы этих функций от значения одного аргумента:

$$u(w, x) = w_1 \cdot v_1(x) + w_2 \cdot v_2(x) + \dots + w_K \cdot v_K(x). \quad (9)$$

Активационная функция выходного нейрона сети $f(w, x) \in \{0, 1\}$ имеет вид единичного скачка. Аргументом этой функции является взвешенная сумма (9). Вектор $w = (w_1, w_2, \dots, w_K)^T$ содержит весовые коэффициенты выходов радиально-базисных нейронов. Обучение такой ИНС заключается в подборе весовых коэффициентов таким образом, чтобы выход сети для указанного вектора x_p был равен значению функции $R(x_p)$ или суммарная ошибка сети не превышала некоторой допустимой погрешности ε :

$$\sum_{p=1}^P |f(w, x_p) - R(x_p)| \leq \varepsilon, \quad (10)$$

где P — количество обучающих примеров $\langle x_p, R(x_p) \rangle$.

Каждая i -я радиальная функция (8) имеет свой уникальный центр c_i , а также в общем случае может иметь отличное от других значение параметра рассеяния σ . В качестве центров радиальных функций в данной работе предлагается использовать узлы регулярной сетки, используемой при аппроксимации ОР множеством элементарных параллелепипедов [2]. Для этого необходимо располагать следующими данными:

- значения границ допусков (2);
- количество шагов $q_i, \forall i = 1, 2, \dots, n$ по каждому параметру;

Обладая этой информацией, можно вычислить координаты центра каждого радиального нейрона, заданного набором индексов (k_1, k_2, \dots, k_n) . Для этого необходимо вычислить шаг сетки h_i по каждому параметру: $h_i = (x_{i \max} - x_{i \min}) / q_i$, а координаты радиального центра c_j каждого j -го нейрона вычисляются соответственно этим индексам:

$$c_{ji} = x_{i \min} + k_i \cdot h_i, \forall i = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Формулы перехода от набора n индексов (k_1, k_2, \dots, k_n) к одномерному индексу j нейрона и обратно, которые использовались при построении области с помощью дискретного множества элементарных параллелепипедов, приведены в работе [2].

Результаты применения нейронных сетей к задаче построения ОР

В качестве примера рассматривается модель транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) [2]. На рис. 2 приведены сечения фигуры, аппроксимирующей ОР, построенной с помощью дискретного множества элементарных параллелепипедов (показано темными квадратами) и с помощью обученной радиально-базисной ИНС (показано светлыми точками). Темные точки на иллюстрациях являются ошибочными по результатам расчета модели и проверки условий работоспособности (5).

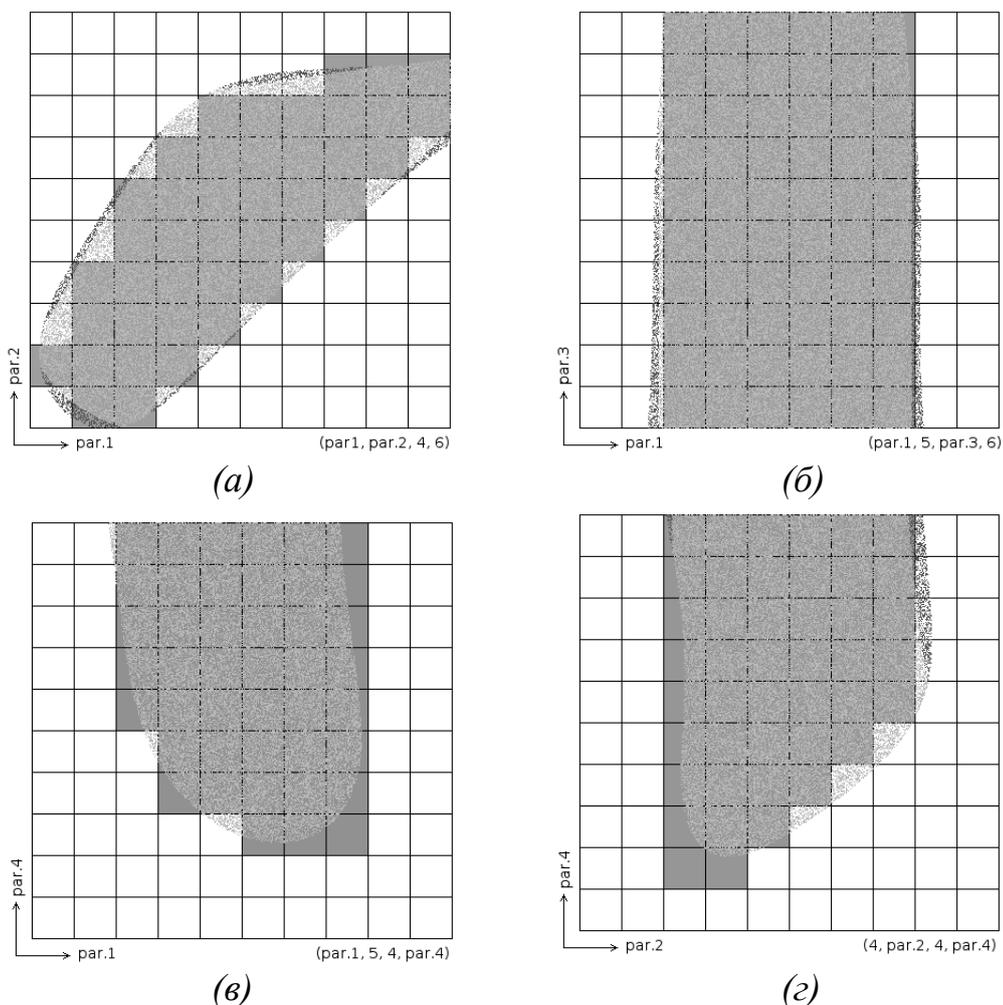


Рис. 2. Сечения ОР

Выводы

При расположении радиальных центров (11) в узлах регулярной сетки, используемой для аппроксимации ОР параллелепипедами, обучение ИНС происходит в среднем в 5788,6 раз дольше, чем аппроксимация параллелепипедами. При этом статистические испытания показали, что ошибка аппроксимации параллелепипедами составляет 9%, а ИНС — в среднем 12.6%. Более целесообразным использование ИНС для решения поставленной задачи считается расположение радиальных центров нейронов, отличное от сеточного.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов ДВО РАН № 13-III-B-03-029 и 12-I-OЭММПУ-01 (в рамках программы №14).

Список литературы

1. Абрамов О.В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. М.: Наука, 1992.
2. Назаров Д.А. Разработка алгоритмических и программных средств построения и анализа областей работоспособности аналоговых технических систем: Дис... канд. техн. наук. - Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2011.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. С польского Д.И. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ И ТРУДНОСТИ ТЕКСТОВОЙ УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ

Аннотация

Предлагается метод оценки трудности и сложности текстовой учебной задачи. Метод основан на автоматическом построении семантических сетей на базе синтаксического анализа текста предметной области и текста задач и алгоритме вычисления сложности семантической сети.

Введение

Основной тенденцией в автоматизации обучения является индивидуальный подход к организации процесса обучения. К актуальным проблемам индивидуализации обучения можно отнести: проверку и оценку знаний, составление программ обучения, индивидуальный подбор учебных задач. Автоматизация индивидуального подбора задач является одной из самых сложных задач, которая в свою очередь взаимосвязана с задачей оценки трудности и сложности учебной задачи.

Основным средством получения процедурных знаний и средством проверки декларативных знаний являются учебные задачи. Учебная задача – задача, разрешение которой связано с открытием и освоением нового познавательного метода, относящегося к более широкому классу задач, чем исходные.

В процессе усвоения знаний (обучения) условно можно выделить источник знаний – теория предметной области и приемник знаний – человек. Знания предметной области являются эталонными знаниями, которые остаются неизменными в течение всего процесса обучения, а знания человека являются пополняемыми. Таким образом, цель обучения заключается в том, чтобы максимально точно передать знания предметной области человеку.

Учебная задача, так же как и описание предметной области, представляет собой знания, которые приобретает человек в результате ее решения. Знания, содержащиеся в учебной задаче, являются частью знаний предметной области.

При сравнении знаний учебной задачи со знаниями предметной области и знаниями человека мы можем говорить о сложности и трудности учебной задачи, которые характеризуют данные сравнения.

В данной работе будет рассмотрен подход автоматизированной оценки трудности учебной задачи, основанный на синтаксическом анализе текстов. Под текстами в данном случае понимается описание предметной области и учебной задачи. В результате анализа текстов строится семантическая сеть, которая представляет собой набор вершин (понятия предметной области) и набор связей (отношения между понятиями предметной области). Таким

образом, знания предметной области и знания, которые содержит оцениваемая задача, представляются в виде семантических сетей. Усвоенные человеком знания в процесс решения задач представлены с помощью семантической сети. Оценка трудности задачи осуществляется путем сравнения сетей между собой.

Суть подхода

Большинство существующих методов формализации текста не являются полностью автоматическими. Решение задач автоматического построения онтологий, тезаурусов, семантических сетей, описывающих смысловую составляющую текста, далеки от совершенства. Существующие решения автоматизации не дают требуемого качества формализации. Такое положение дел связано с тем, что задача семантического анализа текста на сегодняшний день не решена на должном уровне [1]. Однако имеется возможность ее решения на основе синтаксического анализа.

Оценка знаний предполагает сопоставление имеющихся знаний с эталонными. В нашем случае эталонными знаниями будут являться знания о предметной области.

Текст учебного пособия содержит как декларативные знания, так и процедурные. Рассмотрим текст учебного пособия в качестве носителя декларативных знаний. Весь текст учебного пособия разделен на главы. Каждая глава вводит и описывает новые понятия предметной области. В конце каждой главы приведен список задач (или заданий), посредством решения которых проверяются знания обучающегося.

Используя синтаксический анализ, представим текст учебного пособия, текст задачи и знания обучающегося в виде семантических сетей понятий. Семантическая сеть обучающегося является накопительной, которая строится на базе семантических сетей задач.

Имея общую модель представления знаний (семантическая сеть), будет возможно производить сопоставление семантических сетей. Результат сопоставления сетей позволит судить о сложности, трудности и объеме усвоенных знаний обучающимся.

Результатом оценки семантической близости сети предметной области и сети текущей задачи будет являться сложность задачи (объективная характеристика), сети текущей задачи и сети обучающегося – трудность задачи (субъективная характеристика [2]). Семантическая близость сети предметной области и сети обучающегося будет говорить об объеме усвоенных знаний.

Модель оценки трудности

Введем обозначения. Пусть D – трудность семантической сети, c – сложность отношения, d – трудность отношения, w – вес прямого отношения, w_i – вес косвенного отношения, w_{wi} – вес отношения, входящего в состав косвенного отношения, n_{wi} – глубина косвенного отношения, индексы: fld – объект сети предметной области, sub – объект сети обучающегося, obj – объект сети задачи. Под отношением понимается отношение семантической сети,

которое может выступать в роли нескольких синтаксических отношений между связывающими понятиями.

Положим, что трудность семантической сети задачи равна сумме трудностей ее отношений:

$$D_{obj} = \sum d_{obj}. \quad (1)$$

Определим трудность отношения задачи как разность сложности отношения сети предметной области и сложности отношения сети обучающегося:

$$d_{obj} = c_{fld} - c_{sub}. \quad (2)$$

При этом предполагается, что сложность отношения сети предметной области не может быть больше сложности отношения сети обучающегося:

$$c_{sub} \leq c_{fld}, \quad (3)$$

Ввиду того, что граф сети предметной области является связным графом а на граф сети обучающегося таких ограничений нет, то справедливы следующие неравенства:

$$c_{fld} > 0, c_{sub} \geq 0. \quad (4)$$

Таким образом, трудность задачи определяется через объективную характеристику (c_{fld}) и субъективную (c_{sub}).

Возможны четыре различных случая соотношения двух понятий: не связаны ни одним отношением, связаны прямым отношением, связаны одним или более косвенным отношением, связаны прямым и косвенным отношением.

В первом случае сложность отношения равна 0.

Во втором случае сложность отношения равна весу отношения:

$$d = w. \quad (5)$$

В третьем случае справедливы следующие равенства:

$$w_i = \min(w_{wi}), \quad (6)$$

$$d = w = \sum_{n_{wi}=2} \frac{w_i}{n_{wi}}. \quad (7)$$

В четвертом случае за сложность отношения берется вес прямого отношения.

Реализация и тестирование

В качестве синтаксического анализатора текста был выбран лингвистический процессор ЭТАП-3, разрабатываемый в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича [3].

С помощью ЭТАП-3 был произведен синтаксический анализ двух глав предметной области «Планиметрия» [4]: «Основные свойства простейших геометрических фигур» и «Геометрические построения». Каждая глава разделена на три части: предметная область, вопросы и задачи.

На примере главы «Геометрические построения» смоделирован процесс решения и оценки задач. За базовую сеть обучающегося была взята сеть,

составленная на базе семантических сетей вопросов, т.е. было предположено, что обучающийся ответил на все вопросы и ему предстоит решить 30 задач.

На рисунке 1 продемонстрированы графики изменения трудности задач в зависимости от количества решенных задач. На каждом шаге графика происходит решения задачи с наименьшей трудностью. В результате решения семантическая сеть решенной задачи добавляется в семантическую сеть обучающегося, это приводит к изменению трудности остальных задач на последующих шагах.

Результаты данного эксперимента показывают, что данный метод оценки можно использовать для автоматического подбора задач. Разработав необходимую методику подбора задач, можно управлять процессом обучения индивидуально для каждого обучающегося, путем увеличения или уменьшения трудности задач.

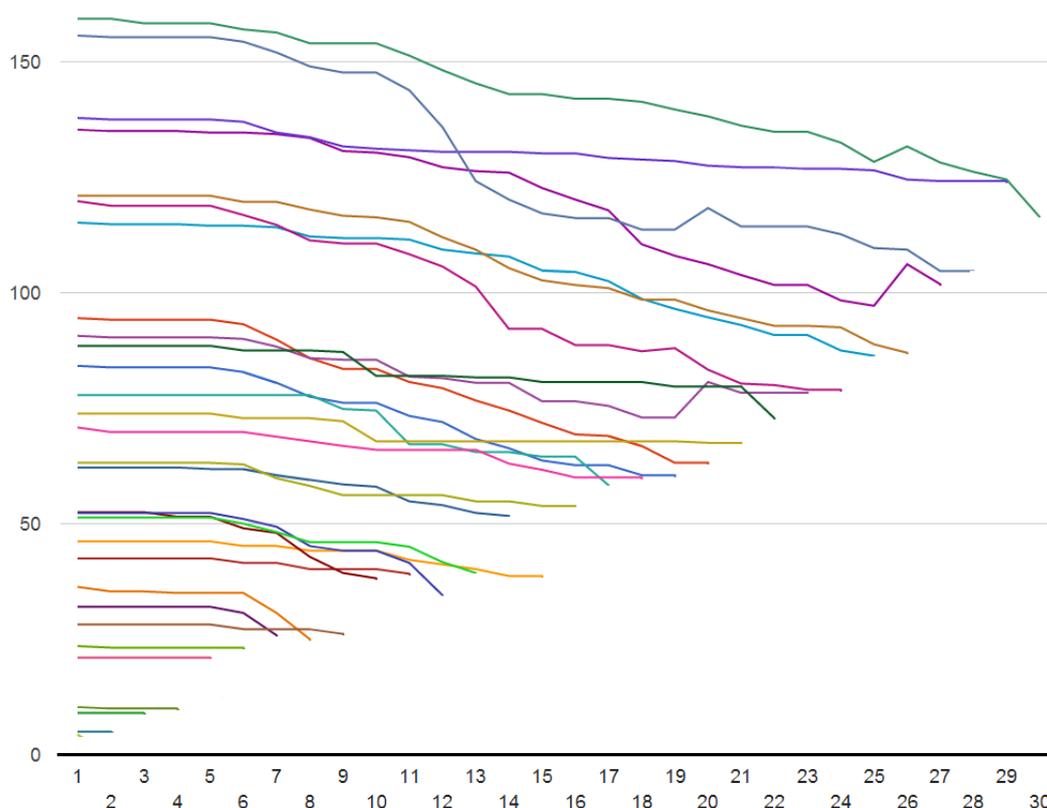


Рис. 1. Оценка трудности задач в процессе решения

Список литературы

1. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке // М.: Наука. 1982. С 360.
2. Лернер И.Я. Факторы сложности познавательных задач // Новые исследования в педагогических науках. М: 1970 г. № 1– 86 с
3. Апресян Ю.Д., Богусловский И.М Лингвистическое обеспечение системы ЭТАП-2 // М. Наука 1989. С 295.
4. Погорелов А.В. Геометрия, учебник для 7-11 классов общеобразовательных учреждений // М.: Просвещение. 1995 г. С 383.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация

Рассмотрены вопросы применения теории иерархических систем при управлении процессом проектирования технологических агрокомплексов, включающем решение задач: выбора варианта структурной схемы узлов посевного комплекса; выбора типовых узлов, механизмов и их предварительной компоновки; конструкторской разработки оригинальных узлов.

Иерархическая структура системы управления принятия решений

В настоящее время в России для повышения эффективности аграрно-продовольственной системы принят ряд серьезных мер, разработаны общие предложения по отдельным элементам государственного регулирования в АПК [1, 2], которые должны заметно оздоровить обстановку в отрасли. Большую роль при этом играет разработка и внедрение в производство новых типов сельхозтехники, использование качественных удобрений, совершенствование условий хранения зерна и т.п. Решение этих и других задач невозможно выполнить без использования современных информационных технологий.

При изучении информационных процессов на стадии проектирования технологических агрокомплексов нами был сделан вывод о том, что всю совокупность задач, решаемых на разных этапах принятия решений, нужно рассматривать с позиций теории сложных систем. Такие системы состоят из отдельных подсистем, каждая из которых решает свою собственную задачу управления [3]. При выборе любого закона управления решаются три основные задачи: получение информации об управляемом объекте, преобразование ее с целью синтеза закона управления и выдача ее на объект, при этом каждая из подсистем обладает правом принятия решения. Отметим, что разбиение сложной системы принятия решения на подсистемы обуславливается большой размерностью таких систем и вытекающими из этого трудностями, связанными со сбором и обработкой информации об их состоянии при выборе управляющих воздействий.

Весь комплекс задач проектирования технологических агрокомплексов образует многоуровневую структуру, состоящую из последовательности подсистем, объединенных информационными потоками. Результатом решения всего комплекса задач является конструкторская документация всех элементов комплекса, необходимая для их изготовления. При этом должны быть выполнены все эксплуатационные свойства и прочностные характеристики каждого узла, механизма и всего комплекса в целом.

Обозначим общую задачу проектирования посевных комплексов через Z_n (см. рис. 1). Эта задача включает в себя множество особенно значимых локальных задач: разработку структурной схемы узлов посевного комплекса и выбора оптимального ее варианта с позиций множества критериев; выбор типовых узлов, механизмов посевного комплекса и их предварительная компоновка; конструкторская разработка оригинальных узлов и механизмов.

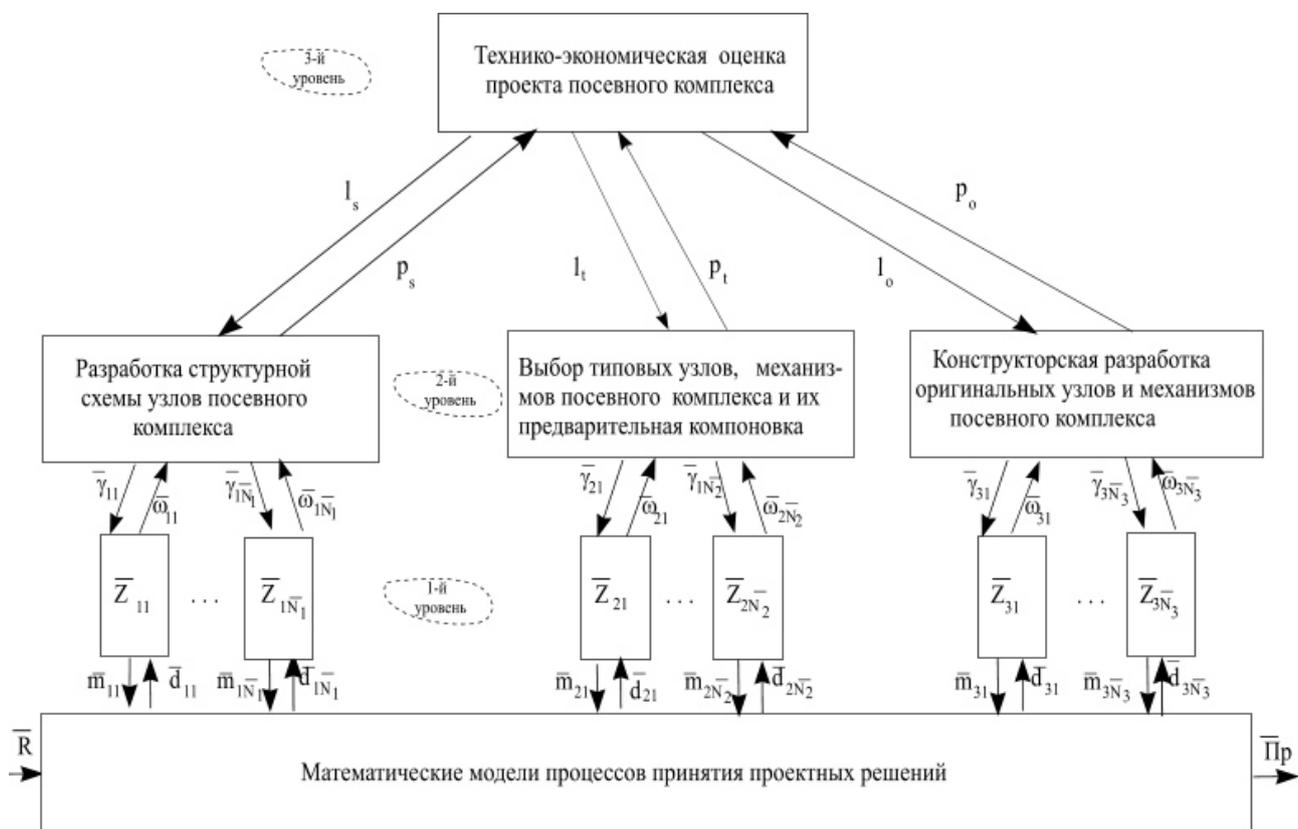


Рис. 1. Структурная схема подзадач, решаемых при проектировании посевных комплексов

Сформулируем задачу проектирования посевного комплекса Z_n математически. Пусть: X - множество всех возможных вариантов: допустимых структурных схем основных узлов посевного комплекса; допустимых видов типовых элементов комплекса, обеспечивающих заданные показатели качества посева зерновых культур; допустимых конструкций оригинальных узлов комплекса, обеспечивающих заданные показатели качества посева зерновых культур; R - множество вариантов конструкций технологических комплексов; V - множество технико-экономических оценок целесообразности производства комплекса, отвечающего всем эксплуатационным требованиям.

Введем функцию F эффективности выбора варианта решения задачи проектирования комплекса с учетом его физической реализуемости как отображение декартова произведения $X \times R$ в множество оценок, то есть

$$F : X \times R \rightarrow V . \quad (1)$$

Задача Z_n характеризуется набором (X, R, F) . Элемент x^* из X , удовлетворяющий (1), является решением задачи Z_n и характеризуется предикатом $P(x^*, Z_n)$

$$P(x^*, Z_n) \equiv (x^* \text{ есть решение } Z_n). \quad (2)$$

Аналогично обозначим задачу выбора варианта структурной схемы через Z_s , выбора типовых элементов комплекса - через Z_t и конструкторской разработки оригинальных узлов комплекса - через Z_o . Будем характеризовать задачи Z_s , Z_t и Z_o наборами (X_s, R_s, F_s) , (X_t, R_t, F_t) и (X_o, R_o, F_o) . В практически важных случаях можно считать $X = X_s \times X_t \times X_o$, $R = R_s \times R_t \times R_o$ и рассматривать задачу Z_s как сужение задачи Z_n на множестве X_s , Z_t как сужение Z_n на множестве X_t , а Z_o как сужение Z_n на множестве X_o , при этом $x^* = (x_s, x_t, x_o)$.

Здесь $\{Pr\}$ - множество решений задачи проектирования посевных комплексов; M_s, M_t, M_o - множества управляющих сигналов для процесса конструирования; $D_s, D_t, D_o, W_s, W_t, W_o, P_s, P_t, P_o$ - множества информационных сигналов о решении локальных задач; $\Gamma_s, \Gamma_t, \Gamma_o, L_s, L_t, L_o$ - множества координирующих сигналов для локальных задач нижестоящих уровней.

Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений для их проектирования удовлетворяет принципам иерархичности структуры, координации локальных задач относительно задач вышестоящего уровня, совместимости и модифицируемости.

При проектировании системы уровень формализации отдельных задач проектирования посевных комплексов определяется наличием сведений: о типах почв, видах посевных материалов, технология посева, тяговых классах тракторов, правилах принятия проектных решений. Алгоритмы решения взаимосвязанных задач проектирования посевных комплексов обеспечивают нахождение решения с точностью, согласованной с точностью получения исходной информации.

Практическая реализация системы поддержки принятия решений

Для решения поставленных выше задач разработана информационная система, включающая в себя базу данных элементов посевных комплексов для различных ассортиментов зерновых культур, и программное обеспечение, с помощью которого значительно упрощается процесс проектирования посевных комплексов для заданного ассортимента зерновых культур, типа почвы, технологии посева и тягового класса трактора.

Апробация процедуры автоматизированного проектирования посевного комплекса осуществлена в ООО «КБ ЕРУСЛАН» при проектировании комплекса для зерновых культур.

В результате решения первой задачи была выбрана структурная схема комплекса, включающая следующие основные узлы и механизмы: рама = цельная», тип бункера = общий бункер», прикатывающее устройство =

«пневматические шины», высевающий аппарат = «дисковые ножи», дозирующий узел = «катушечный тип», транспортирующее устройство = «ковшовый элеватор».

Для компоновки посевного комплекса были выбраны следующие узлы, выпускаемые промышленностью: пневматические шины марки «диски от автомобиля УАЗ452, шины 235/65/R16» в количестве 15 шт.; дисковые ножи = «диск БДТ гладкий диаметром 560 мм» в количестве 42 шт.; дозирующий аппарат марки «СЗП».

Конструкторская разработка была проведена для следующих оригинальных узлов: рамы, зернового бункера, и ковшового элеватора.

Среди достоинств разработанной конструкции посевного комплекса следует отметить:

- сокращение расхода энергоресурсов за счет совмещения операций подготовки почвы, обработки, посева и прикатки почвы в одном устройстве (расход дизельного топлива на весь цикл посевных работ составляет не более 4 л/га по сравнению с затратами на реализацию всех операций отдельно - 50-60 л/га;

- сокращение сроков посевных работ - нет разрыва между подготовкой и самим посевом;

- укладка семян на наиболее оптимальную глубину заделки семян, где формируется точка росы, сохранение исходных состояний капилляров, сохраняя природный подвод влаги из земли;

- применение современных высоконадежных подшипников и уменьшение вдвое их количества по сравнению с аналогами;

- возможность замены сальниковых уплотнений без разборки подшипника;

- использование в качестве тягового устройства маломощного трактора типа «МТЗ-82»;

- возможность использования посевного комплекса в качестве культиватора и дискатора.

Заключение

Таким образом, разработка информационного и программного обеспечения на основе системного подхода позволила повысить качество, снизить сроки выполнения и стоимость решений при конструировании и изготовлении технологических агрокомплексов.

Список литературы

1. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. - М.: КолосС. 2003, 624 с.
2. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин. - М.: КолосС, 2008. 815 с.
3. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. - М.: Наука, 1982. 286 с.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ДОРМАНДА-ПРИНСА

Аннотация

Построено неравенство для контроля устойчивости метода Дорманда-Принса восьмого порядка. На основе первых семи стадий построен метод первого порядка с расширенной областью устойчивости. Сформулирован алгоритм интегрирования переменного порядка и шага. Приведены результаты расчетов.

Введение

При решении жестких задач большой размерности возникает необходимость использования алгоритмов на основе явных численных схем. Алгоритмы интегрирования на основе неявных или полуявных методов, как правило, используют декомпозицию матрицы Якоби [1]. В данном случае это отдельная трудоемкая задача. Для явных методов на участке установления противоречие между точностью и устойчивостью приводит к большому количеству повторных вычислений решения, а шаг выбирается значительно меньше максимально допустимого. Этого можно избежать дополнительным контролем устойчивости численной схемы [2].

Метод Дорманда-Принса

Рассматривается задача Коши вида

$$y' = f(t, y), \quad y(t_0) = y_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k, \quad (1)$$

где y и f – N -мерные вещественные вектор-функции, t – независимая переменная. Для решения (1) используются явные формулы типа Рунге-Кутты

$$y_{n+1} = y_n + \sum_{i=1}^{13} p_{mi} k_i, \quad k_i = hf(t_n + \alpha_i h, y_n + \sum_{j=1}^{i-1} \beta_{ij} k_j), \quad (2)$$

где h – шаг интегрирования. Коэффициенты α_i и β_{ij} известны [1] и здесь не приводятся в силу их громоздкости. При значениях коэффициентов

$$p_{81} = 14005451/335480064, \quad p_{82} = p_{83} = p_{84} = p_{85} = 0, \quad p_{86} = -59238493/1068277825,$$

$$p_{87} = 181606767/758867731, \quad p_{88} = 561292985/797845732,$$

$$p_{89} = -1041891430/1371343529, \quad p_{8,10} = 760417239/1151165299,$$

$$p_{8,11} = 118820643/751138087, \quad p_{8,12} = -528747749/2220607170, \quad p_{8,13} = 1/4$$

схема (2) имеет восьмой порядок точности.

Контроль точности и устойчивости

Формула (2) с коэффициентами

$$p_{71} = 13451932/455176623, \quad p_{72} = p_{73} = p_{74} = p_{75} = p_{7,13} = 0,$$

$$p_{76} = -808719846/976000145, \quad p_{77} = 1757004468/5645159321,$$

$$p_{78} = 656045339/265891186, \quad p_{79} = -3867574721/1518517206,$$

$$p_{7,10} = 465885868/322736535, \quad p_{7,11} = 53011238/667516719, \quad p_{7,12} = 2/45$$

имеет седьмой порядок. Тогда для контроля точности схемы (2) можно использовать оценку ошибки δ_n вида $\delta_n = \sum_{i=1}^{13} (p_{8i} - p_{7i}) k_i$. Теперь для контроля точности вычислений применяется неравенство $\|\delta_n\| \leq \varepsilon$, где $\|\cdot\|$ – некоторая норма в R^N , а ε – требуемая точность расчетов. Учитывая соотношение $\delta_n = O(h^8)$, шаг h^{ac} по точности выбирается по формуле $h^{ac} = qh$, где значение q находится из уравнения $h^8 \|\delta_n\| = \varepsilon$. Если $q < 1$, то происходит повторное вычисление решения (возврат) с шагом h , равным qh . В противном случае вычисляется приближенное решение, а прогнозируемый шаг полагается равным qh . В дальнейшем алгоритм переменного шага на основе схемы (2) с неравенством для контроля точности $\|\delta_n\| \leq \varepsilon$ назовем DP78.

Построим неравенство для контроля устойчивости схемы (2). Для этого применим ее для решения линейной задачи $y' = Ay$ с постоянной матрицей A . Первые три стадии k_1 , k_2 и k_3 схемы (2) применительно к данной задаче имеют вид $k_1 = Xy_n$, $k_2 = (X + X^2/18)y_n$ и $k_3 = (X + X^2/12 + X^3/288)y_n$, где $X = hA$. Нетрудно видеть, что имеют место соотношения $8 \cdot (2k_3 - 3k_2 + k_1) = X^3 y_n / 18$ и $k_2 - k_1 = X^2 y_n / 18$. Теперь оценку максимального собственного числа матрицы Якоби системы (1) можно вычислить степенным методом. Обозначим

$$v_n = 8 \max_{1 \leq i \leq N} \{ |(2k_3 - 3k_2 + k_1)_i| / |(k_2 - k_1)_i| \}. \quad (3)$$

Тогда для контроля устойчивости метода Дорманда-Принса можно применять неравенство $v_n \leq D$, где постоянная D ограничивает интервал устойчивости. Интервал устойчивости методов седьмого и восьмого порядков точности приблизительно равен 5 [3]. Поэтому положим $D = 5$ в неравенстве $v_n \leq D$. Учитывая, что $v_n = O(h)$, шаг h^{st} по устойчивости можно выбрать по формуле $h^{st} = rh$, где r вычисляется из равенства $rv_n = D$.

Оценка (3) является грубой, потому что не обязательно максимальное собственное число сильно отделено от остальных, в степенном методе применяется мало итераций и дополнительные искажения вносит нелинейность задачи (1). Поэтому здесь контроль устойчивости используется как ограничитель на размер шага интегрирования. В результате прогнозируемый шаг вычисляется по формуле $h_{n+1} = \max\{h_n, \min[h^{ac}, h^{st}]\}$, где h_n есть последний успешный шаг интегрирования. В дальнейшем алгоритм переменного шага с дополнительным контролем устойчивости численной схемы будем называть DP78ST. Данный алгоритм основан на численной формуле высокого (восьмого) порядка точности и поэтому ориентирован на решение нежестких задач с высокой точностью расчетов, а также для решения задач умеренной жесткости.

Метод первого порядка

На основе стадий (2) построим метод первого порядка точности с широкой областью устойчивости. Перепишем (2) в виде

$$y_{n+1} = y_n + \sum_{i=1}^m p_i k_i, \quad y_{n,i} = y_n + \sum_{j=1}^{i-1} \beta_{ij} k_j, \quad k_i = hf(t_n + \alpha_i h, y_{n,i}), \quad (4)$$

где $y_{n,i}$ называют промежуточными или внутренними схемами метода (4). Введем в рассмотрение матрицу B_m с элементами b_{ij} вида $b_{1j} = 1$, $1 \leq i \leq m$; $b_{ki} = 0$, $2 \leq k \leq m$, $1 \leq j \leq i-1$ и $b_{ki} = \sum_{j=k-1}^{i-1} \beta_{ij} b_{k-1,j}$, $2 \leq k \leq m$, $k \leq i \leq m$. Применяя (4) для решения линейного скалярного уравнения $y' = \lambda y$, $\text{Re}(\lambda) < 0$, получим $y_{n+1} = Q_m(x) y_n$, где $x = h\lambda$, а функция устойчивости $Q_m(x)$ имеет вид $Q_m(x) = \sum_{i=1}^m c_i x^i$, $c_i = \sum_{j=i}^m b_{ij} p_j$. Обозначим $C_m = (c_1, \dots, c_m)^T$ и $P_m = (p_1, \dots, p_m)^T$. Тогда коэффициенты c_i

многочлена устойчивости и коэффициенты p_i метода (4) связаны соотношением $B_m P_m = C_m$. Теперь при заданных β_{ij} и c_i коэффициенты p_i можно определить из линейной системы алгебраических уравнений $B_m P_m = C_m$. Требование первого порядка точности схемы (4) означает $\sum_{i=1}^m p_i = 1$. Поэтому положим $c_1 = 1$. Остальные коэффициенты c_i , $2 \leq i \leq m$, используем для задания размера и формы области устойчивости. Они могут быть вычислены известным алгоритмом, и поэтому ниже будем считать их заданными.

Известно, что при $c_1 = 1$ для любого m можно так выбрать коэффициенты многочлена устойчивости, что соответствующая область устойчивости будет расширена до $2m^2$ по вещественной оси. Однако в этом случае в экстремальных точках x_i , $1 \leq i \leq m-1$, имеет место $|Q_m(x_i)| = 1$. Это приводит к тому, что область устойчивости становится «почти» многосвязной. Поэтому во многих случаях коэффициенты c_i , $2 \leq i \leq m$, выбираются так, чтобы в экстремальных точках выполнялось соотношение $|Q_m(x_i)| = \gamma$, $\gamma < 1$. За счет подходящего выбора γ можно влиять на величину области по мнимой оси.

При $m=13$ максимальный интервал устойчивости схемы (4) равен 338. Подставляя соответствующие c_i , $1 \leq i \leq 13$, в $B_m P_m = C_m$, получим коэффициенты p_i , $1 \leq i \leq 13$, метода (4) первого порядка точности с максимальным интервалом устойчивости. Учитывая, что размер области устойчивости по вещественной оси метода (2) восьмого порядка равен 5, для задач, в которых шаг в основном ограничен по устойчивости, при расчетах методом первого порядка эффективность может быть повышена примерно в 67 раз. Однако из результатов расчетов даже простейших задач следует, что шаг интегрирования существенно меньше максимально возможного. Это связано с тем, что области устойчивости внутренних схем (4) малы, и это при больших шагах приводит к большим погрешностям в промежуточных вычислениях. Из результатов численных экспериментов следует, что наиболее эффективным является метод первого порядка (4) при $m=7$. Здесь получены коэффициенты p_i , $1 \leq i \leq 7$,

$$p_1 = -0.41342955189830, \quad p_2 = -0.57548324135785, \quad p_3 = 0.11243725642680 \cdot 10^1, \\ p_4 = 0.85058623738482, \quad p_5 = 0.12991731772814 \cdot 10^{-1}, \\ p_6 = 0.77368430693719 \cdot 10^{-3}, \quad p_7 = 0.18857552359567 \cdot 10^{-3},$$

при которых в экстремальных точках x_i , $1 \leq i \leq 6$, многочлена устойчивости выполняется условие $|Q_m(x_i)| = 0.9$. В этом случае интервал устойчивости почти максимальный и равен приблизительно 90. Для контроля устойчивости можно применять неравенство $v_n \leq 90$, а v_n вычисляется по формуле (3). Область устойчивости построенного метода первого порядка точности по вещественной оси примерно в 18 раз шире области устойчивости численной схемы (2) восьмого порядка. Кроме того, метод первого порядка по числу вычислений правой части задачи (1) почти в два раза дешевле данной численной схемы. Поэтому для задач, в которых шаг ограничен в основном по устойчивости, предполагаемое теоретическое повышение эффективности в 36 раз. Построим неравенства для контроля точности и устойчивости метода (4). В неравенстве для контроля точности будем применять оценку локальной ошибки $\delta_{n,1}$. С применением разложений точного и приближенного решений в ряды Тейлора получим, что $\delta_{n,1}$ имеет вид $\delta_{n,1} = 0.5(1-c_2)(f_t + f_y f) + O(h^3)$. Нетрудно видеть также, что имеет место соотношение $k_2 - k_1 = h^2(f_t + f_y f) + O(h^3)$. Тогда для контроля

точности численной формулы (4) можно применять неравенство $\|1-2c_2\| \cdot \|k_2 - k_1\| \leq \varepsilon$, где $\|\cdot\|$ – некоторая норма в R^N , ε – требуемая точность расчетов.

Методы первого порядка с расширенными областями устойчивости эффективны на участках установления, где шаг ограничен по устойчивости. При высокой точности расчетов на переходных участках эффективнее будет метод восьмого порядка (2). Существенного повышения эффективности можно достигнуть за счет применения каждого метода на том участке, где он наиболее эффективен. В качестве критерия переключения с метода на метод можно использовать неравенство для контроля устойчивости. При расчетах по методу восьмого порядка переход на численную схему (4) осуществляется при нарушении неравенства $v_n \leq 5$. При расчетах методом первого порядка обратный переход происходит в случае выполнения $v_n \leq 5$. Вычисления методом первого порядка сопровождаются дополнительным (наряду с точностью) контролем неравенства $v_n \leq 90$, а шаг выбирается по формуле $h_{n+1} = \max\{h_n, \min[h^{ac}, h^{st}]\}$.

Результаты расчетов

Расчеты проводились на *PC Intel(R) Core(TM) i7-3770S CPU@3.10GHz* с двойной точностью. Задаваемая точность расчетов полагалась равной 10^{-6} . Ниже через *isa*, *iwo* и *ifu* обозначены, соответственно, суммарное число шагов интегрирования, число повторных вычислений решения (возвратов) вследствие нарушения требуемой точности расчетов и число вычислений правой части системы (1). Для демонстрации работы построенных алгоритмов рассмотрен пример:

$$y_1' = 77.27(y_2 - y_1 y_2 + y_1 - 8.375 \cdot 10^{-6} y_1^2), \quad y_2' = (-y_2 - y_1 y_2 + y_3)/77.27, \\ y_3' = 0.161(y_1 - y_3), \quad t \in [0, 300], \quad y_1(0) = y_3(0) = 4, \quad y_2(0) = 1.1, \quad h_0 = 2 \cdot 10^{-3}.$$

Задача является простейшей моделью реакции Белоусова-Жаботинского. Для *DP78* вычислительные затраты *isa*=1 434 938, *iwo*=778 643, *ifu*=27 997 910, а для *DP78ST* следующие – *isa*=1 437 875, *iwo*=35 173, *ifu*=19 114 451. При расчетах с переменным порядком имеем *isa*=132 180, *iwo*=166, *ifu*=930 915. Такая же тенденция сохраняется при интегрировании десяти жестких примеров [1].

Заключение

Метод Дорманда-Принса получил широкое распространение для решения нежестких задач. Его программная реализация входит, пожалуй, во все известные библиотеки программ. Здесь данный метод модифицирован применительно к решению жестких задач. На тестовом примере показано повышение эффективности за счет дополнительного контроля устойчивости и расчетов с переменным порядком.

Работа поддержана грантом РФФИ (проекты 11-01-00106 и 11-01-00224).

Список литературы

1. Хайрер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990.
2. Новиков Е.А. Явные методы для жестких систем. Новосибирск: Наука, 1997.
3. Новиков Е.А., Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование жестких гибридных систем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012.

АНАЛИЗ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНЫМ СИСТЕМАМ ПО КРИТЕРИЮ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Аннотация

В данной статье рассматривается подход к анализу сбалансированности требований на разных стадиях проекта. Предлагаемый подход основан на представлении процессов формирования требований в виде последовательных компонент, каждой из которых ставится в соответствие свой закон распределения времени выполнения.

Введение

В настоящее время программные компоненты являются неотъемлемой составляющей сложных систем. Рост сложности программных систем; повышение требований к их качеству; переход к идеологии сборочного программирования с перспективой перехода на облачные технологии вынуждает разрабатывать новые и совершенствовать существующие подходы к управлению программными проектами.

В известной литературе [2, 8] отмечается особая роль процедуры формирования требований в жизненном цикле программных продуктов. Это обусловлено, во-первых, тем, что требования к программному продукту являются отправной точкой формирования требований к программному проекту. Во-вторых, относительной инвариантностью требований по отношению к способам проектирования и реализации продукта. В-третьих, общностью подходов к формированию требований как для вновь создаваемых продуктов, так и для продуктов, находящихся в состоянии сопровождения. Также подчеркивается, что низкое качество требований к программным продуктам является одной из основных причин провала, либо низкой эффективности программных проектов.

Одним из основных показателей качества требований является их сбалансированность [3]. Программный проект является сложной системой, поэтому понятие «сбалансированность» имеет множество толкований. Так, например, можно анализировать сбалансированность с точки зрения взаимосвязи целей; направлений деятельности; задач; ключевых факторов успеха; ключевых индексов деятельности; стратегических инициатив. В [4] обсуждается проблема баланса между назначением программного продукта (встроенные системы реального времени, либо административные системы) и подходами к обеспечению их надежности. В [8] описываются инструментальные средства, позволяющие оценить баланс между риском программного проекта и его бюджетом.

В [3] предлагается в качестве критерия сбалансированности целей, факторов и компонентов программного продукта использовать меру неопределенности. Утверждается, что характеристики объектов сбалансированы, если им соответствует примерно одинаковая мера неопределенности. При этом допустимое количественное значение меры неопределенности свойств проекта (в относительных единицах) зависит от стадии реализации проекта. Целесообразность выбора относительного значения меры неопределенности в качестве критерия сбалансированности, на наш взгляд, обосновывается тем, что уровень неопределенности определяет выбор подхода к управлению программным проектом: институциональный, мотивационный, информационный.

Одной из основных задач технико-экономического анализа программных проектов является прогнозирование реальных затрат на разработку программной системы и её компонентов, а также оценка трудоемкости и длительности выполнения отдельных этапов проекта [5]. В упоминаемой книге и ряде других обосновывается целесообразность разработки и совершенствования статистических методов, ориентированных на обработку малого числа исходных данных, методов индивидуального и группового экспертного оценивания, методов математического моделирования, а также их комбинированного использования при решении задач информационной поддержки управления программными проектами. В настоящей работе рассматриваются методы оценивания сбалансированности требований с позиций вероятностного подхода к определению меры неопределенности, основанные на комбинации методов оценивания законов распределения непрерывных случайных величин по ограниченным данным исходным данным, вычислительного эксперимента и сетевого планирования.

Анализ сбалансированности требований к программным системам

Ожидаемая функциональность программного продукта является одним из ключевых факторов, определяющим требования к программному проекту.

Можно утверждать, что время выполнения работ, связанных с реализацией проекта, является интегральной характеристикой уникального сочетания свойств внешней и внутренней сред проекта, в которых реализуется программный продукт.

Предложение использовать время как интегральную косвенную характеристику свойств сложной системы, допускающую измерение, не нова. Достаточно вспомнить теорию надежности технических систем. Возможность использования времени в качестве интегральной метрической характеристики программного проекта упоминается, например, в [6, 7, 8].

В [1] описаны четыре типовых модели для оценивания экспертами времени выполнения работ. Каждому из них ставится в соответствие закон распределения времени выполнения работы. Представление процесса формирования требований в виде последовательно соединенных компонентов позволяет рассматривать случайное время реализации процесса в виде

$$T = \sum_{i=1}^m \tau_i, \quad (1)$$

где τ_i – случайное время завершения i -го компонента процесса формирования требований, m – количество компонент процесса формирования требований. Если закон распределения $F_i(t)$ i -го компонента процесса известен, то (1) можно преобразовать к виду

$$T = \sum_{i=1}^m (F_i^{-1}(t)), \quad (2)$$

где $\tau_i = F_i^{-1}(t)$ – случайное время реализации i -й компоненты процесса.

Выделение законов распределения разных компонентов процесса формирования требований, а также оценка общего времени формирования требований в виде (1), делает возможным оценить закон распределения времени завершения формирования требований посредством численного моделирования. Для этого N раз формируются реализации случайного времени τ_i^j , где j – номер реализации случайного процесса ($j=1, 2, \dots, N$), по значениям которых посредством (2) формируется выборка $\{T_1, T_2, \dots, T_N\}$. На основе выборки строится оценка закона распределения $\hat{F}(t)$. Построение $\hat{F}(t)$ для разных процедур согласования требований делает возможным решение задачи сравнительного анализа альтернативных вариантов процедур формирования требований по критерию неопределенности. В качестве метрической характеристики неопределенности может выступать, например, энтропия Шеннона. Выбор такого критерия обусловлен, во-первых, тем, что количественная оценка неопределенности однозначно рассчитывается на основе закона распределения непрерывной случайной величины, что делает возможным сопоставлять объекты, которым ставятся в соответствие разные законы распределения. Во-вторых, тем, что такая системная модель как «конус неопределенности» широко используется в литературе, посвященной управлению программными проектами.

Предположим, имеется K альтернативных процедур формирования требований (интервьюирование, *JAD*, *CORE*, *VOID* и т.д.). Оценка времени реализации i -го компонента ($i=1, 2, \dots, m$) в рамках k -го варианта ($k=1, 2, \dots, K$) формирования требований имеет смысл стохастической оценки. Установление соответствия между разными оценками эксперта и типами законов распределения времени выполнения работы [1], позволяет генерировать выборки $\{T\}$ требуемого объема N , по которым строятся оценки законов распределения времени завершения процесса $\hat{F}^{(k)}(t)$. Оценки $\hat{F}^{(k)}(t)$, в свою очередь, позволяют получить интегральную характеристику k -й альтернативы (представленную в виде меры неопределенности) в виде

$$S_k = - \int_0^{b^*} \frac{dF^{(k)}(t)}{dt} \ln\left(\frac{dF^{(k)}(t)}{dt}\right) dt, \quad (3)$$

где b^* – область фактически возможных значений случайной величины T .

Если значение b^* не может быть определено из каких-либо содержательных соображений, в качестве b^* может использоваться оценка вида $b^* = 6\sigma$, где σ определяются по известным правилам через $\hat{F}^{(k)}(t)$. Использование оценки (3) создает предпосылки ранжирования вариантов формирования требований.

Заключение

Предлагаемый подход следует рассматривать лишь как дополняющий другие способы информационной поддержки принятия решений при управлении программными проектами. В условиях неопределенности всякая модель имеет ценность, если только позволяет получить полезную информацию о свойствах сложной системы, к классу которых относится программный проект.

Описанный подход позволяет формализовать процедуру анализа сбалансированности требований в условиях неопределенности. Он является достаточно универсальным и может быть использован при сопоставлении вариантов реализации других, помимо формирования требований, работ на ранних стадиях проекта.

Выражение благодарности

Выражаю благодарность д.т.н., профессору, зав. кафедрой АПрИС УГАТУ Гвоздеву Владимиру Ефимовичу за большой вклад и неоценимую помощь в области исследования.

Список литературы

1. Гвоздев В.Е., Ровнейко Н.И. Научный журнал Уфимского авиационного технического университета «Вестник УГАТУ». – Уфа, 2012. – 240 с.
2. Липаев В. В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2005. – 224с.
3. Липаев В. В. Экономика производства сложных программных продуктов. – М.: СИНТЕГ, 2011. – 352с.
4. Липаев В.В. Надежность программных средств. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 232с.
5. Липаев В.В. Технико-экономическое обоснование проектов сложных программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 284с.
6. Макконнелл С. Сколько стоит программный проект. – СПб.: Питер, 2007. – 297с.
7. Мацяшек Л. А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 432с.
8. Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами – М.: Компания АйТи: ДМК Пресс, 2008. – 729с.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Рассматривается проблема принятия коллективных решений в проектном управлении. Предложена структура реализации взаимодействия действующих лиц в процессе ведения проектной деятельности. Представлен обзор методов принятия коллективных решений, применимых в проектном управлении, а также рассмотрена возможность их программной реализации в информационной системе.

Введение

Становление рыночных отношений в российской экономике привело к появлению новых самостоятельных направлений в отечественном менеджменте, которые возникли в результате критического переосмысления передовой зарубежной управленческой теории и практики, выработки оригинальных управленческих подходов, методов и средств. Наиболее значительное место в структуре современного российского менеджмента занимает управление проектом.

Своеобразие современного российского менеджмента, характеризующееся не только особыми культурно-историческими условиями, но и особой динамикой текущего развития национальной экономики, накладывает определенный отпечаток и на управление проектом. Перенимаемый опыт зарубежного управления проектом, сложившегося в иных условиях, естественным образом преломляется в отечественной среде [1].

Информационные технологии в управлении проектами

Сегодня существует большое количество определений понятия «проект». Все они базируются на трех основных характеристиках проекта: наличии уникальной цели, ограниченности во времени, наличии ограничений по ресурсам, но имеют два недостатка: отсутствие связи между проектом как предварительно разработанным планом и проектом как процессом реализации этого плана; отсутствие связи между проектом и проектным управлением.

Проект – системный комплекс плановых (финансовых, технологических, организационных и прочих) документов, содержащих комплексно-системную модель действий, направленных на достижение оригинальной цели.

Управление проектом (проектное управление) – особый вид управленческой деятельности, базирующийся на предварительной коллегиальной

разработке комплексно-системной модели действий по достижению оригинальной цели и направленный на реализацию этой модели.

Современное управление проектом – это особый вид управления, который так или иначе может применяться к управлению любыми объектами, а не только объектами, имеющими явные характеристики проекта. Это подтверждается результатами практического использования проектного управления в самых разнообразных областях современного российского менеджмента [1].

Информационная система управления проектами – инструмент для автоматизации управления проектами посредством программного обеспечения, специально настроенного под нужды компании.

Программа управления проектами, внедренная в качестве информационной системы управления проектами, позволяет повысить эффективность проектного управления в компании за счет поддержки процессов управления проектом на протяжении всего его жизненного цикла. Информационная система управления включает в себя следующие функции:

- автоматизация управления проектами - задач по планированию и контролю проекта;
- предоставление «единой картины» всех проектов компании для взвешенного принятия управленческих решений;
- инструмент управления проектами, позволяющий сократить время на коммуникации между участниками проектной деятельности;
- программа управления ресурсами проекта;
- автоматизация документооборота управления проектами;
- ведение архива проектной информации.

Участники проекта и их роли в проектном управлении

Состав участников проекта, их роли, распределение обязанностей, прав и ответственности зависят от типа, масштаба и сложности проекта, а также от жизненного цикла проекта. Следует понимать, что состояние структуры участников проекта не является стабильным во времени. Между проектом и окружающей его средой происходит постоянное взаимодействие – обмен материальными, финансовыми, энергетическими и информационными ресурсами. Это сопровождается изменением состава участников, их ролей, самой системы взаимодействия между участниками проекта.

Тем не менее можно выделить наиболее важных участников проекта и описать их типовые стабильные роли (рисунок 1).

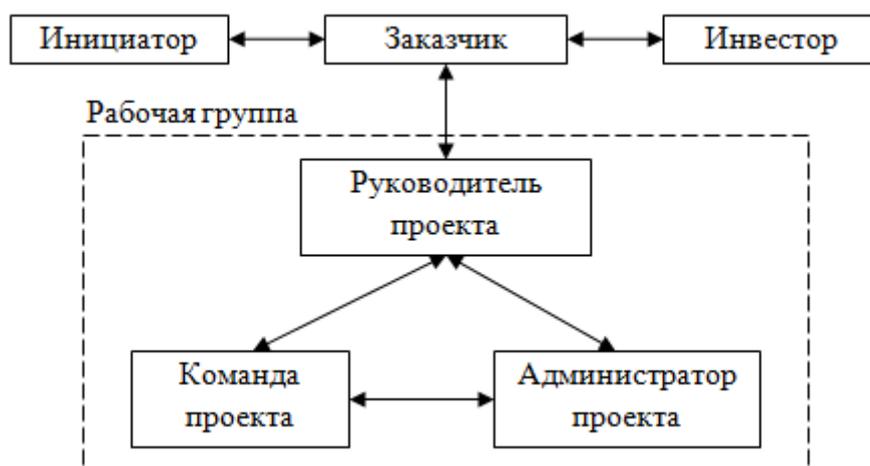


Рис. 1. Структура организации взаимодействия участников проекта

Ключевые активные непосредственные участники проекта – это:

- инициатор;
- заказчик;
- инвестор;
- руководитель проекта (проект-менеджер);
- администратор проекта;
- команда проекта.

Инициатор — это участник проекта, являющийся носителем основной идеи Проекта и инициативы по его реализации.

Заказчик — это участник проекта, заинтересованный в достижении основной цели, результатов проекта.

Инвестор – это участник проекта, осуществляющий финансирование проекта и заинтересованный в достижении финансовых результатов проекта.

Руководитель проекта (проект-менеджер) – это участник проекта, которому делегированы полномочия по управлению деятельностью, направленной на достижение целей проекта. Руководитель проекта несет ответственность перед заказчиком за достижение всех целей проекта.

Администратор проекта – участник в составе рабочей группы проекта, ответственный за ведение проекта в информационной системе.

Команда проекта – это совокупность действующих как единое целое участников проекта, которая обеспечивает под руководством проект-менеджера достижение целей проекта. Состав и обязанности команды проекта зависят от масштабов, сложности и других характеристик проекта, однако во всех случаях состав команды должен обеспечить высокий профессиональный уровень выполнения всех возложенных на команду обязанностей. Команда формируется в зависимости от потребностей проекта, опыта и квалификации персонала, а также от условий и организации проекта.

Из последних трех типов участников проекта формируется рабочая группа. Ведение проекта подразумевает коллективное решение конкретных задач и назначений проекта.

Применение методов принятия коллективных решений в проектном управлении

В качестве лиц, принимающих решения, выступают разработчики, управляющие, аналитики, руководители и члены рабочей группы.

Проблема коллективного выбора вариантов решений возникает в ситуациях, когда цели и критерии участников процесса принятия решений различны, а зачастую и противоречивы. Совокупность таких действующих лиц будем называть коллективом, принимающим решение (КПР) независимо от роли и значимости каждого члена коллектива в процессе решения задачи выбора. Под коллективным, или групповым, выбором понимается процедура принятия решения, основанная на совместном учете и/или согласовании индивидуальных предпочтений членов КПР.

Технология коллективной работы КПР требует учета разнообразных содержательных, организационных и психологических факторов. На поведение членов коллектива, их предпочтения и, в конечном счете, на результат коллективного выбора оказывают влияние характер решаемой проблемы, уровень знаний и опыт участников, их эмоциональное состояние, регламент обсуждения проблемы, открытость и последовательность высказывания мнений, возможность создания коалиций, особенности процедур голосования и многое другое.

Под задачей коллективного выбора понимают следующее. Имеется КПР, состоящая из t человек, которые рассматривают возможные варианты решения проблемы (альтернативы, объекты, способы действия, кандидаты) A_1, \dots, A_m , число которых может быть как конечным, так и бесконечным. Каждый из членов КПР независимо от остальных оценивает все варианты в соответствии со своими индивидуальными предпочтениями. Предполагается, что выработаны общие для всех членов КПР правила организации и проведения процедур сравнения и выбора вариантов. Основываясь на индивидуальных предпочтениях всех членов коллектива и учитывая степень их влияния, требуется решить одну из задач: выделить лучшие варианты; упорядочить все варианты; отнести каждый из вариантов к одному из заранее заданных классов прецедентов [2].

Чтобы найти коллективное предпочтение, требуется каким-то образом объединить, а зачастую и согласовать друг с другом индивидуальные предпочтения членов КПР. Для взаимного учета индивидуальных интересов устанавливается некоторый принцип согласования, который позволяет выделить наилучшие с коллективной точки зрения варианты. Укажем наиболее известные принципы согласования интересов участников при коллективном выборе [3].

- Принцип Курно. Все члены КПР имеют различные собственные интересы и делают свой выбор независимо друг от друга, т. е. число коалиций равно числу членов КПР. Тогда никакому участнику по отдельности не выгодно менять свое предпочтение, так как это может только ухудшить принятое решение.

- Принцип Парето. Все члены КПП имеют общие интересы и делают свой выбор согласованно, т. е. имеется одна-единственная коалиция. Тогда всем участникам вместе не выгодно менять свои предпочтения, так как это может только ухудшить принятое решение.

- Принцип Эджворта. Все члены КПП входят в коалиции, число которых может быть любым (от одного до равного числу членов КПП), и делают свой выбор в интересах своей коалиции. Тогда никакой коалиции не выгодно менять свои предпочтения, так как это может только ухудшить принятое решение.

Эти и другие методы принятия коллективных решений можно развернуть в системе управления проектами на базе *MS EPM*.

Microsoft Enterprise Project Management (EPM) – это программный комплекс управления проектами (*Project Management*) в крупных компаниях, который разработан в соответствии со всеми международными стандартами в области управления проектами.

Microsoft Project на сегодняшний день является лидером мирового и российского рынка программного обеспечения в области проектного менеджмента.

Применение *Microsoft Enterprise Project Management* обеспечивает:

- календарное планирование и контроль проектов;
- ресурсное и бюджетное планирование и контроль проектов;
- проектный документооборот и управление рисками;
- проектные коммуникации в географически распределенных командах;
- гибкость настройки программных модулей;
- отчетность по проектам и портфелю проектов.

Заключение

Применение методов принятия коллективных решений в области проектного менеджмента позволит руководителям крупных проектных компаний принимать обоснованные решения, основанные на профессиональном опыте участников рабочей группы, а также принимать решения в условиях неопределенности выбора и спорных ситуациях.

Работа выполнена в соответствии с грантом РФФИ 13-08-00321:

«Интеллектуальное управление взаимодействием сложных процессов на основе онтологического анализа и обработки знаний в условиях неопределенности».

Список литературы

1. М.Л.Разу. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / коллектив авторов; под ред. проф. М.Л. Разу. – 4-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2012. – 760 с.

2. Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для студ. высш. учебн. заведений / А.Б. Петровский. – Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.

3. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. – М.: СИНТЕГ, 2005, 592 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация

Объектом исследования является процесс оперативного контроля качества проведения геофизических исследований методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в ОАО «Башнефтегеофизика». Статья посвящена улучшению качества принимаемых геофизиком-оператором в процессе оперативного контроля решений на основе автоматизации данного процесса.

Введение

Деятельность любого геофизического предприятия связана с выполнением работ по поиску новых месторождений или уточнению геологического строения уже разведанных залежей. Результатом выполнения работ являются геофизические данные в виде множества сейсмических трасс (сейсмограмм), обрабатывая и интерпретируя которые формируют рекомендации по эффективному размещению поисково-разведочных, оценочных и эксплуатационных скважин, строят карты глубин, скоростных разрезов, определяют физические свойства коллекторов и т.д.

Качество предоставляемых услуг и результаты решаемых задач во многом зависят от первичных данных, получаемых при проведении работ на объекте исследования. Для обеспечения качества первичных данных, необходимо проводить контроль непосредственно при их получении. Одной из важнейших составляющих контроля качества проведения работ является оперативный контроль, который осуществляется геофизиком-оператором и заключается в отслеживании и преобразовании большого количества поступающих при проведении геофизических работ данных и принятии решений об их качестве.

Актуальность

Исходными материалами при геофизических исследованиях являются полевые данные, полученные при непосредственном проведении работ на объекте. Факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на качество исходных данных скважинной сейсморазведки, были рассмотрены с помощью одного из семи простых инструментов качества, служащего для наглядного представления причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами – диаграммы Исикавы [1] [2]. На рис. 1 приведена диаграмма Исикавы, показывающая факторы, которые влияют на качество данных, полученных при проведении геофизических исследований методом ВСП:

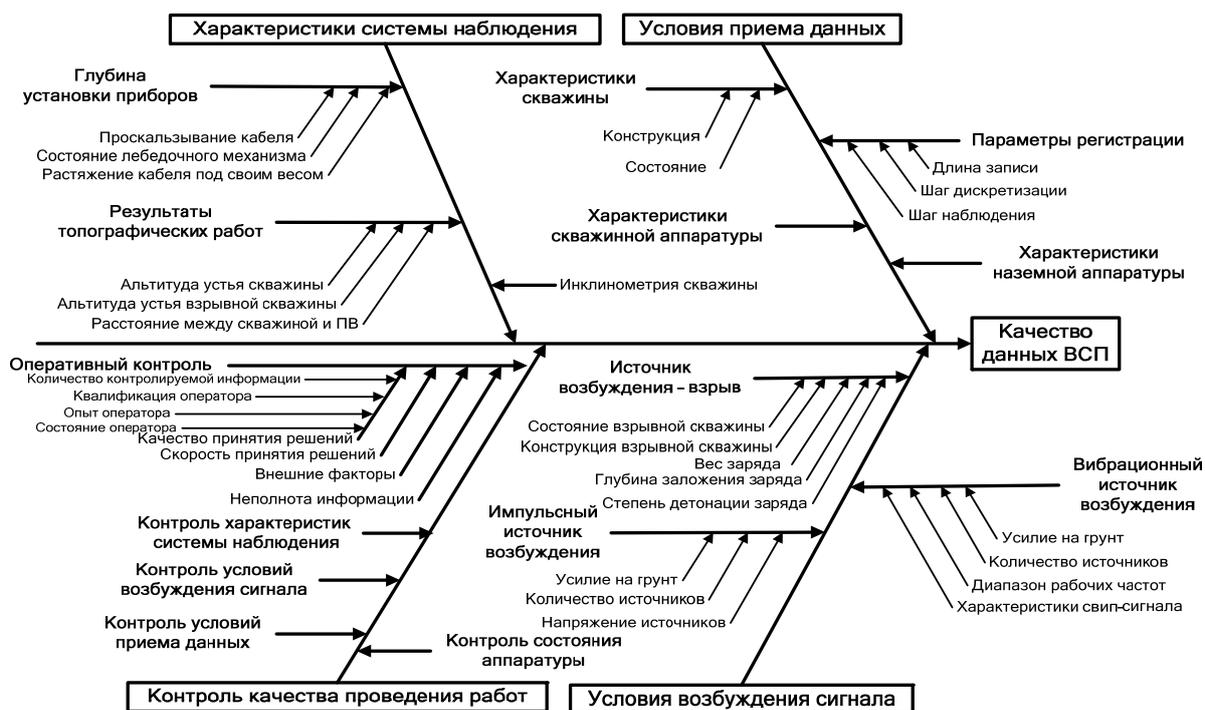


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма Исикавы

Эффективность оперативного контроля с точки зрения человеческого фактора определяется качеством принятых геофизиком-оператором решений относительно поступающих в процессе проведения геофизических работ данных. Диаграмма показывает, что качество принимаемых решений в свою очередь зависит от следующих факторов: квалификации, опыта и состояния оператора, проводящего исследование, а также от объема и формы представления контролируемой оператором информации.

Оператор, проводящий исследование, является основным звеном процесса проведения работ на объекте и его действия оказывают непосредственное влияние на качество полевых данных и, как следствие, на результат геофизических работ в целом. Однако работа геофизика-оператора носит монотонный характер, требует значительного умственного напряжения и сопровождается перегрузкой зрительных и слуховых анализаторов. Кроме того, в мировой практике наблюдается общая тенденция увеличения количества регистрируемой при геофизических исследованиях информации (в среднем в 1,5-2 раза каждые 3-4 года), связанная с повышением требований к ее качеству и с усовершенствованием используемых технических средств [3].

Таким образом, актуальной задачей является разработка технологии автоматизированного оперативного контроля качества первичных данных метода ВСП, учитывающей специфику используемого метода проведения геофизических работ и позволяющей обеспечить высокое качество принимаемых оператором решений путем уменьшения количества анализируемых параметров, предоставления только необходимой в данный момент информации в наглядном виде и автоматизации множества мелких и рутинных операций по обработке и вводу данных.

Материалы и методы исследования

Основными составляющими существующего процесса оперативного контроля качества являются:

- аппаратный контроль данных;
- визуальный контроль данных;
- анализ и преобразование данных.

Аппаратный контроль регистрируемых сейсмических данных осуществляется за счет встроенных в аппаратный комплекс средств самоконтроля и самодиагностики. Недостаток данного вида контроля заключается в том, что производители аппаратуры используют собственные индивидуальные методы диагностики, результаты которых сложно сопоставить из-за большого разнообразия форматов, структуры и объема данных.

При визуальном контроле геофизик-оператор отслеживает множество характеристик регистрируемых данных. Однако существует проблема, связанная с постоянным увеличением объемов регистрируемых данных и усложнением их структуры, которая приводит к возрастанию информационной нагрузки на оператора, снижению возможностей его восприятия и, как следствие, к значительному снижению качества анализа и адекватности принятых решений.

Анализ и преобразование данных осуществляют над проверенными визуально данными в целях исследования сложных и составных характеристик и представления данных в более наглядном виде. Большим недостатком данного процесса является рутинность множества мелких ручных операции по выбору данных и настройки параметров анализа.

В целях обеспечения высокого качества принимаемых в процессе геофизических исследований решений, получения объективной и достоверной оценки сейсмических данных и повышения эффективности процесса оперативного контроля качества предлагается интегрировать в систему регистрации модуль автоматизированного контроля качества, который позволит значительно разгрузить геофизика-оператора и избавит его от необходимости просмотра и анализа больших объемов информации, представив ему предварительный отчет о качестве данных.

Технология автоматизированного контроля качества данных ВСП предполагает выполнение следующих действий:

- проверка входных данных на наличие, непротиворечивость, корректность, достоверность и возможную фальсификацию;
- преобразование входных данных во внутренний формат;
- формирование набора правил на основе технического задания на проведение работ, выбранной методики исследования, параметров скважины, типов источника возбуждения сейсмического сигнала и регистрирующего комплекса;
- ориентирование сейсмических данных в систему координат *PRT* или *XYZ* в целях получения дополнительной информации;
- расчет простых и сложных атрибутов рабочих и служебных трасс;

- оценка стабильности условий возбуждения сейсмического сигнала;
- оценка стабильности условий приема сейсмического сигнала.
- вычисление оценки качества сейсмических трасс. Данное действие заключается в том, что к множеству атрибутов сейсмических данных (ориентированных и не ориентированных) применяются соответствующие правила и критерии, в результате чего получают комплексный показатель, характеризующий качество сейсмической трассы;
- вычисление оценки качества сейсмограмм на основе множества рассчитанных ранее оценок качества сейсмических трасс и оценок стабильности условий возбуждения и условий приема данных;
- вычисление оценки качества волнового поля, в ходе которого анализируется вся совокупная информация, полученная при выполнении предыдущих действий. На данном этапе формируется отчет, содержащий сведения о результатах проведенного контроля и, в случае необходимости, оператору выдаются рекомендации по устранению ошибок и брака. На основе предоставленной информации о качестве оператор принимает необходимые решения и осуществляет соответствующие действия.

Обсуждение и приложение результатов

Апробация технологии была проведена в ОАО «Башнефтегеофизика» на реальных данных и показала высокую эффективность по сравнению с традиционными подходами. Предлагаемая технология была внедрена в программу регистрации сейсмических данных *Alpha VSP*.

Выводы

Автоматизация процесса оперативного контроля качества проведения сейморазведочных работ позволила повысить эффективность принимаемых в процессе проведения геофизических работ решений и качество получаемых в результате данных.

Разработанная технология отличается от аналогов тем, что она ориентирована непосредственно на анализ и контроль качества данных метода ВСП; позволяет анализировать и контролировать множество сопутствующих параметров регистрации; предоставляет оператору только необходимую информацию, достаточную для оперативного и эффективного принятия решения о качестве сейсмических данных.

Список литературы

1. Барабанова, О. А. Семь инструментов контроля качества [Текст]/ О. А. Барабанова, В. А. Васильев, С. А. Одинокоев. – М.: ИЦ «Мати» – РГТУ им. Циолковского, 2001.
2. Мишин, В. М. Управление качеством: учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности «Менеджмент организации» (061100)/ В. М. Мишин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. ЮНИТИ-ДАНА, 2005.– 463с.
3. Информационные материалы сайта Евро-Азиатского Геофизического Общества [Электронный ресурс]. – URL: <http://eago.ru/> (12.2012).

НЕЙРОСТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация

Рассмотрены нейроструктурные методы моделирования динамических систем. Представлены алгоритмы и функциональное наполнение программного обеспечения для прогнозирования и оптимального управления системами на основе нейроструктурного моделирования.

Введение

Математическое моделирование сложных систем, функционирование которых может быть представлено только в виде входных воздействий и реакций на них, возможно на основе нейросетевого подхода [1]. Наиболее часто в качестве инструмента моделирования применяются нейронные сети прямого распространения, обладающие суперпозиционной линейно-нелинейной по параметрам структурой. Существуют другие нейросетевые архитектуры и некоторые другие виды математических моделей, отличные от нейросетевых, обладающие общностью функционирования с нейронными сетями прямого распространения. Для описания широкого класса моделей, обладающих специальной суперпозиционной линейно-нелинейной по параметрам структурой, предложено применение нейроструктурных моделей, являющихся развитием нейросетевых [2, 3].

Нейроструктурные модели состоят из совокупности базовых нейроноподобных элементов, связанных между собой системой связей. Класс нейроструктурных моделей включает нейронные сети прямого распространения, в том числе и с неклассическими функциями активации, нейронные сети с радиальными базисными функциями, вероятностные нейронные сети, сети с архитектурой, аналогичной сетям с каскадной корреляцией Фальмана, нечеткие системы Такаги-Суджено, нейро-нечеткие модели структуры *ANFIS*. Применение нейроструктурных моделей не требует знания априорной информации о характере зависимостей в исследуемой предметной области, поэтому позволяет говорить об универсальности данного математического аппарата.

Нейроструктурное моделирование динамических систем

Центральный этап построения нейроструктурных моделей – обучение, представляющее собой по сути задачу параметрической идентификации на множестве вход-выходных данных, обычно представляет собой нелинейную задачу о наименьших квадратах. Минимизации подлежит функционал

$$Q(w) = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \left(y_q(w, \tilde{x}^{(k)}) - \tilde{y}_q^{(k)} \right)^2, \quad (1)$$

где $\tilde{x}^{(k)} \in R^P$ – вектор входов обучающего множества, $\tilde{y}^{(k)} \in R^Q$ – вектор соответствующих выходов, $y_q(w, x^{(k)})$ – q -й выход модели при подаче на вход k -го вектора $\tilde{x}^{(k)}$ из обучающего множества, $\tilde{y}_q^{(k)}$ – q -й элемент вектора указаний учителя k -го примера, w – вектор весов модели, Q – количество выходов модели, K – количество примеров обучающего множества. Для решения этой задачи могут быть применены различные методы оптимизации, при этом следует учитывать многоэкстремальный характер минимизируемого функционала качества обучения. Обычно применяемые методы обучения на основе градиентных методов учитывают суперпозиционную структуру моделей для нахождения градиента функционала качества по вектору весов с помощью процедуры обратного распространения ошибки [1]. При этом специфика задачи обучения учитывается недостаточно полно. Были разработаны методы, более полно учитывающие особенности задачи обучения на основе декомпозиционного метода и линейно-нелинейного соотношения, блочного псевдообращения, а также на основе методов интервального анализа.

Хотя отображение, реализуемое нейроструктурной моделью, является статическим, она может применяться и для моделирования динамических систем. В таких системах выход зависит от дискретного времени t ($y = y[t]$), при этом рассматривается зависимость вида

$$y[t] = f(w; x[t], x[t-1], \dots, x[t-d]; y[t-1], y[t-2], \dots, y[t-d]), \quad (2)$$

где d – порядок задержки сигналов. Для идентификации модели (2) используются те же подходы, что и при идентификации нейронных сетей статических систем, на основе минимизации функционала (1). Дополнительной задачей является определение порядка d , которая может решаться с помощью метода ложных ближайших соседей [4].

Для моделирования динамических зависимостей могут быть также применены нелинейные нейронные сети Вольтерра, которые реализуют зависимость, позволяющую их также отнести к нейроструктурным моделям:

$$y[t] = w_0 + \sum_{i_1=1}^L x[t-i_1] \sigma_{i_1} \left(w_{i_1} + \sum_{i_2=1}^L x[t-i_2] \sigma_{i_2} \left(w_{i_1 i_2} + \sum_{i_3=1}^L x[t-i_3] \sigma_{i_3} (w_{i_1 i_2 i_3} + \dots) \right) \right). \quad (3)$$

На основе моделей динамических систем решаются задачи прогнозирования поведения сложных систем.

Нейроструктурное управление

Одной из важнейших задач является управление. Рассмотрим функционал общего вида:

$$J(u[T+1], \dots, u[T+S]) = \sum_{t=T+1}^{T+S} g(u[t], y[t]), \quad (4)$$

где $u[t]$ – управление, T – последний момент времени, на который известно значение выхода, S – интервал (число шагов) управления, g – некоторая функция, дифференцируемая по элементам векторов $y[t]$, $u[t]$, $t=T+1, \dots, T+S$.

Рассмотрим максимизацию (4) по величинам $u[T+1], \dots, u[T+S]$. При $S > 1$ получается задача управления с упреждением [5]. Такое управление учитывает длительный характер влияния управляющих воздействий $u[t]$ на последующее поведение системы вследствие динамического вида зависимости (2). Функция g выбирается, исходя из целей управления, и обычно имеет достаточно простой вид.

Критерий (4) – дифференцируемая нелинейная функция нескольких переменных, оптимизация которой может быть произведена методами локальной оптимизации гладких функций с учетом заложенной в градиенте информации о поведении функции в окрестности текущего решения. Частная производная (4) по элементу $u_i[s]$ (i -му управляющему сигналу в момент времени $s, s = T+1, \dots, T+S$), находится по формулам

$$\frac{\partial J(\cdot)}{\partial u_i[s]} = \sum_{t=T+1}^{T+S} \frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial u_i[s]}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial u_i[s]} = \sum_{r=1}^R \frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial y_r[t]} \cdot \frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]}. \quad (6)$$

Вследствие того, что при $t < s$ выход $y[t]$ не зависит от управляющего сигнала $u_i[s]$, получаем для этого случая

$$\frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial u_i[s]} = 0. \quad (7)$$

С учетом (7) формула (5) принимает вид

$$\frac{\partial J(\cdot)}{\partial u_i[s]} = \sum_{t=s}^{T+S} \frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial u_i[s]}. \quad (8)$$

Множитель $\frac{\partial g(u[t], y[t])}{\partial y_r[t]}$ в (6) определяется, исходя из конкретного вида

функции g . Основная задача состоит в вычислении второго множителя $\frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]}$.

При $t = s$ частная производная $\frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]}$ находится с помощью алгоритма,

аналогичного процедуре обратного распространения ошибки [1]. В случае $t > s$ необходимо учитывать факт зависимости $y_r[t]$ от управляющих сигналов $u_i[s]$ через выходы в предыдущие моменты времени $y[s], y[s+1], \dots, y[t-1]$. Для вычислений может быть использована формула

$$\frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]} = \left(\frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]} \right)_1 + \sum_{p=1}^R \frac{\partial y_r[t]}{\partial y_p[s]} \cdot \frac{\partial y_p[s]}{\partial u_i[s]}, \quad (9)$$

где $\frac{\partial y_p[s]}{\partial u_i[s]}$ и $\left(\frac{\partial y_r[t]}{\partial u_i[s]} \right)_1$ – производная функции как явно зависящей от $u_i[s]$.

Более подробно данный алгоритм рассмотрен в [5].

Программное обеспечение

Было разработано специальное программное обеспечение в среде *CodeGear 2009 Borland C++ Builder*, зарегистрированное в Роспатенте. Программа реализует возможности построения и обучения нейроструктурных моделей статических и динамических систем на основе учета их специальной суперпозиционной линейно-нелинейной по весам структуры.

Функции разработанного программного обеспечения:

- загрузка множества вход-выходных данных;
- первичная обработка входных данных;
- задание вида и структуры модели, включая установку для каждого нейроноподобного элемента своей функции активации;
- возможность автоматического выбора оптимальной структуры на основе алгоритма конструктивного построения модели;
- установка параметров обучения: применяемого численного метода и параметров глобального определения оптимума;
- контроль процесса обучения;
- загрузка и сохранение построенных нейроструктурных моделей;
- применение построенной модели к расчету выходов на введенных входных данных, в том числе на обучающем множестве;
- решение задачи прогнозирования и оптимального управления на основе построенных нейроструктурных моделей.

Заключение

Представленный в данной работе подход на основе нейроструктурного моделирования может применяться для построения моделей сложных процессов и систем, функционирование которых задается с помощью вход-выходного множества данных. Он может быть применен для эффективного решения задач прогнозирования и управления.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-07-97504-р_центр_а.

Список литературы

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / М.: Финансы и статистика, 2002.– 344 с.
2. Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В. Нейроструктурное моделирование: некоторые результаты и направления развития // Вести ВУЗов Черноземья, 2012.– №4(30).– С.30-37.
3. Сараев П.В. Развитие нейросетевого моделирования сложных систем на основе нейроструктурного подхода // Вести ВУЗов Черноземья, 2012.– №2(28).– С.30-35.
4. Сараев П.В., Сяглова Ю.Е. Анализ эффективности выбора функций активации в нейросетевом прогнозировании // Системы управления и информационные технологии, 2012.– №3.1(49).– С. 165-169.
5. Сараев П.В. Многошаговое оптимальное нейросетевое управление // Проблемы управления, 2008.– №5.– С. 14-18.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КУРСОВ ВАЛЮТ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РИСКАМИ КОМПАНИИ

Аннотация

Работа посвящена оценке точности нейросетевого прогнозирования курсов валют при отсутствии фактических значений с целью минимизации финансового (валютного) риска. Рассмотрена возможность оценки относительной ошибки прогнозирования в предположении нормального распределения плотности ее вероятности.

Введение

Компании, ведущие хозяйственную деятельность за рубежом, часто имеют обязательства в валютах, отличных от отечественной. Эти обязательства могут потребовать обмена валют. Постоянные же флуктуации обменных курсов являются источником финансовых, а именно валютных, рисков [1].

В целях управления валютным риском компании прибегают к прогнозированию динамики валютного курса для обеспечения прибыльности операций и минимизации возможных потерь. Один из возможных подходов к многомерным и зачастую нелинейным информационным рядам финансового рынка, в том числе и валютных курсов, заключается в том, чтобы по возможности подражать образцам поведения участников рынка, используя такие методы искусственного интеллекта, как нейронные сети (НС).

Поскольку у компаний, как правило, имеется потребность в получении долгосрочного прогноза курсов валют, то в этом случае, при отсутствии фактических значений курсов валют, оценить достоверность полученного нейросетевого прогноза затруднительно. В данной работе рассматривается один из возможных подходов к оценке достоверности прогноза, основанный на гипотезе о нормальном распределении плотности вероятности относительной ошибки прогноза.

Материалы и методы исследования

Традиционно целью нейросетевого прогнозирования является предсказание значения некоторой переменной на основе ее предыдущих значений. Данные о поведении объекта, признаки которого связаны с течением времени, представляются как результаты наблюдений в равномерные отсчеты времени. Для моментов времени $t = 1, 2, \dots, n$ данные наблюдений приобретают вид временного ряда (ВР) $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$. Информация о значениях ВР до момента n позволяет давать оценки параметров $x(t_{n+1}), \dots, x(t_{n+m})$ [4].

Для прогнозирования элементов ВР широко используют метод «скользящих окон». Основная идея этого метода состоит в использовании двух

окон, входного и выходного, фиксированных размеров m и n , соответственно, перемещающихся (скользящих) вдоль оси абсцисс. Входное окно формирует данные для входов НС, а выходное, соответственно, для выходов (оценок) [5]. Обучающий пример формируется путем наложения на массив исходных данных временного «окна». Следующий пример формируется сдвигом «окна» на один временной интервал вперед.

Работа НС состоит в преобразовании входного вектора в выходной вектор с помощью системы связанных нейронов, каждый из которых осуществляет преобразования по формуле [3]:

$$y = \sigma(\text{net}) = \sigma\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right), \quad (1)$$

где $\text{net} = \langle w, x \rangle$ – скалярное произведение, $w = [w_1 \dots w_n]^T \in R^n$ – вектор весов, $x = [x_1 \dots x_n]^T \in R^n$ – входной вектор, net – уровень активности, σ – функция активации.

Перед применением НС необходимо обучить на примерах – с помощью коррекции весов межнейронных связей, т.е. по известным входным параметрам и результату сеть обучается выдавать ответ, максимально близкий к правильному. Интегральная степень соответствия (по всем примерам) НС модели данным из обучающего множества задается квадратичным функционалом качества [3]:

$$J(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k Q_i(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r (y_{ij}(w) - \tilde{y}_{ij})^2. \quad (2)$$

Любую непрерывную функцию нескольких переменных можно с любой точностью реализовать с помощью двухслойной НС с достаточным количеством нейронов и нелинейной функцией активации в скрытом слое. Для прогнозирования исходные данные разбиваются на наборы образцов, на которых сеть обучается, и затем обученная сеть применяется для предсказаний.

Пусть с помощью обученной НС строится прогноз курса какой-либо валюты на k значений вперед. По каждому из полученных прогнозных значений \hat{x}_k вычисляется относительная ошибка прогноза δ_k путем сравнения с фактическими значениями x_k :

$$\delta_k = \frac{x_k - \hat{x}_k}{x_k}. \quad (3)$$

Далее к обучающему множеству добавляется дополнительный пример, соответствующий следующему фактическому значению курса валюты, после чего вновь производится обучение НС, строится прогноз на следующие k значений и вычисляются δ_k . Таким образом, после m -ой итерации будут получены $n = k \cdot m$ значений относительной ошибки прогноза δ .

Поскольку ошибка (3) является случайной величиной, то, опираясь на центральную предельную теорему теории вероятности, можно постулировать

нормальный закон распределения плотности вероятности относительной ошибки $f(\delta)$.

Очевидно, что закон распределения δ не зависит от времени отсчета t_k . Математическое ожидание случайной величины δ_k будет равно нулю или очень близко к нулю. Поэтому случайную величину δ_k можно считать несмещенной.

Считая неблагоприятным событием прогноза величины x превышение относительной ошибкой δ некоторого порогового значения Z , можно статистически оценить достоверность полученного прогноза путем вычисления вероятности неблагоприятного события по известной формуле:

$$P(\alpha \leq x \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - a}{\sigma}\right). \quad (4)$$

Кроме того, при отсутствии фактических значений ВР имеется возможность вычислить наиболее вероятные границы относительной ошибки прогноза δ по правилу трех сигм.

Результаты исследования и их обсуждение

Для прогнозирования динамических систем на основе НС разработано специальное программное обеспечение [2]. При проведении исследования использовался метод ретроспективного анализа для построения долгосрочного прогноза курса доллара США по средненедельным данным. В ходе экспериментов были выбраны 3 конфигурации двухслойной НС, которые показали наиболее точные результаты прогнозирования. Каждая из конфигураций включает 5 входных нейронов и 3 нейрона скрытого слоя со следующими функциями активации:

- конфигурация 1: $\sigma(net) = e^{-net}$, $\sigma(net) = \sin(net)$, $\sigma(net) = 1/(1 + e^{-net})$;
- конфигурация 2: $\sigma(net) = e^{-net}$, $\sigma(net) = \sin(net)$, $\sigma(net) = e^{-net}$;
- конфигурация 3: $\sigma(net) = e^{-net}$, $\sigma(net) = \sin(net)$, $\sigma(net) = \arctg(net)$.

Для каждой из представленных конфигураций был использован один набор исходных данных, состоящий из 166 наблюдений. Прогноз строился на 13 значений, в каждом опыте было проделано по 10 итераций. По результатам прогнозирования были получены 3 ряда по 130 значений в каждом, представляющих собой экспериментально полученное распределение плотности вероятности относительной ошибки прогноза δ .

Далее для каждого опыта была проведена проверка гипотезы о виде распределения величины δ с использованием критерия согласия Пирсона при уровне значимости 0,05. Наблюдаемое значение критерия $\chi_{набл.}^2$ для каждого из опытов равно соответственно 8,50, 10,48 и 7,43. Критическое значение $\chi_{кр.}^2(\alpha, k)$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $k = 5$ равно 11,07. Таким образом, для каждого из опытов $\chi_{набл.}^2 < \chi_{кр.}^2$. Следовательно, нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном

распределении случайной величины δ (эмпирические и теоретические частоты различаются незначимо).

Полагая, что относительная ошибка прогноза δ распределена нормально, вычислим границы интервала, в котором лежат практически все значения δ , по правилу трех сигм. Для каждого из приведенных опытов этот интервал приведен в табл. 1.

Таблица 1

Границы изменения относительной ошибки прогноза

	Левая граница	Правая граница	Среднее арифметическое выборки \bar{x}	Стандартное отклонение s
Опыт 1	-3,47%	3,17%	-0,0015	0,0111
Опыт 2	-5,85%	3,79%	-0,0103	0,0161
Опыт 3	-7,39%	3,55%	-0,0192	0,0182

Как видно из приведенной таблицы, прогноз, полученный с использованием каждой из трех описанных конфигураций НС, можно признать достаточно точным. Однако результаты первого опыта несколько лучше остальных.

Предположим, что неблагоприятным событием является превышение ошибкой прогноза значения в 2% как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Вероятность этого события по формуле (4) составляет 7,06% при использовании НС из опыта 1.

Выводы

Рассмотренный в работе подход к оценке достоверности результатов нейросетевого прогнозирования позволяет вычислить наиболее вероятную величину относительной ошибки прогноза в случае, когда фактические значения ВР недоступны. Метод представляет особый интерес в контексте долгосрочного прогнозирования курсов валют с целью минимизации финансовых, а именно валютных, рисков компаний.

Список литературы

1. Рэдхэд, К., Управление финансовыми рисками / К. Рэдхэд, С. Хьюс.– М.: ИНФРА-М, 1996. – 288 с.
2. Сараев П.В., Сяглова Ю.Е. Система нейросетевого прогнозирования // Современные сложные системы управления X ИТС'2012: материалы Международной научно-технической конференции. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – С.161-164.
3. Сараев, П.В. Нейросетевые методы искусственного интеллекта: учебное пособие/ П.В. Сараев. – Липецк: ЛГТУ, 2007.– 64 с.
4. Территориальное прогнозирование налоговых поступлений с применением многомерных кросскорреляционных технологий / В.М. Авдеева, О. Я. Кравец, И. Н. Крючкова // ИнВестРегион. 2007. № 3. С. 31–36.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРЕДИТНЫХ РИСКОВ КОНТРАГЕНТА

Аннотация

Работа посвящена разработке модели оценки кредитных рисков контрагента и прогнозированию финансовых результатов его деятельности с применением нейронных сетей. Рассмотрено применение методов оптимизации и аппарата взвешенного псевдообращения в задачах обучения. Исследовано влияние алгоритмов на точность вычислений.

Введение

Финансово-хозяйственная деятельность предприятия сопряжена с различного рода рисками. Важное место среди них занимают кредитные риски, возникающие при работе с контрагентами. Заключая сделки по системе последующей оплаты и предоставляя компании отсрочку платежа на определенный период после отгрузки продукции, важно иметь представление о ее возможности расплатиться.

Прежде чем принять решение, необходимо провести полное исследование финансового состояния заёмщика в динамике, анализируя которое будет легко сказать, сможет ли данное предприятие погасить кредит целиком и в срок. В зависимости от полученных результатов можно сделать вывод о том стоит ли заключать сделку, ее объеме и прочих условиях.

Исходя из этих требований, возникает задача разработать надежную математическую модель оценки кредитных рисков контрагента и их прогнозирования, которая будет удовлетворять поставленным целям.

Модель оценки платежеспособности контрагента

Совокупное применение скоринговых методов оценки и аппарата нейронных сетей (НС) позволяет разработать качественный инструмент оценки кредитных рисков.

Скоринговая модель подразумевает систему показателей, по сумме которых определяется интегральный показатель, по величине которого контрагент относится к определенному классу/ категории и делается вывод о его надежности. Использование скоринга обеспечит быстроту и беспристрастность в принятии решений, а полученная оценка позволит снизить уровень неисполнения денежных обязательств. Стоит отметить, что скоринговая оценка строится на основании опубликованной финансовой отчетности компании (формы 1 и формы 2 бухгалтерской отчетности), описывающей состояние предприятий на некоторый момент в прошлом, а факт оплаты осуществляется в будущем. К этому моменту возможно изменение некоторых показателей финансово-хозяйственной деятельности (ФХД)

компании. Решением данной проблемы может быть использование прогнозных значений показателей ФХД для построения скоринговой оценки.

НС зарекомендовали себя как один из лучших инструментов прогнозирования, имеющий ряд достоинств. Среди них, в первую очередь, стоит выделить универсальность, способность работать с различными типами распределения исходных данных, возможность адаптироваться к изменениям окружающей среды. Таким образом, процедуру оценки рисков неисполнения обязательств контрагентами можно разбить на следующие подзадачи:

1. Расчет оценки рисков неисполнения обязательств контрагентом на настоящий момент времени (на отчетную дату) с использованием скоринговой модели.

2. Прогнозирование показателей финансовой деятельности контрагента на будущие периоды с применением НС.

3. Расчет оценки рисков неисполнения обязательств контрагентом в будущих периодах на основе прогнозных данных.

Финансовые показатели оцениваются при помощи баллов, которые соответствуют степени надежности данного контрагента. Чем выше надежность, тем выше присваиваемый балл. Итоговая оценка производится по шкале в пределах от 0 до 100. Итоговый балл является результирующим показателем в соответствии, с которым определяется характеристика риска, и даются рекомендации по выбору формы обеспечения. С учетом экспертных рекомендаций и действующей практики по управлению кредитными рисками на предприятии, для оценки рисков выбраны следующие группы показателей: показатели ФХД, динамика показателей ФХД, история совместной работы и платежной дисциплины. Скоринговая оценка предприятия в будущем проводится следующим образом:



Рис. 1. Скоринговая оценка предприятия в будущем

Прогнозирование финансовых результатов деятельности контрагента с применением нейронных сетей

Функционирование m -слойной НС прямого распространения представляется в виде

$$y = w_0^{(m)} + W_1^{(m)} \sigma \left(\dots \left(w_0^{(2)} + W_1^{(2)} \sigma \left(w_0^{(1)} + W_1^{(1)} x \right) \right) \dots \right), \quad (1)$$

где x – вектор входов, y – скалярный выход, $w_0^{(l)}$ – веса нейронов, соответствующие фиктивным единичным входам; $W_1^{(l)}$ – матрица весов между нейронами $(l-1)$ -го l -го слоев, σ – векторная функция активации НС. Обучение НС рассматривается, как параметрическая идентификация модели (1) на обучающем множестве, состоящем из k примеров $\{\tilde{x}_i, \tilde{y}_i\}$, где \tilde{x}_i и \tilde{y}_i – входной вектор и вектор указаний учителя из i -го примера, $i=1, \dots, k$. Цель обучения – определение вектора весов w , минимизирующего функционал

$$J(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (y_i(w) - \tilde{y}_i)^2 = \frac{1}{2} \|y(w) - \tilde{y}\|^2, \quad (2)$$

где $y_i(w)$ – i -й выход НС при подаче на вход сети i -го входного вектора из обучающего множества, $y(w)$ и \tilde{y} – соответственно вектор выходов НС ПР на обучающем множестве и вектор указаний учителя, $\|y(w) - \tilde{y}\|$ – евклидова норма вектора невязок нейросетевой модели [2,3].

Применение методов оптимизации и взвешенного псевдообращения для обучения нейросетевых моделей

Так как веса НС определяются таким образом, чтобы минимизировать некоторый функционал качества, оценивающий меру близости указаний учителя и выходов сети на обучающем множестве, в качестве которых берется сумма квадратов их отклонений. В такой постановке задача сводится к нелинейной задаче наименьших квадратов, что позволяет использовать для ее решения методы теории оптимизации для повышения скорости обучения. Одним из таких методов является метод Гаусса-Ньютона с применением взвешенного псевдообращения, базирующийся на формулах (3) – (5):

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - s^{(k)} J_{MN}^+(w^{(k)}) R(w^{(k)}) \quad (3)$$

$$R(w) = [r_1(w), \dots, r_m(w)]^T \quad (4)$$

$$J(w) = \begin{bmatrix} \nabla^T r_1 \\ \dots \\ \nabla^T r_m \end{bmatrix}, \quad \nabla^T r_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_i}{\partial w_1} & \dots & \frac{\partial r_i}{\partial w_n} \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

где $R(w)$ – нелинейная векторная функция векторного аргумента (функция невязок), $s^{(k)}$ – длина шага, $J_{MN}^+(w)$ – взвешенная псевдообратная матрица частных производных первого порядка [4].

Найти взвешенную псевдообратную матрицу A_{MN}^+ к матрице A можно при помощи взвешенных алгоритмов Фадеева и Гревилля. Определяющие соотношения Мура-Пенроуза для данных матриц описываются формулами:

$$(MAA_{MN}^+)^T = MA A_{MN}^+ \quad (6)$$

$$(NA_{MN}^+ A)^T = NA_{MN}^+ A \quad (7)$$

$$AA_{MN}^+ A = A \quad (8)$$

$$A_{MN}^+ AA_{MN}^+ = A_{MN}^+, \quad (9)$$

где $M \in R^{m \times m}$, $N \in R^{n \times n}$ положительно определенные матрицы ($M, N > 0$). Причем для любой прямоугольной матрицы A произвольного ранга r и любых положительно определенных матриц M, N существует единственная взвешенная псевдообратная матрица A_{MN}^+ ранга r [1].

Проведем исследование точности вычислений в зависимости от выбора алгоритма взвешенного псевдообращения. Критерий точности будем вычислять на основании совокупности соотношений Мура-Пенроуза (6) – (9).

Вычислительный эксперимент проводился на 20 матрицах с использованием математического пакета *Maple 15*, результаты представлены в таблице 1:

Таблица 1

Оценка точности вычисления взвешенных псевдообратных матриц

Алгоритм	Взвешенный алгоритм Фадеева	Взвешенный алгоритм Гревилля
Среднее значение критерия точности	$3,5601 \cdot 10^{-9}$	$4,8862 \cdot 10^{-9}$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что оба алгоритмы дали достаточно хорошие результаты и могут быть использованы для решения задач. В сравнении, взвешенный алгоритм Фадеева показал лучшее значение среднего критерия точности.

Заключение

В работе были рассмотрены вопросы прогнозирования финансовых результатов деятельности контрагента с применением НС. Исследовано применение методов оптимизации и аппарата взвешенного псевдообращения в задачах обучения нейросетевых моделей, а также приведено сравнение алгоритмов взвешенного псевдообращения Фадеева и Гревилля. Дальнейшим направлением работы будет продолжение исследований алгоритмов оптимизации и обучения с целью повышения качества прогнозирования и разработка программного обеспечения для оценки кредитного риска контрагента и прогнозирования финансовых показателей его работы.

Список литературы

1. Блюмин С.Л., Миловидов С.П. Взвешенное псевдообращение: Учебное пособие.— Воронеж: ВорПИ-ЛипПИ, 1991.- 64 с.
2. Сараев П.В. Нейросетевые методы искусственного интеллекта: учебное пособие/ П.В. Сараев.— Липецк: ЛГТУ, 2007.- 64 с.
3. Сараев П.В. Идентификация нейросетевых моделей [Текст]: монография.— Липецк: ЛГТУ, 2011.— 94 с.
4. Сараев П.В., Тарнакина М.Н. Нейросетевой подход в задачах управления с применением взвешенного псевдообращения / Сборник статей XXX Международной научно-технической конференции (зимняя сессия) «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии, образовании» . – 2012. – С.109–112.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА-СИНГУЛЯРНО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛОВ ОТ ШУМОВ

Аннотация

В статье предлагается метод сингулярно-спектрального анализа для очистки сигналов от шумов как альтернатива существующим методам. Приводятся примеры на простых функциях.

Введение

Анализ сигналов и временных рядов на сегодняшний день является одной из важнейших и актуальных задач. Любая человеческая деятельность в той или иной мере связана с анализом и обработкой сигналов или временных рядов. Например: финансовые рынки, продажи, курсы валют, интернет-трафик [2] и т.д. Важнейшие задачи, связанные с очисткой от шумовых компонент и выявления скрытых и явных составляющих сигнала возникают в медицине при обработке электрических биогенных сигналов, таких как электрическая активность мозга, исследование кардиограммы сердца и т.д. Анализ сигналов в климатологии, сейсмологии также является важной задачей.

В статье исследуется метод сингулярно-спектрального анализа, известный также как метод «Гусеница» для очистки сигналов от шумов. В частности для исследования были выбраны некоторые простые функции с добавлением различных шумов, и после этого происходила очистка методом сингулярно-спектрального анализа.

Общая характеристика метода «Гусеница»

Метод сингулярно-спектрального анализа (в дальнейшем метод «Гусеница») основан на преобразовании искомого временного ряда или сигнала в многомерный ряд с последующим применением к нему метода главных компонент.

Фактически происходит отбор ведущих и важных, по мнению эксперта компонент временного ряда с отбрасыванием остальных (шумовых) компонент и последующее восстановление очищенного временного ряда или сигнала.

Метод «Гусеница» состоит из двух последовательных этапов. Первый этап называется «Разложение». На данном этапе первоначально происходит преобразование одномерного временного ряда в многомерный, который, по сути, представляет «нарезку» исходного ряда или сигнала в матрицу, состоящую из фрагментов исходного ряда, полученных с некоторым сдвигом. Данный сдвиг называется «окном» и напоминает движение гусеницы при формировании многомерного ряда, отсюда и пошло название метода

«Гусеницы». После получения матрицы, происходит ее сингулярное разложение, где выделяются левые и правые собственные вектора и корни собственных чисел матрицы. Перемножение этих компонент дает некоторый временной ряд, который называют собственной тройкой временного ряда.

Следующий этап это группировка и восстановление ряда. Из полученных собственных троек выбираются те компоненты, которые оказывают наибольшее влияние на временной ряд, остальные отбрасываются. Далее происходит процедура диагонального усреднения, и полученные временные ряды в ходе усреднения суммируются. На выходе получается восстановленный и очищенный временной ряд.

Более подробное описание метода приведено в [1].

Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента мы рассматривали различные сигналы, сформированные преимущественно из синусоид с добавлением различных шумов. Приведем некоторые примеры и полученные результаты.

На рисунке 1 представлена стандартная синусоида с добавлением малого уровня шума.



Рис. 1. Синусоида с добавлением малого уровня шума

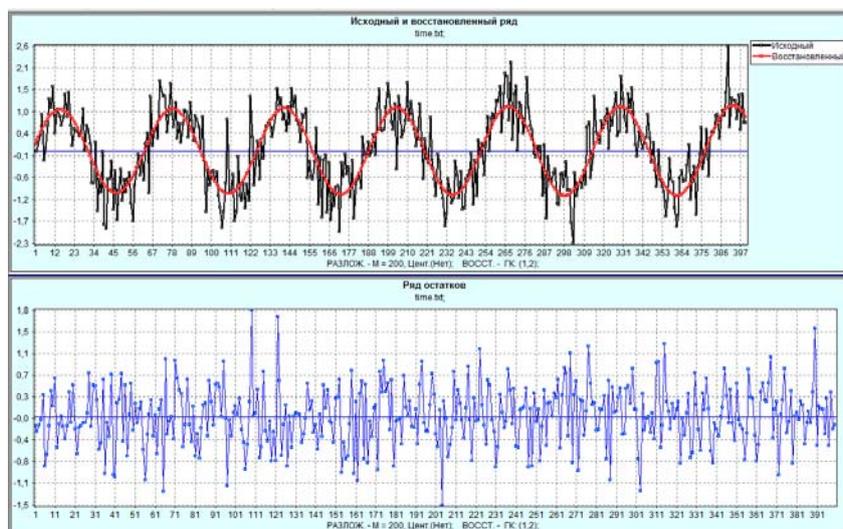


Рис. 2. Очищенная синусоида и шум

После применения очистки методом «Гусеница» был получен ряд, представленный на рисунке 2. Как видим, метод хорошо очистил искомый сигнал от шума.

Далее задача была усложнена, добавлением к синусоиде больше шумовых компонент, график которого представлен на рисунке 3. После этого опять был применен метод «Гусеница», очищенный ряд представлен на рисунке 4.

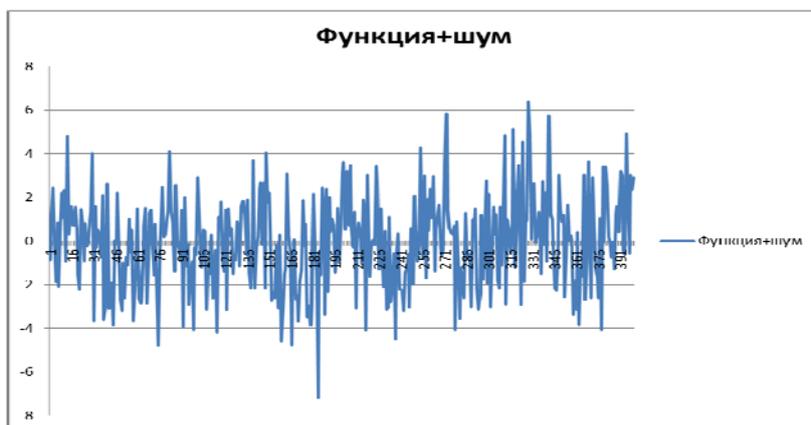


Рис. 3. Синусоида с добавлением большого уровня шума

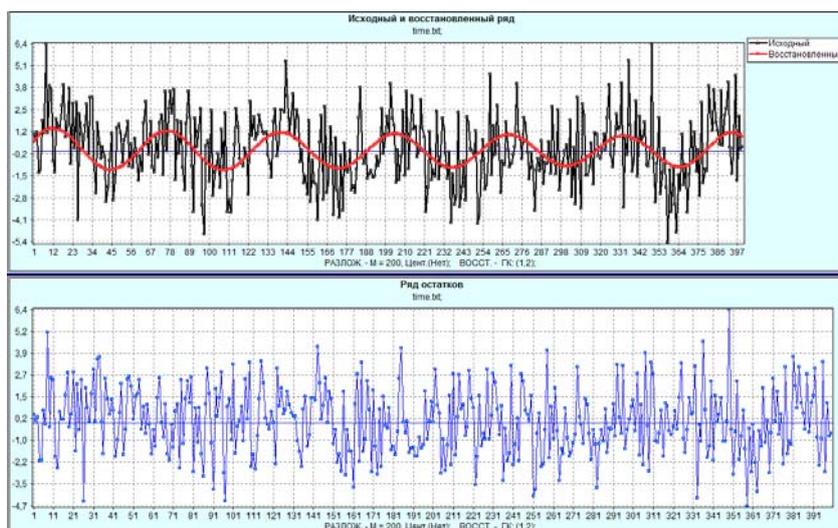


Рис. 4. Очищенная синусоида и шум

Как видим, метод также достаточно хорошо произвел очистку исходного ряда.

Далее помимо стандартных синусоид, косинусоид, их сумм, а так же сдвигов по периоду, были сформированы сложные периодические временные ряды как, например ряд, представленный на рисунке 5. Как видим из рисунка 5, ряд обладает сложным поведением. На рисунке 6 представлен очищенный ряд, естественно методу не удалось очистить ряд до исходной структуры, но метод Фурье и вейвлет-преобразования не достигли даже такого уровня в очистке.

Отметим, что в данной статье мы касались только периодичных функций, но метод «Гусеница» подходит для анализа любых сигналов, как и с явным и не явным трендом, так и сигналов со сложными периодами.

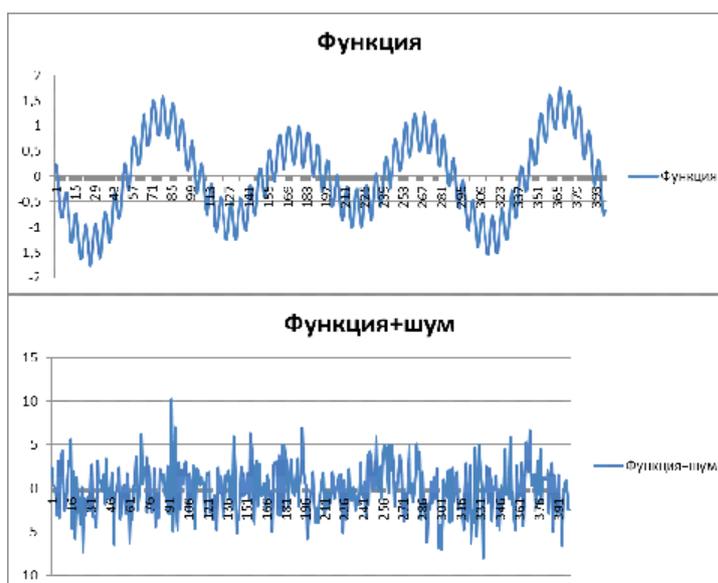


Рис. 5. Усложненный сигнал

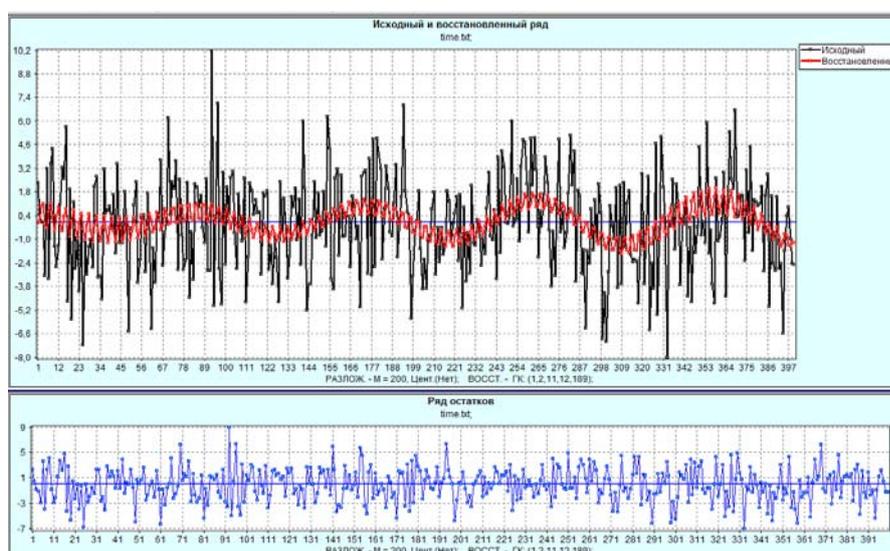


Рис. 6. Очистка усложненного сигнала

Заключение

В работе показано, что метод сингулярно-спектрального анализа позволяет качественно очистить ряд от шумовых компонент. Преимущество метода «Гусеницы», заключается в возможности управления процессом фильтрации на этапах разложения и восстановления сигнала по интерпретируемым компонентам. Что, соответственно дает возможность к более глубокому анализу различных сигналов.

Список литературы

1. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. –76 с.
2. Соловьев А.Ю. Выявление аномалий в поведении сетевого трафика методом сингулярно-спектрального анализа / А.Ю.Соловьев // Управление большими системами. Материалы IX Всероссийской школы-конференции молодых ученых Тамбов-Липецк: изд-во Першина Р.В., 2012.– т.2. – С.71-74.

ОПЫТ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАЦИЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ В ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ ЗАДАЧЕ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Аннотация

В статье дана постановка целочисленной задачи развития транспортной сети и описан алгоритм её решения. Приведено исследование ускорения вычислений в результате частичного распараллеливания алгоритма. Представлен пример решения конкретной задачи развития транспортной сети.

Постановка задачи

Задача развития транспортной сети состоит в добавлении новых связей на графе сети с целью минимизации суммарных затрат на перемещение многопродуктового потока. Кроме обычных для таких задач условий баланса и ограничений пропускной способности связей и узлов, учитываются ограничения, отражающие наличие или отсутствие новых связей, а также ограничения на увеличение локальных степеней вершин [1], [2]. Если затраты на создание новой дуги фиксированы, исходная задача сводится к задаче частично-целочисленного линейного программирования с условиями бинарности некоторых переменных [2], [3].

$$\text{Целевая функция } CF = \sum_{u_k \in U} c_{ko} \sum_{l=1}^L z_{ko}^l + \sum_{v_i \in V} p_i y_i + \sum_{u_k \in U_d} q_k x_k \rightarrow \min, \quad (1)$$

где c_{ko} – стоимость перемещения единицы любого продукта по дуге u_k ;

z_{ko}^l – количество продукта l -го типа, перевозимого по дуге u_k ; p_i – транзитные платежи за перевозку единицы продукта через вершину v_i ; y_i – общий объем транзитных потоков, через вершину v_i ; q_k – стоимость создания дуги u_k ; $x_k \in \{0,1\}$ – бинарная переменная, равная единице в случае, когда создается k -ая дуга.

$$\text{Условие баланса в вершине } i \quad \sum_{u_k \in U_i^+} z_{ko}^l - \sum_{u_k \in U_i^-} z_{ko}^l = r_{io}^l, l=1, \dots, L; i=1, \dots, n; \quad (2)$$

где r_{io}^l – избыток продукта l -го типа в вершине v_i , положительный в источнике и отрицательный в стоке, U_i^+ – множество исходящих из вершины дуг, U_i^- – множество входящих в вершину дуг.

$$\text{Выражения для вершинных транзитов } y_i = \sum_l \left(\sum_{u_k \in U_i^-} z_{ko}^l \cdot r_{io}^l = 0 \right), l=1, \dots, L, i=\overline{1, n};$$

(3)

$$\text{Ограничения потоков через вершины: } y_i \leq s_{v_i}, i = \overline{1, n}; \quad (4)$$

s_{v_i} – транзитная пропускная способность вершины v_i .

$$\text{Ограничения пропускных способностей дуг } \sum_l z_{ko}^l \leq s_k, k = \overline{1, K - m}, \quad (5)$$

s_k – пропускная способность дуги u_k .

$$\text{Условие существования дуги } \sum_l z_{ko}^l \leq s_k x_k, k = \overline{K - m + 1, K}, \quad (6)$$

$$\text{Ограничения на локальные степени вершин } \sum_{u_k \in U_{di}} x_k \leq t_i, i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

U_{di} – множество новых дуг, инцидентных вершине i , t_i – максимально допустимое количество таких дуг.

Следует отметить стремительный рост размера частично-целочисленной задачи с ростом количества узлов транспортной сети, и, как следствие, стремительный рост затрат времени на решение.

В табл. 1 приведена зависимость параметров задачи частично-целочисленного программирования от количества узлов.

Таблица 1

Зависимость параметров задачи от количества узлов

Количество вершин	Количество бинарных переменных	Ограничения	Переменные
5	6	31	52
8	21	203	350
10	36	486	852
12	55	990	1760
14	78	1807	3250
17	120	3860	7040
20	171	7296	13452

Ввиду внушительных затрат времени, необходимого для получения решения, приходится изыскивать различные способы ускорения расчётов. Ниже описан обобщённый алгоритм решения поставленной задачи и приведено исследование результатов применения одного из методов ускорения вычислений путём распараллеливания.

Обобщённый план решения задачи

Для решения поставленной задачи частично-целочисленного программирования сначала осуществляется вычисление нижней оценки целевой функции с помощью задачи линейного программирования без учёта бинарности переменных.

Справедливы следующие утверждения.

1. Если задача линейного программирования не имеет решения, то и поставленная задача не имеет решения.

2. Если в решении линейной задачи все переменные, отвечающие за создание новых дуг, принимают значение 0 или 1, то получено решение исходной задачи.

Если не все переменные, отвечающие за создание новых дуг, бинарны, производится выбор метода поиска частично-целочисленного решения. Метод ветвей и границ (МВГ), гарантированно дающий целочисленное решение ресурсоёмок, и расчёты при помощи него, как правило, занимают большое количество времени. Поэтому в рассматриваемом алгоритме производится сравнение количества нецелочисленных бинарных переменных с некоторым заранее определённым значением. Если данное значение не превышено, применяется метод ветвей и границ.

В противном случае сначала производится процедура варьирования: случайного изменения коэффициентов целевой функции в пределах некоторого, наперёд заданного, интервала, и последующее решение линейной задачи с полученной целевой функцией. Этот подход основан на эвристическом предположении, что в окрестности оптимального нецелочисленного решения содержатся целочисленные точки, которые можно найти подобным «покачиванием» целевой функции. Обоснованность предположения обусловлена свойствами решаемой задачи, проверена многочисленными расчётами. Более подробно алгоритм описан в [3], [4]

Исследование эффективности применения параллельных вычислений в процессе поиска целочисленного решения методом варьирования целевой функции. Пример решения задачи с 14 узлами и 78 потоками

Преимуществом варьирования является предрасположенность алгоритма к распараллеливанию. Действительно, вариации полностью независимы друг от друга, и их можно производить параллельно в разных процессорных потоках (*Tread'ax*). Расчёты производились на процессоре *Intel Core i7*. Вычислялось ускорение как отношение времени осуществления 240 вариаций в одном процессорном потоке ко времени осуществления того же количества вариаций в 8 потоках. Ниже представлен график, показывающий, во сколько раз удалось сократить время, затрачиваемое на варьирование, в случае выполнения расчётов в 8 потоках, в задачах с различным количеством узлов:

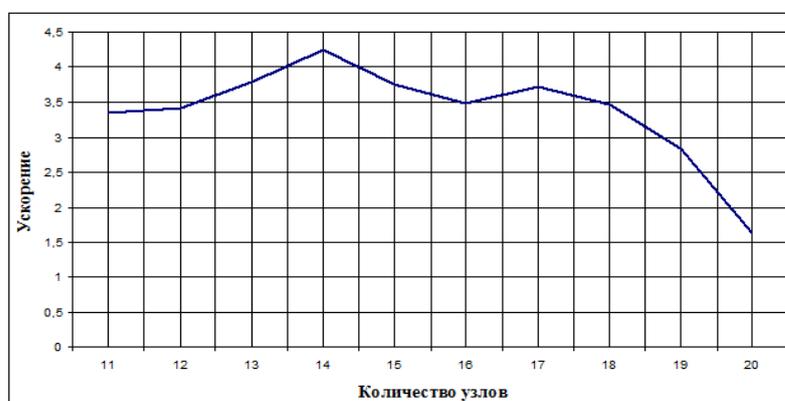


Рис. 1. Ускорение при распараллеливании варьирования на 8 потоков в задачах с различным количеством узлов

Как видно из графика, посредством распараллеливания можно достичь 3,5-4-кратного сокращения времени расчётов. Можно предположить, что резкое падение ускорения на задачах с 19-20 узлами происходит из-за нехватки оперативной памяти и, как следствие, частого обращения к файлу подкачки Windows. Наибольшее ускорение было получено в задаче с 14 узлами и 78 транспортными потоками. Её решение представлено на рисунке 2.

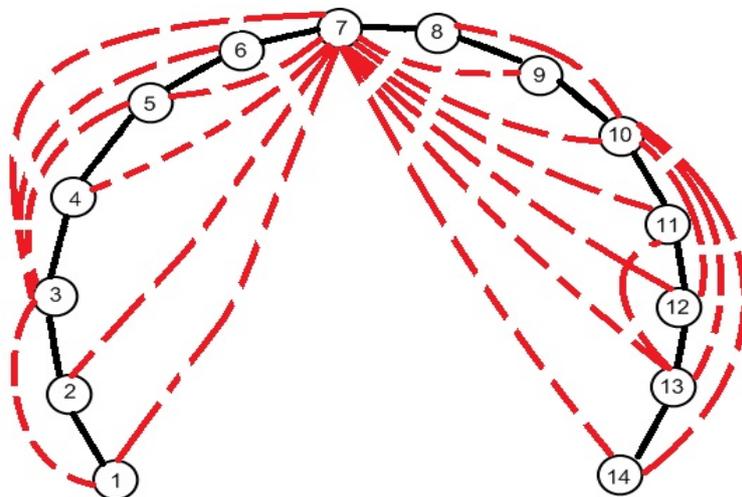


Рис. 2. Графическое изображение решения задачи с 14 узлами и 78 потоками

Представленное решение создаёт иллюзию того, что данная задача может быть изначально декомпозирована на две задачи меньшей размерности, однако, из исходных данных подобную декомпозицию никоим образом извлечь нельзя.

Список литературы

1. Мардашова П.Г., Стягов А.А., Эпштейн Г.Л. Оптимизация развития транспортной сети со случайными потоками // Труды Пятой Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2010. – М.: 2010. стр. 415 – 424.

2. Стягов А.А., Эпштейн Г.Л. Применение параллельных вычислений в задачах маршрутизации. Мир транспорта. – М.: 2010. Т. 33. № 5. стр. 24-27.

3. Стягов А.А. Применение параллельных вычислений в задаче развития транспортной сети // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Сборник избранных докладов научно-практической конференции: учебно-методическое пособие. Под ред. проф. В. А. Сухомлина. – М.: ИНТУИТ.РУ, 2011. стр. 920 – 929.

4. Стягов А.А., Эпштейн Г.Л. О выборе методов оптимизации развития транспортной сети в многоядерной вычислительной среде. // «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2012. Шестая международная конференция, Москва 24-26 окт. 2012 г. – Труды: в 3 т. – М.: ИПУ РАН, 2012. – Том 2. стр. 167 – 175.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация

Рассматривается задача оптимизации инфраструктурной сети на примере транспортной сети региона. Метод оптимизации разработан на основе известной задачи Штейнера, а также с учетом факторов рельефа местности и объемов грузопотоков. Для разработки программного решения использовались принципы генетических алгоритмов.

Введение

С каждым годом число автомобилей на автомагистралях стремительно растет. Увеличивается потребность в перевозке различных грузов между регионами. Вследствие чего появляется необходимость в проектировании и строительстве новых автомобильных дорог и даже целых дорожных сетей.

Строительство дороги позволит решить ряд экономических и социальных проблем в районе ее проектирования. В социальном плане автомобильная дорога даёт возможность соединить населённые пункты с их административным центром, позволит перевозить грузы в кратчайшие сроки, увеличить объём грузооборота.

Стоимость строительства дорог в России колеблется от нескольких сотен миллионов рублей до нескольких миллиардов рублей за километр дороги. Затраты на дорожные работы зависят от района проектирования и от класса дороги. Но даже минимальная стоимость строительства дороги достаточно высока.

Поэтому возникает задача оптимизации дорожной сети и траектории дороги с учетом рельефа местности с целью сокращения общей протяженности дорог проектируемого региона, и как следствие снижения затрат на строительство дорог.

1. Постановка задачи

В качестве исходных данных мы имеем регион с некоторым количеством городов (точек), описанный массивом с их глобальными координатами (см. таблицу 1).

Таблица 1

Глобальные координаты городов региона

	X	Y
Дружинино	89,55061	14,09254
Ревда	64,88865	14,09254

Первоуральск	62,75444	29,94666
Екатеринбург	18,42133	17,61568
Березовский	5,248902	28,18509
Арамилъ	5,279938	5,284704

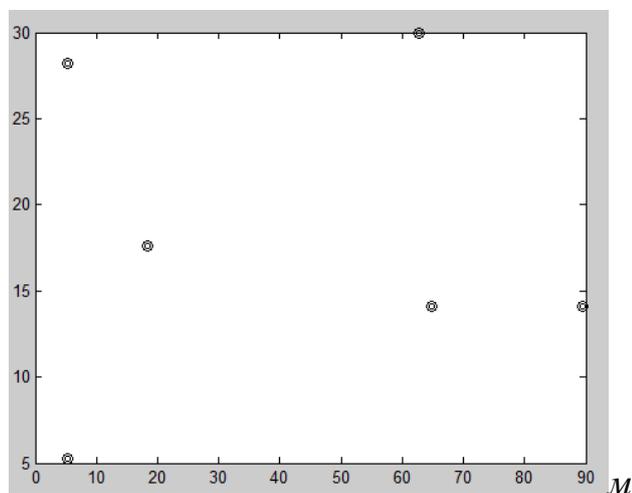


Рис. 1. Исходные точки региона

Часть карты, включающая в себя перечисленные населенные пункты, была оцифрована и представлена в виде таблицы с координатами широты и долготы, а так же высотами в узлах сетки. В данной таблице были обозначены рассматриваемые города. Так же использовалась таблица с существующими длинами дорог, с которыми впоследствии сравнивались результаты, полученные в результате применения программы.

Для создания сети дорог также используется таблица с транспортными потоками между населенными пунктами рассматриваемого региона. В таблице указаны объемы грузовых потоков, которые необходимо ввезти в город, а так же вывезти за определенный интервал времени.

Задача данной работы сводится к оптимизации дорожной сети района проектирования на основе имеющихся данных о грузопотоках между населенными пунктами региона. Оптимальность определяется минимизацией затрат на перевозку грузов, а так же на прокладку дорог. Также при решении поставленной задачи в процессе проектирования дорожной сети следует учитывать необходимость оптимизации траектории дороги с учетом рельефа местности. Для наиболее эффективного результата работы программы протяженность дорог между каждой парой населенных пунктов дорожной сети должна быть сведена к минимуму.

2. Создание оптимальной дорожной сети региона

По имеющимся данным (координаты городов и количество транспортных потоков) необходимо определить оптимальное соединение между городами, с учетом наименьших затрат как на грузоперевозки, так и прокладку дорог.

Если при построении дерева учитывать только транспортные потоки, то результат получится неоптимальным с точки зрения суммарной длины дорог. Минимальный объем общих грузовых потоков получится в том случае, если каждый город будет соединен с любым другим городом.

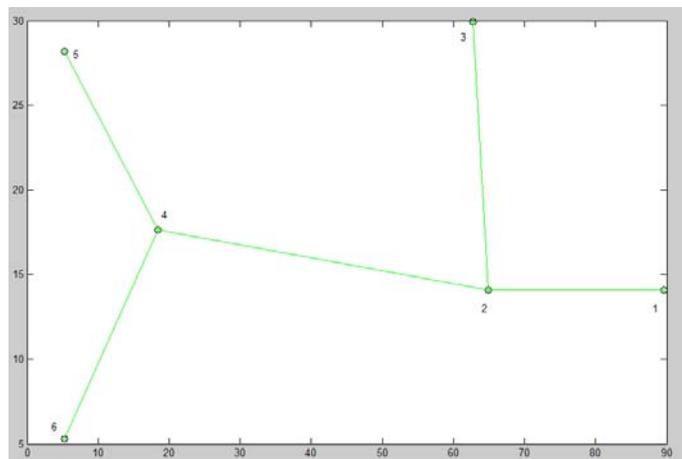


Рис. 2. Минимальное остовное дерево

Задача состоит в том, чтобы построить транспортную сеть между этими городами таким образом, чтобы суммарная протяженность дорожного полотна была минимальна.

Иными словами, с точки зрения математики требуется соединить все точки из некоторого набора, например города региона, ломаными линиями таким образом, чтобы каждую пару точек соединял некоторый путь, и чтобы суммарная длина линий была минимальной.

Проблема оптимизации дорожной сети может быть рассмотрена, как частный случай известной задачи Штейнера, которая заключается в поиске кратчайшей сети, соединяющей заданный конечный набор точек плоскости.

Задача Штейнера не решается соединением точек. Для решения задачи необходимо добавить новые точки, называемые точками Штейнера, служащие в качестве узлов искомой кратчайшей сети.

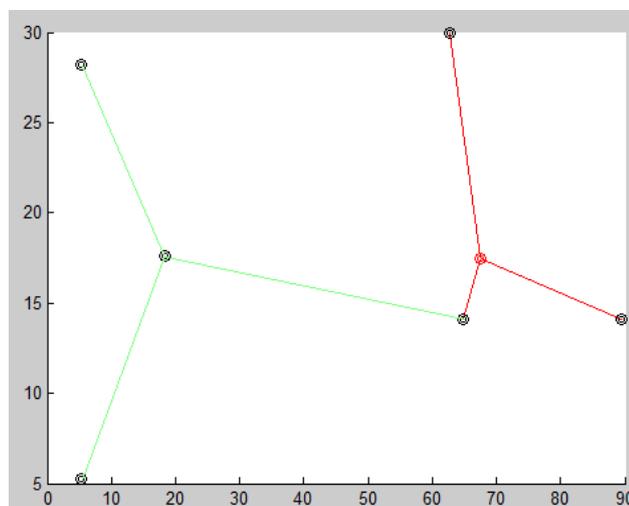


Рис. 3. Оптимальная сеть соединения городов региона

3. Оптимизация дорожной сети с учетом рельефа местности

На построенной дорожной сети необходимо найти оптимальные траектории между городами с учетом рельефа местности. В этой части задачи минимизируем общую протяженность дорог. В программе составляем алгоритм для нахождения оптимальной траектории для двух точек. После чего применяем полученный алгоритм последовательно ко всему графу.

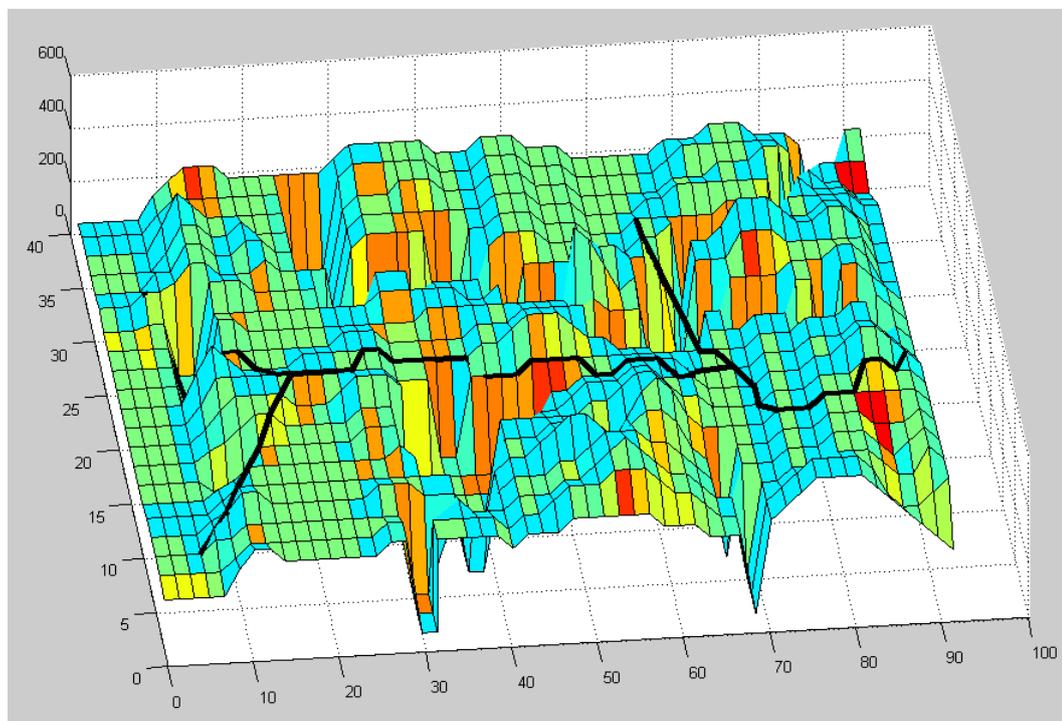


Рис. 4. Результат работы программы

Заключение

Автором предлагается методика решения поставленной задачи при помощи программы, реализованной в среде *Matlab* и основанной на принципах действия генетических алгоритмов. В качестве начального приближения строится минимальное остовное дерево, соединяющее все требуемые точки. Поиски точек Штейнера и оптимизация дорожной сети производятся при помощи генетических алгоритмов.

В качестве конечного итога работы программы строится трехмерная карта соединения городов региона. В качестве примера были взяты 6 крупнейших городов Свердловской области. При этом суммарная длина дорог составляет 122 и 117 километров соответственно.

Список литературы

1. Журавская М. А., Тарасян В. С. Искусственный интеллект в некоторых задачах моделирования и планирования логистических систем // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. – Костанай: КСТУ, 2012, №3 – с. 84-92.

МЕТОД ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ СООБЩЕСТВ

Аннотация

В статье рассмотрены основные особенности сетевых сообществ, проведен обзор существующих методов управления их ресурсами. В качестве одного из методов моделирования коммуникационной среды сетевого сообщества предлагается метод пространства состояний и «обратная модель Месаровича-Такахары».

Введение

При управлении современными корпоративными объектами, представляющими собой «большие» и «сверхбольшие» территориально разбросанные социотехнические системы, особенно остро ставятся проблемы эффективности оперативного управления, принятия решений, профессионального взаимодействия и коммуникации рабочих групп. Такие системы находятся под влиянием множества внутрисистемных и внешних факторов, в связи с чем возникает риск непредусмотренных отклонений в поведении объектов, а, следовательно, и в стабильности функционирования и управляемости системы. Одним из подходов к решению перечисленных проблем и повышению эффективности принимаемых решений является внедрение в профессиональную среду технологии социальных сетей и сетевых сообществ. В этом случае сетевые сообщества рассматриваются как виртуальная часть аппарата управления, а, следовательно, приобретает особую актуальность задача рационального использования их информационных и технологических ресурсов.

В рамках общесистемной классификации сетевые сообщества можно отнести к самоорганизующимся системам с нечеткими параметрами. Проведенный анализ показал, что для корректного взаимодействия с их ресурсным потенциалом не обойтись без разработки специальных моделей и методик преимущественно на базе известных и апробированных прикладных математических методов с учетом специфики функционирования конкретного сообщества. В этой связи важной является также подзадача методической адаптации имеющейся теоретической базы к конкретным управленческим задачам. Достаточно строгой теории здесь пока не создано, однако методические ориентиры уже намечены в работах российских и зарубежных исследователей Губанова Д.А., Новикова Д.А., Чхартишвили А.Г., Мальцевой С.В., *O'Reilly T.*, *Pattison P.*, *Wenger E.*, *Mesarovic M.*, *Macko D.*, *Takahara Y.* и др.

1. Особенности развития виртуальной коммуникационной среды

Современное состояние социально-экономической среды хозяйствования, в том числе, корпоративного, характеризуется неким актуализированным набором свойств, параметров и парадигм. Некоторые исследователи даже отмечают изменение структуры цивилизационного формата [1], как следствие международного разделения труда, в т.ч. и в сфере информационных технологий. Сейчас социальное взаимодействие осуществляется на совершенно ином совокупном ресурсе, концентрация которого несопоставима с возможностями иных периодов. Открытые каналы коммуникации требуют совершенно иных методов в обеспечении информационной безопасности. Существенно трансформирована и система человеческих ценностей в целом, социальный статус все более соотносится с системой ограничений в рамках социальной ответственности. Открытость информации теперь уже не означает доступность. А методы ее эффективного считывания не обеспечивают эффективности ее использования. Информация не обращается автоматически в знание. Коллективное взаимодействие в этой сфере не имеет альтернатив. Коллективная «воля» социального сообщества уже не является абстракцией.

Понятно, что вышеперечисленные изменения и возможности, предоставляемые научно-техническим прогрессом, не должны игнорироваться при разработке методологических и методических установок, а также стратегий эффективного управления современными производственными системами при решении о внедрении в систему управления информационных социально-ориентированных технологий.

Но есть одна из особенностей современной виртуальной коммуникационной среды, которая имеет характер «системного нарушителя». Наблюдается серьезная асимметрия в развитии практической (технической) стороны и теоретической. Достаточно развиты технологические платформы и социально-ориентированное программное обеспечение. Но еще очень мало разработано четких алгоритмов и методик функционирования и управления, учитывающих особенности системной нестабильности, в том числе и в архитектуре сетевых сообществ. Следовательно, научные исследования в данной области являются уже не просто востребованными, а необходимыми.

2. Метод пространства состояний, как основа для системного описания сетевого сообщества

Одной из фундаментальных объектных категорий теории управления и теории систем, позволяющих описывать поведение динамической системы, является пространство состояний. Рассмотрение системы управления в рамках данной категории позволяет исследовать и контролировать ее важнейшие свойства – свойства управляемости, наблюдаемости, оптимизации и адаптируемости системы [2].

Сетевое сообщество, как единый информационный ресурс, тоже можно рассматривать в рамках данной категории. Любая сеть обладает пространственно-временными характеристиками. Ее единственной

сущностной, имеющей научно-методологический потенциал, категорией является состояние ресурса. Ресурсом в данном случае является информационность.

Т.е. сообщество, как динамическая система, в определенные моменты времени t обладает различными информационными состояниями $x(t)$. В результате качественного изменения состояний происходит перемещение системы на новый уровень развития. Это перемещение осуществляется в соответствии с определенными механизмами и закономерностями, исследование которых представляет практический интерес для эффективного использования социально-ориентированных технологий.

3. Алгоритм моделирования сетевых сообществ на основе формирования представлений в пространстве состояний

В рамках теории построения иерархических систем в ряду других получила популярность достаточно общая модель, основанная на решении задач управления для систем с минимальной структурой, что трактовалось как некий атрибут оптимальности структуры [3]. В связи с этим, решение задачи осуществлялось для двухуровневых систем, формирующих более сложные многоуровневые системы. В этом случае первичными являлись объекты состояний, а пространство состояний рассматривалось как вторичное.

Такое решение [3], благодаря своей универсальности стало уже выглядеть классическим, однако, как показал анализ, для решения задачи по управлению ресурсным потенциалом социальных сетей и сетевых сообществ упомянутый подход, а, следовательно, и полученный на его основе алгоритм, в чистом виде использоваться не может, так как оказывается непродуктивным для неиерархических, саморегулирующихся системах. Особенностью таких структур является то, что здесь первичным является именно пространство ресурсных состояний сетевых акторов. Соответственно объекты состояния, сами акторы, структурные элементы – вторичны. Поэтому целесообразно, используя предлагаемый указанными авторами набор методических инструментов, основывать моделирование на принципиально иной идеологии, которая необходимым образом инверсирует алгоритм Месаровича-Такахары, придает ему принципиально иной характер. Такие модели иногда называют обратными.

Таким образом, предлагаемый алгоритм, в рамках которого осуществляется моделирование, в общем виде можно представить так:

1. формирование представления в пространстве состояний (актуализация сети) и определение целевой функции модели,
2. обоснование (в т.ч. критериальное) канонического представления,
3. проверка реализуемости модели с использованием сетевых параметров, руководствуясь установленной системой ограничений,
4. полномасштабная итерация семейства реакций в сетевой модели,
5. завершение цикла - установление эффективности реакции (ресурсного сетевого отклика на применение модели при решении задачи).

4. Заключение

В настоящее время известно множество математических моделей, которые можно с тем или иным успехом применить для решения задачи управления ресурсным потенциалом сетевых сообществ совместно с рассмотренным выше алгоритмом, однако их количество существенно сокращается при постановке цели моделирования сетевого сообщества как системы в пространстве состояний. Это:

- применение оптимизационных теоретико-игровых моделей для описания взаимодействия агентов сетевых сообществ [4];
- стохастические модели больших сетей, основанные на описании поведения агентов [4];
- теоретические модели информационного влияния, управления и противоборства [4];
- формальное описание сообщества с помощью онтологий [5];
- агрегированные модели на базе объединения инфологических и онтологических моделей сетевого сообщества [6].

Данные модели не являются универсальными, их применение обусловлено наличием конкретной системной сетевой доминанты, которая выявляется в процессе структурно-функционального анализа корпоративного объекта. Описание методики этого анализа выходит за рамки предлагаемого сообщения.

Список литературы

1. Нургалева Л.В. Нестрогие коммуникационные альянсы: проблемы и особенности взаимодействия сетевых сообществ. – электронный журнал «Гуманитарная информатика», выпуск 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://huminf.tsu.ru/e-jurnal/magazine/3/nur.htm>.
2. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления. – СПб, Политехника, 2003. 302 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем. - М.: Мир, 1973 г.
4. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. – 228 с.
5. Мальцева С.В., Проценко Д.С. Серверы отношений сетевых сообществ практики на основе онтологических моделей. – М.: Автоматизация и современные технологии, 2008. № 3. С. 26—29.
6. Мальцева С.В., Проценко Д.С. Формализованный подход к управлению сетевым сообществом практики. – М.: Автоматизация и современные технологии, 2011, № 3. С. 42-46.

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ БЛОЧНО-МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТД

Аннотация

В статье показан способ представления динамической характеристики (ДХ) в виде матриц, который используется для моделирования газотурбинного двигателя (ГТД) с целью анализа и синтеза алгоритмов управления двигателем на всевозможных режимах эксплуатации.

Введение

Предлагается способ представления модели газотурбинного двигателя на основе динамической характеристики.

Целью работы является анализ и синтез системы автоматического управления (САУ) ГТД на основе блочно-матричного представления динамической характеристики двигателя.

Блочно-матричное представление динамической характеристики ГТД

Параметры, адекватно описывающие поведение ГТД: расход топлива, частота вращения и ускорение ротора турбокомпрессора, давление, температуры и другие связаны между собой. Полную модель газотурбинного двигателя не удастся реализовать явно в виде математических зависимостей, т.к. для этого требуется построение решения систем дифференциальных уравнений в частных производных высокого порядка с изменяющимися краевыми условиями. Поэтому предлагается построить модель, где сложные взаимосвязи между параметрами двигателя будут выявляться за счет базовых свойств, присущих интеллектуальным алгоритмам: идентификации, классификации, оптимизации. Но для построения интеллектуальной модели необходимо провести дополнительную работу по подготовке данных.

Ранее объект управления описывался звеном, у которого входной координатой является расход топлива, а выходной – частота вращения турбокомпрессора, при этом температура газа, давление воздуха за турбокомпрессором, а также другие величины в данном случае не учитывались [1].

Предлагается использовать динамическую характеристику ГТД (рис. 1), представленную в виде семейства кривых в системе координат (G_T, n, \dot{n}) , где n – приведённая частота вращения ротора турбокомпрессора, G_T – приведённый расход топлива, \dot{n} – приведённое ускорение ротора турбокомпрессора. Таким образом, логичным является использование динамической характеристики для

построения нелинейной универсальной модели ГТД, рассматривая каждое семейство кривых как функцию приведённых переменных n , G_T .

Для адекватного представления ДХ как многомерной характеристики ГТД данные, представленные динамическими кривыми, организованы в виде матриц. Строится два вида матриц: по частоте вращения ротора турбокомпрессора, по расходу топлива. Эти матрицы являются связными.

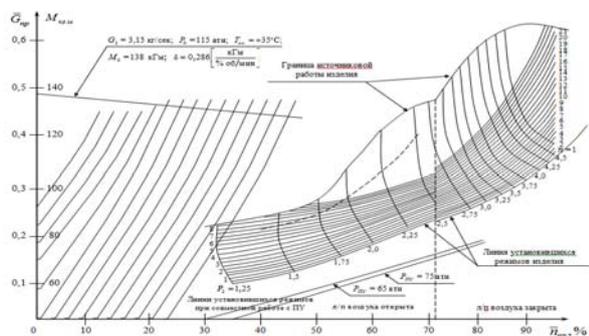


Рис. 4. Динамическая характеристика одновального ГТД

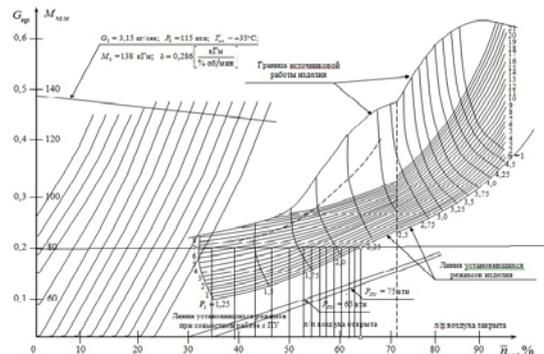


Рис. 5. Образование матрицы значений по расходу топлива G_T

Матрица по расходу топлива представляет собой составную матрицу вида $A_{G_T} = \begin{pmatrix} G_T & n & \dot{n} \end{pmatrix}$, графический способ описания построения которой представлена на рис. 2. Взяв определённое значение расхода топлива G_T , которое принимается за константу и откладывается в виде прямой на графике ДХ, в матрицу заносятся значения n и \dot{n} , полученные в точках пересечения прямой значения расхода топлива с кривыми линиями ДХ.

Аналогично составляется другая матрица по ускорению ротора \dot{n} (рис. 3).

Она имеет вид $A_{\dot{n}} = \begin{pmatrix} \dot{n} & n & G_T \end{pmatrix}$.

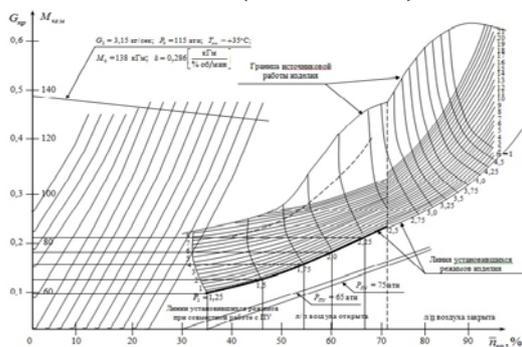


Рис. 6. Образование матрицы ускорения ротора турбокомпрессора \dot{n}

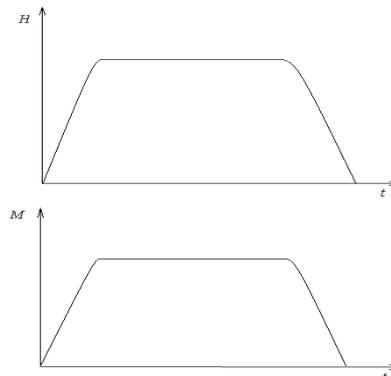


Рис. 7. Зависимость высоты и скорости полета от времени t

Логика взаимодействия этих матриц состоит в следующем: выбрано начальное значение времени расчета t , а также время дискретизации Δt , относительно которого будут проходить расчеты.

По начальному значению времени t , находим текущие значения высоты H и скорости полета M , графики зависимостей которых представлены на рис. 4.

Найденные значения подставляем в известные формулы [2], по которым находим $P_{вх}^*$ и $T_{вх}^*$, откуда находим значение расхода топлива GT , которое является начальным значением. Предполагается, что известно начальное значение частоты вращения ротора турбокомпрессора n . Начальные значения GT и n поступают на вход матрицы расхода топлива $\|A_{GT}\|$. При нахождении в матрице соответствующих поступивших значений, определяется значение ускорения ротора турбокомпрессора \dot{n} .

На следующем шаге, через промежуток времени Δt значения расхода топлива и ускорения поступают на вход матрицы ускорения $\|A_{\dot{n}}\|$. По поступившим в матрицу значениям находится новое значение частоты вращения ротора турбокомпрессора n .

В дальнейшем происходит повторение шагов до тех пор, пока значение ускорения ротора турбокомпрессора станет равным нулю.

С помощью полученных матриц воспроизводится изменение параметров двигателя, связанных с изменением внешних характеристик на всей траектории полёта БПЛА. Учитывая связность полученных семейств матриц, изменения любого из параметров объекта приводит к соответствующим переходам как внутри матриц, так и в комплексе. Количество значений, зависит от шага дискретизации (требуемой точности), диапазон охвата ДХ так же может быть изменён: возможно, построение всережимной модели, охватывающей как режим стабилизации, так и разгона, а также переход с режима на режим.

Результаты исследования

На основе описанного выше подхода получения модели ГТД, построен нечеткий регулятор для системы автоматического управления ГТД

Функция принадлежности для ошибки модели ГТД для нечеткого регулятора представлена на рис. 5. Функции принадлежности для входного параметра в нечеткий регулятор скорость изменения ошибки представлен на рисунке 6. Представление функций принадлежности для входного параметра в регулятор, которые описывают режимы работы системы на рис. 7. Функция принадлежности для выходного сигнала имеет вид, представленный на рис. 8.

На основе экспериментальных данных и экспертных заключений строится база правил.

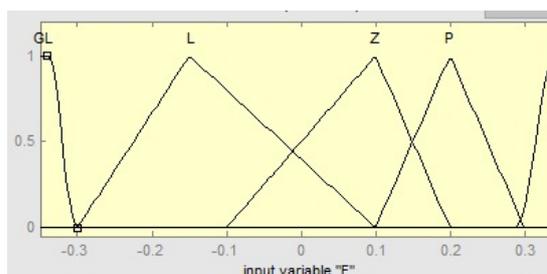


Рис. 5. Представление ошибки модели для нечеткого регулятора

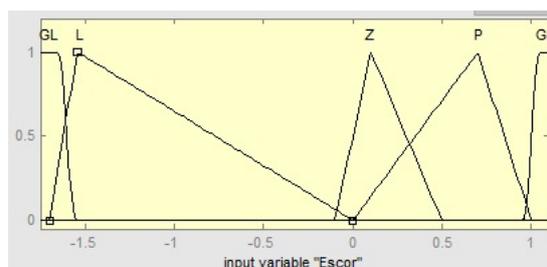


Рис. 6. Функции принадлежности скорости изменения ошибки модели ГТД

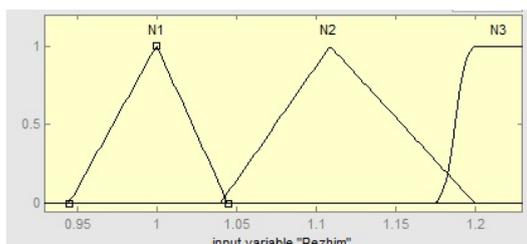


Рис. 7. Функции принадлежности для режима работы системы

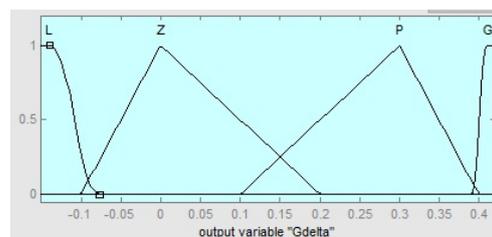


Рис. 8. Функции принадлежности для выходного сигнала нечеткого регулятора

Итоговая поверхность решений имеет вид, представленный на рис. 9.

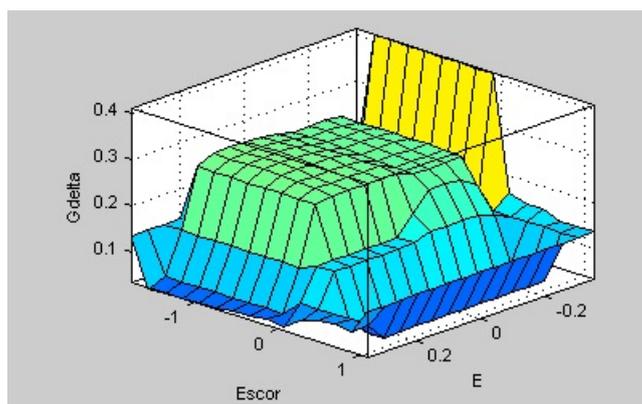


Рис. 9. Поверхность решений нечеткого регулятора

Продемонстрирована возможность системы управления генерировать необходимые управляющие воздействия для любых ошибок модели и ее изменений.

Выводы

В работе проведен анализ и синтез системы автоматического управления газотурбинным двигателем на основе блочно-матричного представления динамической характеристики, охватывающий все режимы эксплуатации. Показана реализация алгоритмов управления на основе нечеткой логики.

Список литературы

1. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах / Предисл. Г.Г. Малинецкого. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 384 с. (Синергетика: от прошлого к будущему.)
2. Любомудров Ю.В. Применение теории подобия при проектировании систем управления ГТД. – М.: Машиностроение, 1971. – 199с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ

Аннотация

Рассматривается методика применения динамического программирования для построения структурной схемы надёжности системы с оптимальными параметрами.

Введение

Одним из показателей качества любой системы является ее надёжность. Задачи синтеза структурной схемы надёжности могут иметь множество решений большинство из которых далеко от оптимального.

Система без резервирования имеет существенный недостаток – ее надёжность всегда меньше надёжности самого ненадёжного элемента системы.

Структурно-функциональные методы повышения надёжности включают в себя использование таких схем построения технологических процессов, при которых отказ в работе отдельных элементов не нарушает функционирование технологического процесса. Это достигается за счет избыточности аппаратных, программных и информационных средств, использования аппаратных и программных средств оперативного обнаружения неисправностей и компенсации последствий отказов отдельных элементов.

Наиболее распространенной является аппаратная избыточность, реализуемая введением резервных элементов, лишних с точки зрения повышения технической эффективности исправных элементов системы и вводимых только для повышения аппаратной надёжности.

Метод сплошного перебора непригоден для решения таких задач, а существующие методы синтеза оптимальных структурных схем надёжности систем [1] довольно сложны для применения.

Метод Беллмана – один из путей быстрого синтеза надёжных систем с использованием ЭВМ

Ограничивающими факторами при создании системы могут выступать затраты на дублирование, вес и/или объем устройства, надёжность переключательных схем и др. Задача состоит в определении оптимальной стратегии дублирования с минимизацией ограничивающего фактора при заданной вероятности безотказной работы (ВБР).

Динамическое программирование - один из мощных методов решения задач математического программирования, разработанный американским математиком Р. Беллманом в конце 50-х годов. Он изначально ориентирован на оптимизацию так называемых многошаговых (многостадийных, многоэтапных) процессов путем их разложения на ряд задач значительно меньшей размерности [2].

Фундаментальной основой метода динамического программирования (ДП) является сформулированный Беллманом принцип оптимальности, согласно которому оптимальное управление определяется конечной целью управления и состоянием системы в рассматриваемый момент, независимо от того, каким образом она пришла в это состояние. Иначе говоря, при фиксированном состоянии системы последующее оптимальное решение не зависит от ее предыстории. Ввиду важности принципа приведем его полную формулировку.

Принцип оптимальности Беллмана. Оптимальное поведение обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения.

Этот принцип является конструктивным, он позволяет существенно повысить эффективность решения определенного класса задач математического программирования путем их разложения на ряд задач значительно меньшей размерности. Как уже отмечалось выше, здесь имеются в виду задачи, которые могут быть представлены как многошаговые.

Очень важным понятием в ДП является состояние системы. Оно фигурирует в принципе оптимальности и на нем базируются вычислительные процедуры ДП.

При разбиении задачи на шаги состояние служит связующим звеном между смежными шагами. Состояние зависит от предшествующих решений, но зная его, можно принимать решения на последующих шагах без учета решений, предшествовавших данному состоянию. Обратим внимание на важный момент: чтобы принять очередное решение, достаточно знать состояние, а не решения, приведшие к этому состоянию.

Две постановки задачи оптимизации структурной схемы надёжности (ССН) системы выглядят следующим образом [3]:

1) Построить систему с резервированием элементов, где $W_c \rightarrow \min$ при $P_c(t) \geq P_c^z(t)$.

2) Построить систему с резервированием элементов, где $P_c(t) \rightarrow \max$ при $W_c \leq W_c^z$.

Рассмотрим первую задачу как наиболее актуальную и чаще встречающуюся.

В качестве критерия следует взять вероятность безотказной работы всего устройства $P_c(t)$, которая при последовательном соединении блоков равна произведению вероятностей этих блоков. Стоимость синтезируемой системы W_c должна быть минимальной. Поэтому модель задачи будет иметь вид

$$W_c \rightarrow \min \text{ при } P_c(t) = \prod_{j=1}^N \varphi_j(m_j) \geq P_c^z(t), \quad (1)$$

где W_c – стоимость системы, $P_c(t)$ – вероятность безотказной работы новой (резервированной) системы, $P_c^z(t)$ – заданная вероятность безотказной работы,

$\varphi_j(m_j)$ - вероятность безотказной работы j -го блока с m_j дублирующими элементами.

Задача представима как многошаговая, а шагом является определение числа дублирующих элементов для одного блока.

Пронумеруем шаги справа налево [2]. Теперь можно ввести последовательность функций $\{f_k(t)\}$, $k=1, N$. Каждая функция имеет смысл максимальной вероятности безотказной работы k оставшихся блоков:

$$f_k(t) = \max_{j=1}^k \prod_{j=1}^k \varphi_j(m_j) \quad (2)$$

Если в k -й блок включить m_k дублирующих элементов, так чтобы выполнялось условие $P_c(t) \geq P_c^z(t)$, то с учетом (2) и последовательного соединения k -го блока с остальными $k-1$ блоками вероятность безотказной работы k блоков будет равна $[\varphi_k(m_k)f_{k-1}(t)]$.

Пример

Пусть система автоматизации включает в свой состав пять подсистем. При синтезе оптимальной по ВБР ССН будем применять оптимизацию и резервирование замещением с нагруженным режимом работы элементов. Ненадежностью и стоимостью мажоритарных элементов и переключающих устройств можно пренебречь.

Заданные значения ВБР подсистем: $P_1=0,9$, $P_2=0,75$, $P_3=0,82$, $P_4=0,8$, $P_5=0,9$; их стоимости $C_1=16$, $C_2=11$, $C_3=13$, $C_4=12$, $C_5=15$ соответственно. Заданное значение ВБР системы $P_c^z(t) = 0,94$; заданное (допустимое) значение стоимости системы $C_z = 120$.

Решение

Найдем $W_c \rightarrow \min$ при $P_c(t) \geq P_c^z(t)$.

Для начала проверим выполнение условия $P_i(t) \geq P_c^z(t)$ для каждого i от 1 до 5. Видно, что ни для одного из участков системы это условие не выполняется, поэтому необходимо введение резервных элементов. Применим резервирование замещением с нагруженным режимом работы резервных подсистем.

Начнём увеличивать ВБР системы, учитывая условие $P_i(t) \geq P_c^z(t)$, для этого рассчитаем значение ВБР на каждом участке:

На первом этапе $P_1(t) = 1 - (1 - P_1)^2 = 0,99 > P_c^z(t)$,

тогда $P_c(t) = P_1(t)^5 = 0,951 > P_c^z(t)$.

На втором этапе $P_2(t) = 1 - (1 - P_2)^3 = 0,992 > P_c^z(t)$,

тогда $P_c(t) = P_1(t) * P_2(t)^4 = 0,958 > P_c^z(t)$.

На третьем этапе $P_3(t) = 1 - (1 - P_3)^3 = 0,9942 > P_c^z(t)$,

тогда $P_c(t) = P_1(t) * P_2(t) * P_3(t)^3 = 0,965 > P_c^z(t)$.

На четвертом этапе $P_4(t) = 1 - (1 - P_4)^3 = 0,9844 > P_c^z(t)$,

тогда $P_c(t) = P_1(t) * P_2(t) * P_3(t) * P_4(t)^2 = 0,958 > P_c^z(t)$.

На пятом этапе $P_5(t) = 1 - (1 - P_5)^2 = 0,99 > P_c^z(t)$,

тогда $P_c(t) = P_1(t) * P_2(t) * P_3(t) * P_4(t) * P_5(t) = 0,951 > P_c^z(t)$.

В результате получили систему 23332 с $P_c(t) = 0,951 > P_c^z(t)$.

Рассчитаем стоимость получившейся системы.
 $W_c = 2 * 16 + 3 * 11 + 3 * 13 + 3 * 12 + 2 * 15 = 170$.

Итак, минимальная стоимость реализации системы = 170 при достигаемой $P_c(t) = 0,951$ больше заданной 0,94. Данный результат совпал с решением найденным перебором с использованием ЭВМ.

Таблица 1

Результаты применения методики

Заданная ВБР	Перебор			Метод Беллмана		
	Система	ВБР	Стоимость	Система	ВБР	Стоимость
0,95	32222	0,9549	120	32322	0,9735	130
0,93	22322	0,9323	120	22332	0,9506	135
0,94	32323	0,9417	142	32333	0,9602	154
0,92	32224	0,9252	136	33223	0,9394	139
0,94	32332	0,9514	170	42332	0,9628	181
0,93	32233	0,9349	101	32333	0,9532	110
0,92	43222	0,9267	103	33223	0,9442	105
0,93	32324	0,9393	82	32324	0,9393	82
0,94	42233	0,9506	123	42233	0,9506	123

Была реализована программа, алгоритм которой реализует перебор (до 9 элементов системы) и данный метод. С ее помощью проведен эксперимент. Некоторые из найденных систем и их показатели представлены в таблице 1.

Вывод: используя предложенную методику синтеза ССН по критерию ВБР сокращаем вычислительную сложность до нескольких итераций получая систему с оптимальными либо близкими к оптимальным значениями.

Список литературы

1. Авдуевский В.С. и др. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности/Под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
2. Гольдштейн А.Л. Теория принятия решений. Задачи и методы исследования операций и принятия решений: Учебное пособие. – Пермь: ПГТУ, 2002. 357с.
3. Яматов А.Р. Оптимизация структурной схемы надежности систем с использованием модифицированного градиента. // Материалы 10-й Всероссийской конференции, 18-19 декабря 2012 г, г. Пермь / Пермский ЦНТИ. – Пермь, 2013. С. 123-125.

Научное издание

УПРАВЛЕНИЕ
БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

X Всероссийская школа-конференция молодых ученых

5–7 июня 2013 года

Материалы конференции

ТОМ 1

Подписано в печать 22.05.2013. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 20,2. Уч.-изд. л. 20,1.
Тираж 120 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12