

КОМПЬЮТЕРНЫЙ БАЗИС СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Затуливетер Ю.С.

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

zyt@ipu.rssi.ru

Ключевые слова: компьютерная среда, глобальное информационное пространство, сетевое управление, исчисление древовидных структур, компьютерный базис, единое адресное пространство структурно- сложных распределенных вычислений, математически однородное пространство сетевое управление, социосистема, графодинамика.

Введение

В предшествующие два десятилетия на основе компьютерно- сетевых технологий сформировался феномен общедоступной и всепроникающей компьютерной среды, которая стала носителем глобального информационного пространства, которое стало исторически беспрецедентным фактором тотального влияния на социосистему в целом. Дальнейшее ее развитие в условиях глобального информационного пространства уже напрямую зависит от свойств компьютерной среды.

Современная компьютерная среда объединила более полутора миллиардов персональных компьютеров. По данным Международного союза коммуникаций [1] количество пользователей Интернета два года назад составляло около 23% всего населения. В компьютерную среду входят и сети мобильной связи, которые уже объединили около 4.5 млрд. абонентов. Она включает также сети, связывающие стационарные и мобильные объекты со встроенными микропроцессорными устройствами, в том числе сенсорными, которые получают все более широкое промышленное и бытовое распространение. Такие сети обеспечивают интеллектуализацию бытовой техники, управление разнообразными приборами, машинами и агрегатами, транспортными и товарными потоками, распределенными системами стационарных и мобильных объектов, а также производственных, дистрибуторских и многих других технологий массового применения, составляющих техногенную среду нашего обитания.

Количество встроенных микропроцессоров уже исчисляется многими миллиардами и быстро растёт. По некоторым оценкам [2] мировое компьютеростроение к 2015 г. сможет выпустить до 1000 встроенных микропроцессоров в расчете на каждого жителя планеты.

Благодаря сверхбыстрому развитию микропроцессорных, коммуникационных и сетевых технологий функциональные и вычислительные возможности компьютерной среды быстро растут. Расширяются масштабы массового применения сетевых сервисов. Глобальные сети открыли перспективы массового применения распределенных вычислений для повышения качества процессов управления в практически неограниченном разнообразии организационных систем, сфер производства, обслуживания и потребления. Они становятся главным компьютерным ресурсом повышения эффективности государственного и управления бизнес-процессами, обеспечения населения массовыми и общедоступными видами разнообразных информационных услуг высокого качества. От совершенствования системных и потребительских свойств компьютерной среды во многом зависит качество функционирования органов здравоохранения, социального обеспечения, образования, науки, обороны, инновационных структур и других жизненно важных сфер.

Очевидно, в компьютерной среде "центр тяжести" системоформирования смещается от локальных, разрозненных и слабосвязных компьютерных/сетевых архитектур к глобально распределенным и сильно связным, интегрированным в мировое информационное пространство. Наглядное выражение этой тенденции дает концепция "интернет вещей" (Internet of Things)

[3,4]. Благодаря этому техногенные системы получают импульс к ускорению эволюции от слабосвязных к сильно связным. Связность систем универсально программируемых вычислительных устройств воплощается универсальными компьютерными сетями, системообразующие свойства которых инвариантны к количеству и составу связываемых устройств. Архитектура таких техногенных систем становится сетевцентрической, поэтому процессы управления их функционированием и развитием, воплощаемые в них, могут рассматриваться как сетевцентрические.

Совокупный функциональный и вычислительный потенциал глобальной сети с географически отдаленными компьютерными устройствами открывает практически неограниченные перспективы массового построения и применения распределенных систем с сетевцентрическим управлением. Однако общедоступное применение распределенного компьютерно- сетевого интеллекта, отвечающее требованиям массового спроса, пока невозможно. Выделим две причины, относящиеся, на наш взгляд, к числу основных:

- отсутствие средств "бесшовного" программирования в ресурсах глобальных сетей распределенных вычислений и процессов управления;
- отсутствие общих математических методов постановки и решения задач управления сильно связными системами распределенных объектов в условиях глобального информационного пространства с непрерывно меняющимся контекстом.

Для преодоления этих препятствий требуется решение проблем фундаментального характера, которые связаны как с разработкой математических методов решения посредством глобальной компьютерной среды задач сетевцентрического управления, так и с построением инструментальных средств их практического воплощения.

1. Проблемы развития компьютерной среды и сфер её влияния

Феномен компьютерной среды и глобального информационного пространства сформировался и развивается во многом стихийно, в режиме самоорганизации. Глобальную компьютерную среду в целом необходимо рассматривать как принципиально новую, универсальную по исполняемым функциям, кибернетическую систему, все компоненты которой изначально обладают свойствами сильной связности. Она сможет взять на себя роль управляющего универсума – носителя потенциально неограниченного множества систем и процессов сетевцентрического управления высокой структурно-динамической сложности. Конкретные сетевцентрические системы управления в такой среде будут собираться выбором сильно связанных компонентов (из множества доступных сетевых ресурсов) с требуемыми свойствами и функциями и программированием только необходимых связей между ними и недостающих функций.

1.1. Переход от компьютерной парадигмы к сетевцентрической

Концепция больших циклов, разработанная Кондратьевым, позволяет представить общие закономерности развития рыночной экономики в виде сменяющихся инновационных волн (рис.1). Каждая волна опирается на принципиально новую, не имеющую аналогов, научно-техническую парадигму, которая являясь системообразующей, открывает очередной длительный период индустриального производства новых видов продукции и услуг массового потребления и оказывают глобальное воздействие на социосистему.

Переходы от одной инновационной волны к другой требуют коренного изменения технологических укладов и глубоких структурных преобразований экономики. Теория Кондратьева лежит в основе понимания качественных изменений состояния социосистемы в ходе ее развития. На рис. 1 приведена интерпретация теории Кондратьева в применении к современным новейшим этапам развития технологических укладов, представленных 5, 6 и 7 волнами, – компьютерной, волной "распределенного интеллекта" (Distributed Intelligence) и нанотехнологий, соответственно.

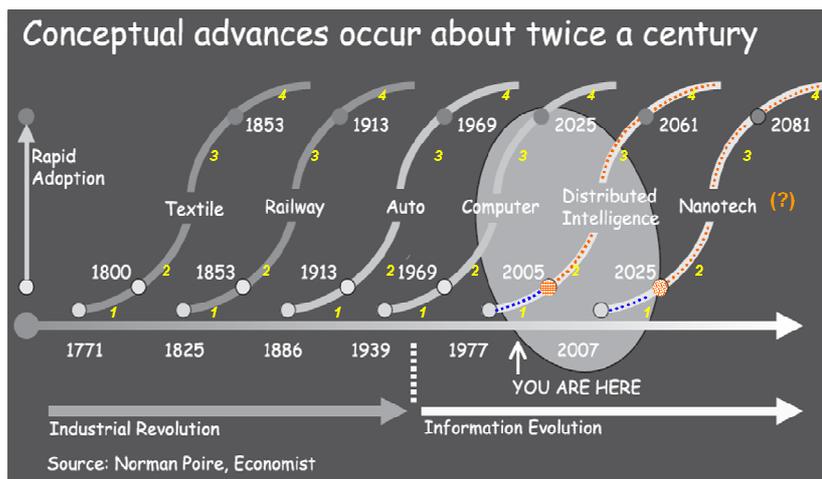


Рис.1. Инновационные волны Кондратьева в современной интерпретации Н. Пуаре (Seybold Report, Vol.3, N.15, November 17, 2003.)

Системообразующей парадигмой, которая легла в основу 5-й – компьютерной – волны стала классическая компьютерная аксиоматика, известная под названием "модель Дж.фон Неймана". Она определила простой свод логических правил организации универсально-программируемых вычислений во внутренних ресурсах компьютеров и легла в основу универсальных компьютеров. Микропроцессорная революция стала массовым индустриальным воплощением этой парадигмы, которая до сих пор остается единым логическим стандартом индустрии производства компьютеров и программ.

Из рис.1 видно, что в настоящее время компьютерная волна завершила фазу ускоренного роста и входит в "насыщение", что говорит об исчерпании системообразующего потенциала ключевой компьютерной парадигмы.

Следующая за компьютерной волна "распределенного интеллекта", по сути, состоит в переносе "центра тяжести" компьютерных вычислений с внутренних ресурсов компьютеров и локальных сетей на глобальные сети. На смену модели Дж. фон Неймана должна прийти парадигма распределенных вычислений в ресурсах глобальных сетей. Она распространит свойство универсальной программируемости, являющееся основой компьютерного интеллекта, с внутрикомпьютерных ресурсов на любую совокупность компьютеров, связанных сетями [5-8]. Подробное рассмотрение данного вопроса изложено в [9].

По сути, переход к 6-й волне состоит в переходе к сетевцентрической модели универсально программируемых вычислений. В отличие от гипертекстовых технологий WWW, обеспечивших глобализацию коммуникативных и накопительных действий с информацией, новейшая индустрия сетевцентрического технологического уклада обеспечит глобализацию также и полного цикла действий универсально программируемой переработки глобально-распределенной информации. Тем самым, станет возможным полное раскрытие совокупного функционального и вычислительного потенциала многих миллиардов компьютерных устройств связанных сетями и направление его на переработку в реальном времени экспоненциально растущих в глобальном информационном пространстве потоков информации. В содержательном плане – это решение неограниченного разнообразия задач сетевцентрического управления, направленных на повышение эффективности функционирования и устойчивости развития социосистемы в целом и ее частей.

1.2. Слабые звенья современной компьютерной среды

Функциональный и вычислительный потенциал глобальных сетей быстро растет, что открывает практически неограниченные перспективы для воплощения систем с сетевцентрического управления. Но для полномасштабного раскрытия этого потенциала необходимы общедос-

тупные инструменты универсального и, одновременно, "бесшовного", программирования свободно масштабируемой распределенной обработки данных во всей совокупности связанных сетями компьютеров.

В настоящее время информационные и вычислительные ресурсы глобальных сетей чрезвычайно разнородны и не обладают свойствами структурной/ системной целостности и, как следствие, не имеют общедоступной функциональной полноты. В таких условиях создание промышленных средств универсального программирования свободно масштабируемых глобально распределенных вычислений, распространяющих своё действие на совокупные сетевые ресурсы, практически неосуществимо.

В течение двух десятилетий логической основой функционирования и развития глобальных компьютерных сетей продолжают оставаться два отдельно друг от друга разработанных логических канона:

- модель Дж. фон Неймана, которая постулировала правила универсально программируемой *внутрикомпьютерной* обработки данных и стала базовым логическим стандартом массового производства компьютеров и программ;
- стек сетевых протоколов TCP/IP, который обеспечивает свободную масштабируемость и высокую надежность *межкомпьютерной* передачи данных.

Они изначально не связаны в единую, системно замкнутую универсально программируемую систему. В ходе построения и развития компьютерных сетей системное объединение (комплексирование) этих канонов до сих пор осуществляется посредством весьма разнородных, потому трудно совместимых, дополнительных программно- аппаратных наслоений.

Благодаря этим возможностям и опережающему развитию технологий массового производства компьютерного и коммуникационно- сетевого оборудования размер глобальной компьютерной среды растет очень быстро, но во многом спонтанно и бессистемно. Свойство универсальной программируемости остается замкнутым во внутренних ресурсах компьютеров, что не позволяет формировать в компьютерной среде единое "бесшовное" пространство распределенных вычислений и сетевидного управления.

В результате в условиях крайней разнородности глобально распределенных данных, программ, процессов и систем проблемы распределенных вычислений в глобальных сетях весьма трудоемки. Системы распределенной обработки, как правило, специализируются на ограниченные наборы корпоративных задач, а также имеют ограничения сверху на количество вовлекаемых компьютеров. Такие решения, как правило, требуют больших временных и финансовых затрат, плохо адаптируются к изменениям внешних информационных контекстов.

Таблица 1. Примеры распределенных систем обработки

Название	Цель	Средство	Цена
Future Combat System (FCS), US Army [10]	Соединить всех участников боевых действий и военную технику в единую командную сеть сетевидного управления	-	\$177 млрд.
LHC (Большой Адронный Коллайдер), CERN	Обработка 1,5 Петабайт ежегодно на 10000 компьютерах	GRID, 100 организаций в 31 стране	~\$500 млн.
"Связьинвест" (Россия)	Обслуживание 40 млн. абонентов проводных сетей связи	Интегрированная биллинговая система	\$480 млн.

В таблице 1 приведены примеры таких систем, дающие представление о масштабах и сферах их применения.

Она иллюстрирует противоречивые качества этих систем. Массовость вовлечения потребителей говорит о потенциально высоком спросе на системы глобально распределенной обработки, но высокая стоимость отражает чрезмерную трудоемкость их разработки и сопровожде-

ния. В отсутствие "бесшовных" технологий универсального программирования глобально распределенных вычислений спрос на задачи распределенной обработки и управления с нарастающими темпами опережает предложение. 1.3. Фундаментальные проблемы

Для кардинального улучшения свойств компьютерной среды требуется решение следующих проблем:

- выявление и устранение первопричин
 - непрерывного воспроизводства разнородности глобально распределенных данных, программ процессов и систем;
 - функционального дисбаланса компьютерной среды (глобализации действий передачи и накопления распределенной информации не распространяется на действия ее обработки);
 - системного дисбаланса компьютерной среды (сверхлинейный с увеличением размера рост системной сложности, поскольку каждый добавляемый компьютер приносит открытые на человека степени свободы требующие "ручного" управления);
- организация надежных вычислений и процессов управления в недетерминированной компьютерной среде;
- введение в сферы внимания точных наук систем с сетецентрическим управлением – принципиально новых классов больших распределенных систем сильносвязных объектов, взаимодействующих в едином информационном пространстве.

1.4. Пути решения

В рамках излагаемого подхода определены пути решения перечисленных проблем:

- обновление компьютерной аксиоматики посредством минимальной коррекции модели Дж. фон Неймана [5-8], которое обеспечивает распространение свойств универсальной программируемости с внутрикомпьютерных ресурсов на совокупность всех компьютеров связанных сетями);
- разработка в обновленной аксиоматике компьютерного базиса, архитектур и программных средств для решения задач сетецентрического управления в математически однородном пространстве структурно-сложных распределенных вычислений глобальной компьютерной среды;
- формирование математических методов построения и исследования моделей сетецентрического управления сильносвязными системами объектов в глобальном информационном пространстве;
- разработка единого формализма для математического и компьютерного решения задач сетецентрического управления.

2. Сетецентрическое управление

2.1. Объекты

Распределенные системы из разнопрофильных подсистем сильносвязных стационарных и/или мобильных объектов со встроенными компьютерными средствами, связанными сетями, взаимодействующими в едином информационном пространстве

2.2. Принципы

Основу сетецентрического управления составляют сквозные модели систем объектов взаимодействующих в едином информационном пространстве, в котором в реальном времени и с высокой надежностью обеспечивается циклическое повторение всех этапов исполнения различных контуров управления:

- многоканальный сбор, первичная обработка и накопление разноплановой фрагментарной информации, поступающей с различных компонентов системы, отражающих состояние внешней среды и их текущее внутренне состояние

- формирование посредством глубокой компьютерной переработки собираемой и накапливаемой информации целостной картины из информационных фрагментов, которая определяет текущее состояние системы целом и её частей и является основой для выработки управляющих воздействий
- выработка и доставка управляющих воздействий, структурированных при формировании общей модели таким образом, что управляющая информация каждого такого канала воздействия выстроена в соответствии с "компетенцией" соответствующего управляемого компонента

2.3. Особенности

Взаимодействие многопрофильных подсистем сильносвязных стационарных и/или мобильных объектов в едином информационном пространстве. В нем разрозненных информационных фрагментов, поступающих с объектов и отражающих разнообразные аспекты их функционирования в реальном времени (свои ракурсы отражения внешнего мира, а также свое внутреннее состояние) формируется целостная "картина" событий, адекватно отражающая текущее состояние всей системы. На основе такой "картины" в соответствии с заложенной моделью управления и с учетом "компетенции" управляемых единиц для каждого объекта вырабатываются согласованные управляющие воздействия, направленные на достижение целей управления.

2.3. Пример систем с сетецентрическим управлением

Весьма перспективная область массового применения систем сетецентрического управления формируется в рамках долгосрочной комплексной программы министерства обороны США Future Combat Systems (FCS) [11], в которой предлагаются новые принципы и глобальные "стандарты" управления большими системами в военных применениях.

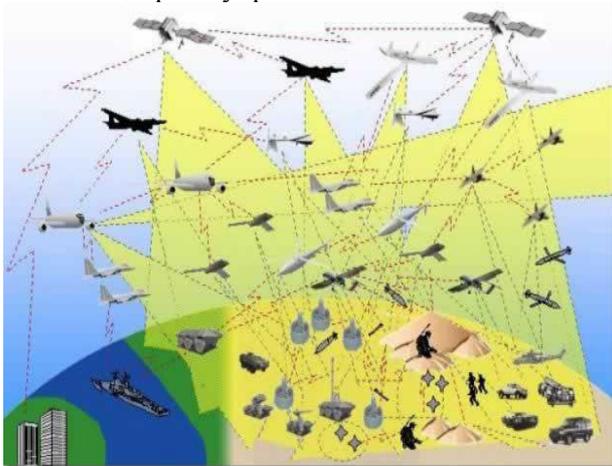


Рис. 2. Сетецентрическое управление системами мобильных и стационарных объектов

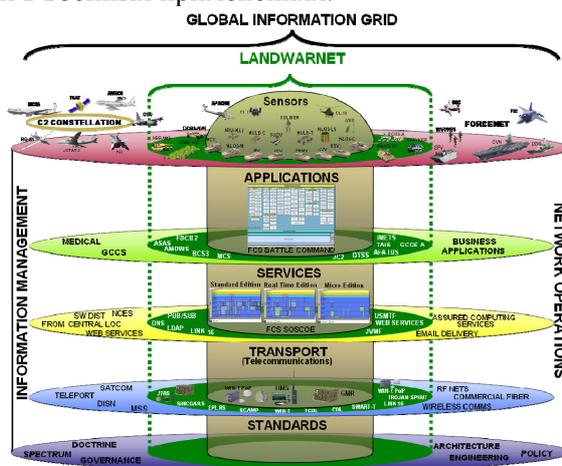


Рис. 3. Многослойная архитектура FCS (http://en.wikipedia.org/wiki/FCS_Network)

Программа FCS определяет архитектуру перспективных глобально распределенных систем сетецентрического (в едином информационном пространстве компьютерных сетей) управления боевыми единицами, их группами, системами и средствами обеспечения. Она представляет собой многоуровневую систему сетецентрической интеграции стационарных и мобильных объектов разного назначения, оснащенных встроенным компьютерным интеллектом, в едином информационно-функциональном пространстве управления с их взаимодействием в реальном времени.

На рис. 2. проиллюстрированы сферы комплексной применимости сетецентрического управления всеми видами (стационарных и мобильных) средств ведения боевых действий в общем информационно-временном пространстве, охватывающем все виды действий – сухопутных, воздушных, морских, космических. Одним из главных требований становится обеспечение в реальном времени всех участников достоверной и полной информацией соответствующего профиля компетенции, обеспечивающей своевременное достижение поставленных целей в условиях активного противодействия.

Программа исполняется с начала 2000-х. Практическое использование её отдельных результатов намечается на 2012 – 2022 г.г. Стратегическая важность программы подтверждается финансированием, которое исчисляется сотнями миллиардов долларов.

Программа FCS состоит из 18 компонентов и двух отдельных "надсистем" [12,13]. Все 18 компонентов разделены на 4 подгруппы: "сухопутные управляемые боевые машины", "сухопутные автоматические боевые машины", "автоматические летательные аппараты", "отдельные устройства".

Ключевым системообразующим элементом программы являются средства связи и компьютерные сети, обеспечивающие поддержание функционально интегрированного информационного поля над зонами боевых действий посредством построения надежной работы мобильных беспроводных сетей. Автономные элементы подключены к общей сети и обмениваются информацией в режиме P2P. Так, участники в реальном времени обеспечиваются данными о местоположении противника, поступающими с отдаленных автоматических датчиков, разведывательных машин, беспилотных аппаратов и т.п.

Подобные сетецентрические системы ввиду особой важности имеют высокие приоритеты в финансировании разработок, что позволяет рассматривать их в качестве одной из наиболее вероятных пилотных сфер полномасштабного применения графодинамических систем с управлением.

Сетецентрические системы управления такого рода призваны обеспечить функционирование единого и сверхнадежного информационного пространства, в котором в реальном времени решаются комплексные задачи сбора, накопления и интеллектуальной переработки многоканальных потоков сложно структурированных данных. Цель – формирование единой картины событий и обеспечение превосходящего качества управления большими системами разнопрофильных многокомпонентных систем подвижных и стационарных объектов, гарантирующего достижение поставленных целей с минимальными потерями.

В настоящее время концепция FCS, как, впрочем, и все другие сетевые решения, вынуждена опираться на многослойные, разнородные компьютерно-сетевые архитектуры [14], с трудно совместимыми подсистемами различного назначения реализованных в изначально несовместимых формах представления и способах обработки распределенной компьютерной информации, см. рис.3.

Отсутствие изначально единого, "бесшовного" универсально-программируемого вычислительного пространства распределенных вычислений и сетецентрического управления в нем, отсутствие адекватной элементной базы и общесистемных решений приводят к комбинаторной сложности интеграции крайне разнородных, с изначально не предусмотренной совместимостью компьютерных стандартов подсистем и сверхбольшим затратам на их интеграцию.

Затраты в сотни миллиардов долларов до сих пор не привели к созданию единого интегрированного пространства управления (C4ISR) для FCS. Вместо единого информационно-управляющего пространства, охватывающего все рода войск, создано множество слабо связанных между собой, трудно совместимых узкопрофилированных информационных пространств. Несмотря на технологическое, финансовое и организационное превосходство, задача формирования сильно связанного интегрированного пространства даже в рамках отдельного рода войск остается нерешенной.

Скорее всего, мировой финансово-экономический кризис отстимулировал экономически взвешенные взгляды на приоритеты компонентов программы FCS [15] и привел к осознанию ограниченных возможностей современных компьютерно-сетевых технологий, которые несмотря на значительные затраты в течение 10 лет не смогли дать "лобовое" решение центральной задачи FCS – формирования единого, системно "бесшовного" информационного пространства сетецентрического управления.

Из сказанного можно сделать вывод о наличии серьезных фундаментальных причин, препятствующих формированию в рамках современных системных качеств (крайне разнородных) компьютерных сред "бесшовного" информационного пространства сетецентрического управления, без которого невозможно полномасштабное решение задач FCS.

Отсутствие в руководстве программой FCS понимания путей устранения в осязаемой перспективе фундаментальных общесистемных причин, препятствующих формированию единого, функционально полного пространства сетецентрического управления заставило правительство США с 2009 года пойти на сокращение масштабов задач и перераспределение бюджетных средств программы FCS [16,17].

Несомненно, что доминирование изначальной системной разнородности компьютерно-сетевых решений – наиболее слабое "звено" концепции FCS. Десятилетний опыт её реализации в условиях "обильного" финансирования показывает, что ставка только на подавляющие технологические, финансовые и организационные преимущества не привела к полномасштабному воплощению целей FCS.

Для устранения фундаментальных причин изначальной разнородности системных качеств компьютерной среды необходимо формирование в ней единого математически однородного пространства распределенных вычислений и процессов управления, отвечающего следующим требованиям:

- глобальная связность в едином адресном пространстве всех сетевых ресурсов, их универсальная и "бесшовная" программируемость, структурная и системная целостность;
- свободная масштабируемость распределенных данных, программ, процессов вычисления, управления и систем;
- опережающие возможности наращивания структурно-динамической и логической сложности распределенного компьютерного интеллекта;
- независимость системной сложности компьютерной среды от количества компьютеров, связываемых сетями;
- свободно масштабируемая наращиваемость производительности высокопараллельных вычислений в узлах сетей;
- повышенная надежность и устойчивость к деструктивным воздействиям.

Важно отметить, что военные приложения не обладают монополией на сетецентрические методы управления. Повсеместное проникновение глобальных сетей приводит к тому, что устойчивое развитие мировой социосистемы в целом [7], как чрезвычайно большой и структурно сложной динамической системы, становится невозможным без адекватных, математически корректных моделей сетецентрического управления и их компьютерного воплощения, обеспечивающих согласованное и эффективное функционирование социосистемы и её частей в условиях глобального информационного пространства. Военные применения, как известно, имеют приоритетное финансирование исследований и разработок, что, несомненно, способствует, полномасштабному практическому продвижению новых методов управления большими системами в глобальном информационном пространстве.

Методы и технологии сетецентрического управления, отработанные на специальных задачах, решаемых в рамках FCS и аналогичных программ в других странах, несомненно, дадут импульс к массовому их распространению и полномасштабному решению задач управления посредством глобальной компьютерной среды эффективным функционированием и устойчивым развитием мировой социосистемы в целом и её частей.

3. К сквозному математическому и компьютерному формализму

3.1. Графодинамические системы

Высокая структурная сложность больших систем с управлением, погружаемых в сетевую среду, объясняется быстро нарастающим производством и потреблением все более разнообразных и сложных информационных структур, которые сопровождают функционирование и развитие социосистемы в целом и ее частей в глобальном информационном пространстве [7]. Для формализации таких систем требуются новые принципы и методы, позволяющие оперировать не только со скалярами или регулярными структурами типа вектор или матрица, но и со сложными данными, имеющими произвольно изменяющиеся структуры, которые, в общем случае, зависят от быстро меняющегося контекста глобального информационного пространства. Отсутствие универсального математического формализма и методов постановки и решения таких задач управления становится важнейшим сдерживающим фактором расширения сфер и масштабов их применения.

Известно, что до настоящего времени для математического и компьютерного решения задач используются существенно отличающиеся формализмы. Десятилетиями развитие компьютерных языков и формальных систем шло в направлении повышения уровней абстракции. Поначалу в рамках развития процедурных языков программирования доминировали попытки внешнего подражания математическим нотациям (Фортран, Алгол). На этом фоне также возникали непроцедурные компьютерные формализмы высоких уровней абстракции - Лисп, Пролог и др. В настоящее время атрибутом систем индустриального программирования стал объектно-ориентированный стиль.

Несмотря на обилие разнообразных компьютерных языков и систем программирования, понятийный барьер между ними и математическими формализмами/методами решения остается слишком высоким. По большому счету математические и компьютерные понятийные пространства постановки/решения задач по-прежнему представляют собой трудно совмещаемые культуры.

В условиях быстро прогрессирующей компьютерной глобализации информационного пространства новые реализации больших систем различного назначения обретают качества продуктов массового применения. Нетрудно видеть, что подавляющая доля таких систем, функционирующих в глобальном информационном пространстве, разрабатывается в основном коллективами разнопрофильных программистов. Такие продукты, как правило, строятся эвристическими методами, в отсутствие математических моделей с доказанными свойствами корректного (безопасного) функционирования.

Чем больше масштабы применения таких решений, тем выше риски непредсказуемых последствий, связанных и с неизбежными для эвристических моделей ошибками в управлении ответственными системами и объектами, а также в нежелательных социальных последствиях массовых "сервисов", запускаемых без учета всей совокупности значимых факторов.

Проблемы изначальной семантической несовместимости математических и компьютерных формализмов обретают особую остроту применительно к большим системам с сетевым управлением. Глобальные масштабы, реальное время, особая значимость ошибок и нестыковок, неизбежных для комплексных эвристических решений, заставляют искать пути кардинального снижения понятийных барьеров между математическими и компьютерными пространствами решений.

Путь к этому – формирование единого формализма математического и компьютерного решения задач сетецентрического управления в больших системах. В таком формализме открываются возможности построения математически корректных моделей и их непосредственного компьютерного воплощения в ресурсах глобальной компьютерной среды.

Полагаем, что отправной методологической идеей для общего подхода к математическому решению задач сетецентрического управления большими системами глобально распределен-

ных объектов должны стать принципы графодинамики [18], обозначившие новое направление в расширении сфер применимости математического аппарата теории управления.

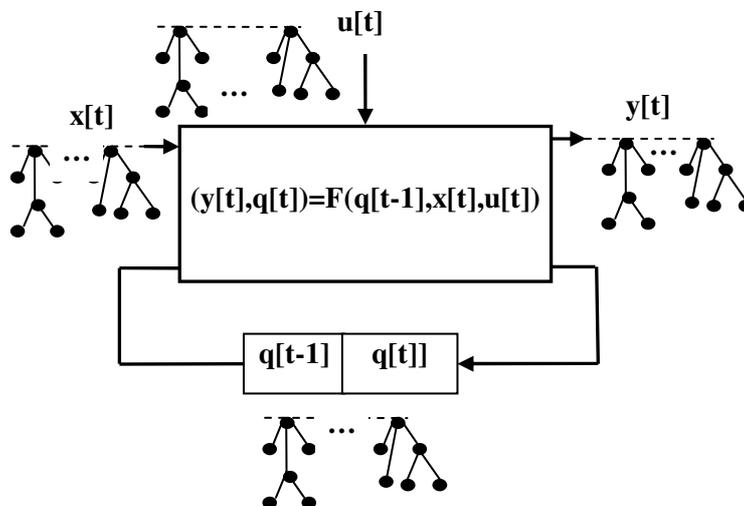


Рис.4. Графодинамические системы.

В работе [18] в сферы теоретического рассмотрения были впервые введены графодинамические системы. Это новый, и потому малоизученный класс систем с управлением. Отличительные особенности графодинамических систем состоят в том, что их текущие входы, выходы и внутренние состояния представляются структурами общего вида и могут принимать значения в произвольно задаваемых множествах графов, см. рис.4. Развитие событий во времени [18] связано не с движениями по графам, а их изменением. Изменения могут быть либо автономными, либо вызваны внешними для системы воздействиями и задаются функциями преобразования графов. Преобразование графов может сопровождаться изменением состава вершин, связей между вершинами, а также значений "разметок", связываемых с вершинами и ребрами (дугами) графов.

Новые идеи математической формализации динамических систем, высказанные в основах графодинамики, дают начальный импульс для построения конструктивных теорий графодинамических систем с управлением. К сожалению, эта, опередившая свое время, работа не получила теоретического развития.

Причины, скорее всего, в прежнем отсутствии предметных областей со значимыми объектами приложения. Практическая потребность в математической теории графодинамических систем становится очевидной только сейчас, в связи с состоявшимся де-факто формированием глобального компьютерно-сетевого информационного пространства и массовым вовлечением в него социальной среды [7]. Её функционирование и развитие в глобальном информационном пространстве сопровождается экспоненциально растущими потоками и объемами сложно структурированной информации, отсюда необходимость единого формализма решения и программирования задач управления в сверхбольших системах, в которых объектом математических преобразований становятся глобально распределенные динамически изменяемые структуры высокой сложности.

Масштабы и темпы роста спроса на системы распределенной обработки в сетевых ресурсах глобально распределенной информации в разнообразных сферах превышают возможности существующих технологий промышленного программирования. Наряду с развитием теории распределенных графодинамических систем совершенно необходимо построение общедоступных, математически и технологически "бесшовных" инструментов их программирования в ресурсах глобально-связной компьютерной среды.

Актуальность данной проблематики растет в темпах, соответствующих экспоненциальному росту потоков и объемов распределенной информации и глобальных масштабов применений компьютерных сетей.

К важным аспектам новизны данной работы можно отнести определение перспективных сфер применения графодинамических систем с сетечентрическим управлением, а также методов и средств "бесшовного" их программирования, основанных на исчислении древовидных структур. Это математически замкнутое компьютерное исчисление реализовано в системе программирования ПАРСЕК [19] и может рассматриваться как первый компьютерный базис для практически значимого воплощения формализма графодинамики.

3.2. Обновление компьютерной аксиоматики [5-8]

В модели фон Неймана произвольные структуры данных формируются последовательностями (потоками) адресов к памяти (для чтения/записи элементов данных). Значения адресов в потоке задаются алгоритмическими предписаниями. Модель позволяет произвольным образом кодировать в потоках произвольные структуры данных. Следовательно, в управлении машинным счетом на уровне потоков адресов имеются две степени свободы и обе они открыты программистам. По своему усмотрению они выбирают и строят структуры данных и для каждой из них задают последовательности адресов доступа к памяти. В этих двух степенях свободы, открытых на человека, скрываются первопричины непрерывного воспроизводства "информационного шума" – избыточного разнообразия структурных форм представления данных и программ.

Интеграция компьютерных решений в условиях разнородности форм представления компьютерной информации составляет комбинаторно сложную задачу. Сложность интеграции растет, по меньшей мере, квадратично от степени разнородности информационного пространства. Комбинаторная зависимость сложности от количества компьютеров, вовлекаемых в распределенные вычисления, является фундаментальным фактором ограничения масштабов глобализации систем распределенных вычислений.

Источник шума — программисты, на уровне постулатов получившие лицензию на самовыражение в воспроизводстве плохо совместимых структур данных. Инструмент — средства индустриального программирования. Среда непрерывного воспроизводства и накопления шума – глобальное информационное пространство.

Устранить на уровне аксиоматики избыточные степени свободы, а вместе с ней комбинаторное сопротивление глобальной интеграции, можно введением однородного поля компьютерной информации посредством математической регламентации используемых структур. Такая регламентация построена в виде компьютерного исчисления древовидных структур [19]. Единый и универсальный объект исчисления — деревья, самая простая связная структура из возможных. Двоичные деревья — рекурсивно-однородный структурный элемент компьютерной информации, представляющий программы и данные. Исчисление деревьев — это функционально полный и математически замкнутый в множестве деревьев набор простейших операций произвольного преобразования деревьев и набор универсальных правил композиции/декомпозиции. При программировании деревья свободно интерпретируются в терминах предметной области решаемых задач. С математической точки зрения — это исчисление "слабое", потому не имеющее обременительных ограничений в отношении классов решаемых в нем задач.

Предложенное исчисление устраняет причины воспроизводства информационного шума. В силу математической замкнутости оно инвариантно в отношении технических особенностей компьютерной среды. Практическая значимость определяется наличием эффективных алгоритмов его отображения в компьютерную среду.

3.3. Компьютерный базис

Благодаря уникальным свойствам деревьев (удаление любого ребра нарушает связность, число ребер на 1 меньше числа вершин) математически однородное поле компьютерной информации в модели исчисления древовидных структур обладает неулучшаемым свойством минимальной структурной сложности.

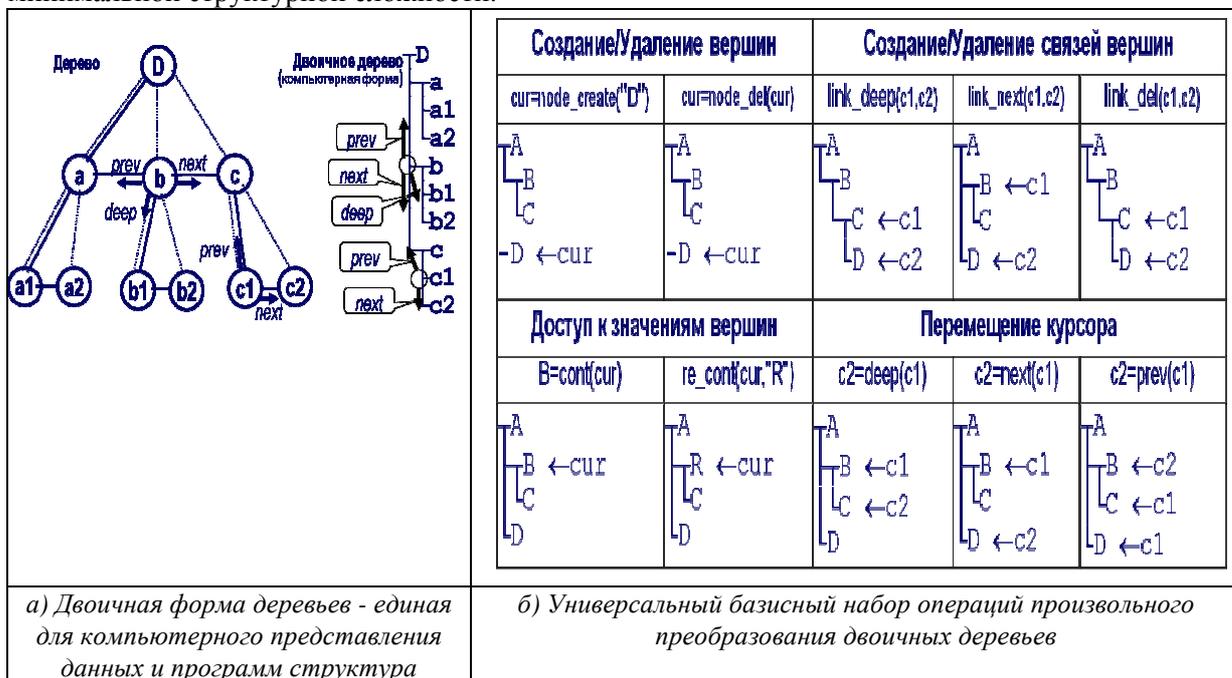


Рис.5. Компьютерный базис операций для исчисления древовидных структур

3.4. Единое математически однородное поле исчисления древовидных структур

Предлагаемый на основе исчисления древовидных структур подход открывает возможности придания компьютерной среде свойства универсальной программируемости и системной нацеленности на графодинамические системы с сетцентрическим управлением.

Важно отметить, что в процедурном языке ПАРСЕК работа с древовидными структурами, так же как в функциональном языке ЛИСП, не сужает сфер их универсальной применимости. Сведение общего случая структурно сложных задач к древовидным структурам с процедурным стилем программирования позволили существенно упростить компьютерные реализации системы программирования ПАРСЕК [19] и, одновременно, повысить их эффективность.

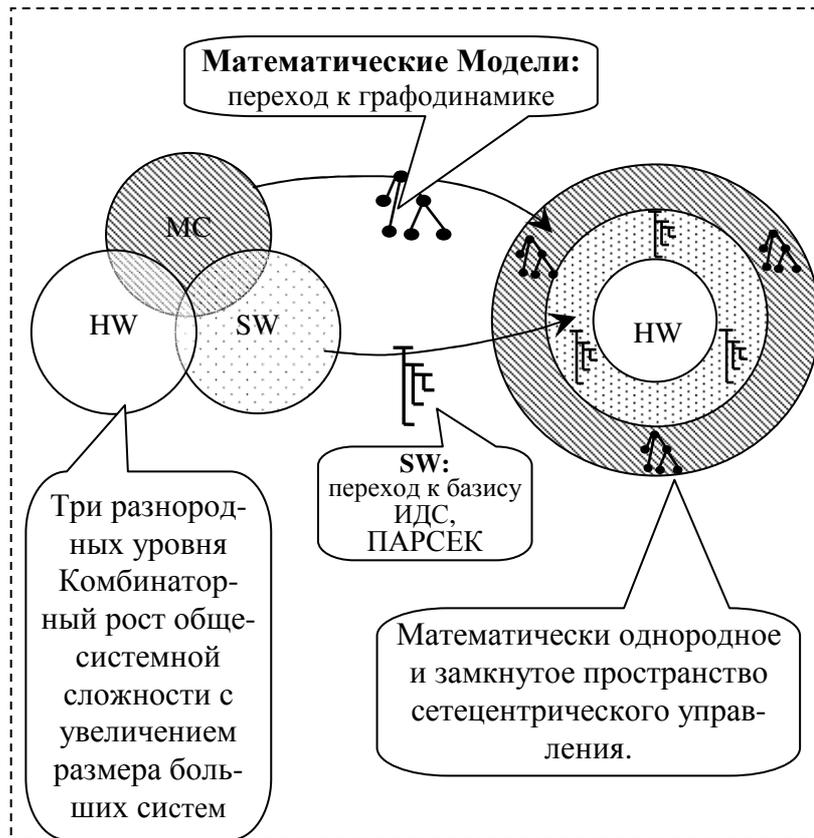


Рис.7. Переход в математически однородное и замкнутое пространство сетевидного управления в едином формализме исчисления древовидных структур

Универсальный язык ПАРСЕК и его система программирования открывают возможности программирования графодинамических систем с сетевидным управлением в математически однородном поле компьютерной информации, охватывающем ресурсы глобальной компьютерной среды. В связи с этим ориентация графодинамики в своем общем случае на графы общего вида [18] представляется излишней. Произвольные преобразования сложно структурированной информации можно обеспечивать с помощью деревьев – самых простых связанных графов, имеющих минимальную структурную сложность (число ребер на единицу меньше числа вершин). Ограничение графодинамики древовидными структурами является существенным фактором снижения трудоемкости программирования графодинамических систем в ресурсах глобальных компьютерных сетей.

Отметим, что представления деревьев с помощью нумерующих функций, используемого в публикации [18] имеет два принципиальных недостатка:

- чрезвычайно затруднена смысловая интерпретация математических преобразований нумерующих функций, представляющих деревья;
- компьютерная реализация деревьев с помощью нумерующих функций ведет к крайне неэффективному использованию оперативной памяти.

В компьютерном исчислении древовидных структур системы программирования ПАРСЕК данные недостатки устранены. Эти качества, а также распространение свойства универсальной программируемости распределенных (в архитектуре P2P) структурно сложных вычислений на любые совокупности связанных сетями компьютеров позволяют рассматривать ПАРСЕК как основу для построения новых промышленных средств программирования, ориентированных на создание графодинамических систем с сетевидным управлением.

Проблемы компьютерно-сетевого управления большими структурно-сложными распределенными системами до настоящего времени имеют три разноплановых (разнородных) уровня рассмотрения: математические модели управления (MC), системно-программная среда SoftWare (SW), машинная среда HardWare (HW).

На рис.7 показан переход от трех, ныне неизбежных, изначально разнородных уровней рассмотрения больших систем в различных понятийных пространствах (слева) к однородному и математически замкнутому пространству сетцентрического управления (справа).

В новом пространстве чрезвычайно сложные и разноплановые, но сугубо внутренние, компьютерные проблемы машинного и системно-программного уровней исключаются из круга содержательных проблем управления большими системами. При этом открываются возможности воплощения математических моделей управления в сколь угодно большой компьютерной среде в едином математически замкнутом компьютерном формализме исчисления древовидных структур, реализованном в языке и системе программирования ПАРСЕК. Этот подход освобождает специалистов в области управления от погружения в специфические системно-программные проблемы (многоаспектные и разнородные, потому чрезвычайно трудоемкие и трудно контролируемые) глобальной машинной среды.

При доминирующей в настоящее время изначально разнородности всех трех уровней функционирования компьютерной среды с увеличением её размера с каждым добавляемым компьютером привносятся открытые степени свободы, которыми необходимо управлять. Известно, что общесистемная сложность с линейным ростом размера и привносимых степеней свободы увеличивается сверхлинейно (комбинаторно). Привносимые степени свободы управления компьютерной среды открыты на человека. Именно поэтому ее устойчивое функционирование до сих пор невозможно без непрерывного сопровождения огромной армией программистов, системных и сетевых администраторов.

В математически однородном поле компьютерной информации на основе исчисления древовидных структур собственные системные степени свободы глобальной машинной среды "скрываются" под внешними математическими оболочками единого для графодинамики и системы программирования ПАРСЕК математически замкнутого формализма исчисления древовидных структур (см. рис.7, справа, два внешних кольца). В этом случае *общесистемная сложность компьютерной среды перестает зависеть от своего размера*, а собственные внутрисистемные проблемы управления степенями свободы глобальной компьютерной среды могут быть, в принципе, выведены из сфер прямого участия человеческого фактора. В такой ситуации содержательные проблемы создания больших систем с сетцентрическим управлением разнообразного потребительского назначения не подменяются чрезвычайно сложными, трудоемкими и трудно контролируемыми проблемами управления машинной средой.

Графодинамические модели (см. рис.4) больших систем имеют в представлениях с дискретным временем привычный вид системы уравнений в векторной форме:

$$(\mathbf{y}[t], \mathbf{q}[t]) = \mathbf{F}(\mathbf{q}[t-1], \mathbf{x}[t], \mathbf{u}[t]), \quad t=1, 2, \dots; \text{ где}$$

$\mathbf{x}[t], \mathbf{y}[t], \mathbf{q}[t], \mathbf{u}[t]$ – последовательности значений входных, выходных векторов, векторов внутренних состояний и управляющих воздействий, соответственно:

$$\mathbf{x}[t] = (x_1[t], x_2[t], \dots, x_n[t]) \in \mathbf{X}, \quad x_i[t] \in X_i, \quad i=1, 2, \dots, n;$$

$$\mathbf{y}[t] = (y_1[t], y_2[t], \dots, y_k[t]) \in \mathbf{Y}, \quad y_i[t] \in Y_i, \quad i=1, 2, \dots, k;$$

$$\mathbf{q}[t] = (q_1[t], q_2[t], \dots, q_m[t]) \in \mathbf{Q}, \quad q_i[t] \in Q_i, \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\mathbf{u}[t] = (u_1[t], u_2[t], \dots, u_r[t]) \in \mathbf{U}, \quad u_i[t] \in U_i, \quad i=1, 2, \dots, r;$$

$\mathbf{F}(, ,)$ – вектор-функция:

$$\mathbf{F}(, ,) = (f_1(, ,), f_2(, ,), \dots, f_p(, ,)) \in \mathbf{F}, \quad f_i \in F_i; \quad i=1, 2, \dots, p.$$

Особенность данного представления состоит только в том, что для всех переменных области их определения X_i, Y_i, Q_i, U_i вложены в множество всех деревьев \mathbf{D} : $X_i, Y_i, Q_i, U_i \subseteq \mathbf{D}$, а все функции $f_j(, ,)$ строятся в базисе исчисления древовидных структур.

Данные представления могут обобщаться на бесконечно мерные пространства, что выражается векторами неограниченного размера. В таких предположениях могут строиться математические модели, структура которых (размеры и составы векторов) может меняться со временем. В этот класс моделей, попадают динамические системы, обладающих свойством структурной адаптации к изменениям контекста информационного поля в котором они функционируют и развиваются. (Для формализации таких систем классический метод "черного ящика" неприменим, поскольку, составы существенных переменных входных/выходных наборов, так же как и структуры раскрытия вложенных уровней могут меняться во времени.)

Отметим принципиальное различие методологических целей графодинамики и системы программирования в сквозном формализме исчисления древовидных структур.

Система программирования основывается на исчислении древовидных структур с *универсальным* базисом *простейших* операций над деревьями, обладающим свойством функционально полноты: любое дерево может быть построено композициями простейших операций над другими деревьями. В системе ПАРСЕК [19] такие композиции реализуются при программировании посредством универсального набора структур управления, используемого во всех процедурных языках (линейный участок, ветвления, циклы, вызовы подпрограмм).

Цель графодинамических методов – классификация структурно и динамически сложных систем с управлением, построение и исследование математических моделей управления. Определение разнообразия классов динамических систем опирается на различные свойства математической симметрии математических объектов, из которых строятся модели. Различные свойства симметрии, которые определяют разные классы графодинамических систем, предполагают построение соответствующих базисов работы с деревьями более высокого логического уровня, нежели тот, который лежит в основе универсальной системы программирования. Базисы высокого уровня должны отражать свои для разных классов графодинамических систем математические симметрии.

Главные методологические цели теоретических исследований графодинамических систем – разработка и обоснование математических базисов высокого уровня, построение (анализ и синтез) моделей управления в этих базисах, исследование свойств их корректности и эффективности.

Главные методологические цели программной реализации разработанных математических моделей – программирование базисов высокого уровня (создание библиотек таких базисов), программирование в соответствующих библиотечных базисах высокого уровня разработанных теоретиками математических моделей управления.

4. Реализации компьютерного базиса

4.1. Программные средства: язык и система программирования

Простейшей процедурной реализацией исчисления древовидных структур является язык и система программирования ПАРСЕК [19], в которой программирование осуществляется посредством универсального базиса операций с древовидными и только древовидными структурами. Они представлены двоичными деревьями и служат для представления как данных, так программ.

Для "раскрытия" объекта используется двоичное дерево в геометрической форме:

<table border="0"> <tr><td>├</td><td>A</td></tr> <tr><td> </td><td>a</td></tr> <tr><td> </td><td>b</td></tr> <tr><td> </td><td>c</td></tr> </table>	├	A		a		b		c	<p>Дерево состоит из вершин. Вершина характеризуется содержимым вершины и связями с другими вершинами. Имеется 3 вида связей для каждой вершины:</p> <ul style="list-style-type: none"> depr - связь с подчиненной по уровню вершиной; nexr - связь с нижеследующей вершиной одного уровня; prev - связь с предыдущей вершиной.
├	A								
	a								
	b								
	c								

Обработка объекта ведется последовательно по компонентам. Для выделения компонентов, которыми являются вершины, вводится понятие *курсор*.

Курсор - это переменная, которая принимает значение адреса (ссылки, указателя) некоторой вершины. На дереве можно определить один или более одного курсора. Процесс обработки начинается с открытия курсоров и перемещения их по дереву.

С курсором связан базисный набор функций для работы с деревьями (рис. 5).

Выражения и функции в древовидной записи представлены в таблице 3.

Таблица 3. Представление операций и выражений

Конструкция	Формульный вид	Древовидная запись
присваивание	$a=b$	$\begin{array}{l} \top \\ \text{a} \\ \text{L} \\ \text{b} \end{array}$
операция	$1+3$	$\begin{array}{l} \top \\ + \\ \text{L} \\ \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array} \end{array}$
функция	$_f1(x,y)$ $@f2(x,y)$	$\begin{array}{l} \top \\ _f1 \\ \text{L} \\ \begin{array}{l} x \\ y \end{array} \end{array}$ $\begin{array}{l} \top \\ @f2 \\ \text{L} \\ \begin{array}{l} x \\ y \end{array} \end{array}$
выражение	$a=1+3$	$\begin{array}{l} \top \\ \text{a} \\ \text{L} \\ + \\ \text{L} \\ \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array} \end{array}$

Конструкции операторов управления традиционны для программирования:

<code>`if</code>	<code>`repeat</code>	<code>`while</code>	<code>`case</code>
$y=abs(x)$	$s=1+2+\dots+n$	$F_n=fact(n)$	Почтовый фильтр
<pre> : ├ `if : └ >= └ x └ 0 └ `then └ y └ x └ `else └ y └ - └ 0 └ x </pre>	<pre> : ├ `repeat : └ s └ + └ s └ i └ `until └ =< └ i └ + └ i └ 1 └ n </pre>	<pre> : ├ `while : └ > └ n └ 1 └ `do └ Fn └ * └ Fn └ n └ n └ 1 </pre>	<pre> : ├ `case : └ letter_from └ `of └ "Иванов" └ @save_1 └ "Петров" └ @save_2 └ "Сидоров" └ @save_3 └ `default └ @letter_del </pre>
<code>`continue, `break</code>			

Математическая замкнутость исчисления древовидных структур позволила построить простые и эффективные алгоритмы автоматического управления процессами исполнения программ, как во внутренней памяти компьютеров, так и в едином адресном пространстве оперативной памяти компьютеров связанных сетями (см.раздел 4.2.).

4.2. Распространение исчисления древовидных структур на распределенные вычисления

Исчисление древовидных структур позволяет сформировать в сетевых ресурсах математически однородное поле компьютерной информации, в котором доминирующие в настоящее время причины воспроизводства информационного шума (разнородность форм представления данных и программ) устраняются, что открывает возможности построения "бесшовных" технологий программирования распределенных вычислений.

Принципы распространения формализма исчисления древовидных структур на распределенные вычислительные сетевые ресурсы изложены в [6,8,22]. При этом достигается распространение свойства универсальной программируемости с внутренних ресурсов компьютеров на распределенные сетевые ресурсы. Для этого с использованием базовых функций управления протоколом ТСР/ІР обеспечивается формирование единого адресного пространства распределенной памяти всех связанных сетями компьютеров, участвующих в распределенной обработке.

Единое адресное пространство, охватывающее память всех доступных компьютеров позволяет программисту "бесшовно", в едином логическом базисе, работать с древовидными структурами, размещаемыми как в памяти собственного компьютера, так и в памяти отдаленных компьютеров, см. рис.8.

Единое ("бесшовное") пространство оперативной памяти компьютеров, связанных сетями состоит из двухкомпонентных адресов. Первая компонента – уникальный сетевой ІР-адрес компьютеров, вторая – адреса ячеек их оперативной памяти [8,22].

Распространение свойства универсальной программируемости с внутрикомпьютерных ресурсов на распределенные сетевые ресурсы предполагает следующее. Все ячейки оперативной памяти отдаленных компьютеров, охваченные единым адресным пространством, становятся доступными с каждого из компьютеров ("бесшовность"). Различные данные, обрабатываемые программой, целиком или своими компонентами могут распределяться по различным компьютерам таким образом, что адресный доступ к ним из программы может осуществляться "бесшовно", т.е. без применения дополнительных языковых средств. Например, в выражении $S:=A+V$ все три операнда могут находиться в ОЗУ трех разных компьютеров, операция будет выполнена так, как если бы все они находились в памяти одного компьютера, с точки зрения программиста сеть полностью прозрачна. Такое свойство "бесшовности" относится не только арифметическим, логическим или символьным выражениям, но и к командам условного перехода, циклам, вызовам подпрограмм (с передачей фактических параметров, находящихся в разных компьютерах), к операторам ввода/вывода, позволяющим читать/записывать файлы, расположенные на разных компьютерах. Это касается всех конструкций языка программирования ПАРСЕК.

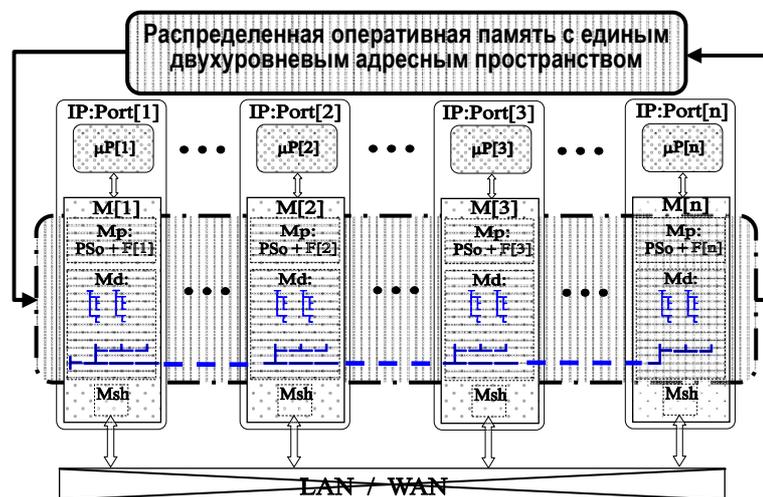


Рис. 8. Виртуальная Парсек-машина для распределенных вычислений

Единое пространство двухкомпонентных адресов [8,22] введено в систему программирования ПАРСЕК [19]. Для организации распределенных вычислений, обеспечения их координированного взаимодействия и синхронизации вычислительных процессов в язык ПАРСЕК введены функции, с помощью которых задается распределенная обработка компонентов деревьев посредством одновременного исполнения на разных компьютерах многих асинхронно взаимо-

действующих процессов. Основными компонентами распределенных вычислений являются как перемещаемые exe-модули, так и подпрограммы (функции) с параметрами отдаленного запуска и согласованными интерфейсами межкомпонентного сетевого взаимодействия по событиям и данным.

Для присоединения компьютеров к распределенной системе требуется установка небольшой программы поддержки сетевого взаимодействия вовлекаемых компьютеров, которая передается при регистрации их IP-адресов.

4.3. Об архитектуре компьютеринга в математически однородном поле информации [20,21]

Архитектура глобально распределенного компьютера, работающего в математически однородном поле исчисления древовидных структур, составляется из произвольного количества универсальных компьютерных элементов сетевой интеграции, связанных сетями между собой (ТСР/IP). Универсальный сетевой компьютерный элемент имеет немикропроцессорную архитектуру ("умная" память, "глупая" арифметика, см. рис. 9-а). Система команд реализует компьютерный базис операций исчисления древовидных структур. Оперативная память охвачена единым адресным пространством (см. раздел 4.2.).



а) Универсальный компьютерный элемент сетевой интеграции с Немикропроцессорной архитектурой б) Возможное применение глобально распределенного компьютера для сетевидного управления

Рис. 9. Компьютеринг в математически однородном поле компьютерной информации

Наряду с выходом в сеть, данный элемент имеет выход на системную шину компьютеров, к которому он пристыкован. Наряду с самостоятельной реализацией распределенных вычислений в среде составленной из таких же элементов, каждый из них может взаимодействовать с компьютером, с которому он подключен. Таким образом, наряду с распределенной обработкой они обеспечивают полнофункциональное взаимодействие с традиционными компьютерами. Для присоединения сетевых элементов к математически однородному пространству требуется только регистрация.

На рис. 9-б показано возможное применение для формирования единого, свободно конфигурируемого и масштабируемого пространства сетевидного управления.

Заключение

Череду волн Кондратьева-Пуаре (рис.1) завершает волна нанотехнологий. Нанотехнологии открывают путь в нашу жизнь астрономическому количеству мельчайших элементов, обладающих физико- химической, биологической и кибернетической сверхактивностью. Нанотехнологии могут кардинально изменить нашу жизнь как в лучшую, так и в худшую сторону. Выбор зависит от того, насколько безопасны и эффективны *системы управления* этой новой сверхактивной и беспрецедентно агрессивной средой.

Для перехода к сетецентрической волне необходимо обновление классической компьютерной аксиоматики, формирование компьютерного базиса работы с глобально распределенной компьютерной информацией, трансформация компьютерной среды в универсально программируемый глобально распределенный компьютерный агрегат, системно "заточенный" на решение задач сетецентрического управления устойчивым развитием социосистемы в глобальном информационном пространстве.

Принципиальным обретением сетецентрической волны *станет универсальная программируемость глобальной компьютерной среды и независимость системной сложности от размера*. Такая среда посредством математически корректных моделей сетецентрического управления обеспечит безопасное функционирование и развитие ансамблей из десятков и сотен миллиардов сильносвязных объектов с программируемым поведением.

Переход к волне нанотехнологий требует гарантий безопасного функционирования и развития сверхансамблей сильносвязных объектов молекулярных размеров с программируемым поведением. Понятно, что это качественно новый уровень количества степеней свободы. Безопасность таких ансамблей может быть обеспечена только математически корректными моделями управления их эффективными сетецентрическими реализациями.

Фундаментальные принципы построения универсально-программируемой компьютерной среды сетецентрического управления, системная сложность которой не зависит от своего размера, дают ту стартовую платформу для волны нанотехнологий, которая может стать основой для её контролируемого (безопасного) развития.

Литература

1. International Telecommunication Union (ITU), (http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2008/29.html).
2. Эксперты обещают по 1000 процессоров на человека (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2008/06/20/305892>).
3. The Internet of Things. Executive Summary // ITU Internet Reports 2005. November 2005. (http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf)
4. Кротов В. Интернет вещей // Computerworld, №3, 2008. (<http://www.osp.ru/cw/2008/03/4755084>)
5. Затуливетер Ю.С. На пути к глобальному программированию // Открытые системы, № 3, 2003. (<http://www.osp.ru/os/2003/03/182704/>)
6. Затуливетер Ю. С. К новой компьютерной аксиоматике. // Труды Третьей международной конференции "Идентификация систем и задачи управления", SICPRO`04, 28-30 января 2004 года, г.Москва, Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, с.2187-2193.
7. Затуливетер Ю.С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации // Проблемы управления. 2005 г., №1, Ч.1., С.1-12., №2. Ч.2, С.13-23. (<http://zvt.hotbox.ru>).
8. Затуливетер Ю.С. Компьютерная информация в модели исчисления древовидных структур //Труды Второй международной конференции "Идентификация систем и задачи управления", SICPRO`2003, Москва, 29-31 января 2003 г., Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, с.790-858.
9. Затуливетер Ю.С. Проблемы управляемого перехода к новейшим инновационным укладам // Труды VII Международной конференции "Идентификация систем и задач управления"

- SICPRO'08. Москва 28-31 января 2008 г. С.1988-2039.
([http://zvt.hotbox.ru/Zatuliveter \(SICPRO 2008\).pdf](http://zvt.hotbox.ru/Zatuliveter (SICPRO 2008).pdf)).
10. Кузьмин И. Future Combat System – революция или эволюция?
(http://www.3dnews.ru/editorial/future_combat_system)
 11. FCS 2005 Flipbook Boeing. (<http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2005/050000-fcs2005flipbook.pdf>).
 12. Николаев А. Боевые системы будущего http://www.militaryparitet.com/html/data/ic_news/227/
 13. Вэй С. Американские перспективные боевые системы (<http://www.army-guide.com/rus/article/article.php?forumID=220>)
 14. FCS Network. (<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/fcs-network.htm>)
 15. The Army's Future Combat. GAO-04-635T Defense Acquisitions. Systems' Features, Risks, and Alternatives. (<http://www.gao.gov/new.items/d04635t.pdf>)
 16. Gates R.M. Defense Budget Recommendation Statement (<http://www.defense.gov/speeches/speech.aspx?speechid=1341>)
 17. Шадрин И. Программа модернизации американской армии Future Combat Systems подвергнется серьезной реорганизации. (http://www.infox.ru/hi-tech/tech/2009/04/08/FCS_fail.phtml)
 18. Айзерман М.А., Гусев Л.А., Смирнова И.М., Петров С.В. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (Основы графодинамики) // АиТ, 1977 г., №7, С.135-151, №9, С.123-136.
 19. Затуливетер Ю.С., Халатян Т.Г. ПАРСЕК - язык компьютерного исчисления древовидных структур с открытой интерпретацией. Стендовый вариант системы программирования. -М., 1997 г. (Препринт/Институт проблем управления РАН), 71с.
 20. Затуливетер Ю.С. Предпосылки появления глобального управляющего компьютера // Датчики и системы. №4, 2005. С.47-58.
 21. Затуливетер Ю.С. Пути реализации глобального управляющего компьютера // Датчики и системы. №5, 2005. С.25-33.
 22. Затуливетер Ю.С., Топорищев А.В. Язык Парсек: программирование глобально распределенных вычислений в модели исчисления древовидных структур // Проблемы управления. 2005, №4, С.12-20.