



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**
ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ В ЗАДАЧАХ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА И АГРЕГИРОВАНИЯ ДАННЫХ

Отчет по проекту за 2021-2022 гг.

Руководитель д.т.н., проф. О.П. Кузнецов

Участники отчета за 2021-2022 г.г.

ФИО	Степень, должность	Номер лаборатории	Дата рождения
Базенков Николай Ильич	к.т.н., с.н.с.	11	22.07.1988
Болдышев Борис Александрович (выбыл)	аспирант, м.н.с.	11	18.04.1990
Ильченко Илья Владимирович	техник	11	13.09.2000
Иванов Александр Александрович	м.н.с.	25	01.04.1991
Корешков Василий Романович	математик	11	13.06.1999
Нечаева Полина Александровна	инженер- программист	11	16.02.1999
Чаплинская Надежда Васильевна	математик	11	02.10.1999
Шипицына Алина Денисовна	техник	25	10.02.2000

Направления исследований

1. Исследование динамических процессов в биоинспирированных моделях и задачах машинного обучения (Базенков, Ильченко, Шипицына)
2. Исследование динамических процессов в сетевых структурах (Нечаева, Корешков, Чаплинская)
3. Исследование манипулируемости процедур агрегирования для случая большого количества участников (Иванов)

Ключевые слова: Сетевые модели, социальные сети, нейронные сети, распространение активности, машинное обучение, управление движениями, программируемая гибель клеток, манипулируемость процедур агрегирования

Конкретные задачи

1. Исследование динамических процессов в биоинспирированных моделях и задачах машинного обучения.

а) Разработка биологически адекватных моделей управления движениями человека (Н.И. Базенков, И.В. Ильченко);

б) Применение марковских цепей для анализа состояний, прогноза и управления бионическими протезами (Н.И. Базенков).

в) Изучение поведения многоклеточной системы при различных параметрах и различных типах апоптоза (запрограммированная гибель клеток). (А.Д. Шипицына)

г) Разработка методов обучения интеллектуальных агентов, расширяющих возможности переноса ранее полученного опыта на неизвестные задачи. (Б.А. Болдышев)

Конкретные задачи

2. Исследование динамических процессов в сетевых структурах.

а) Исследование динамических процессов в новых моделях ресурсных сетей. (В.Р. Корешков, Н.В. Чаплинская)

б) Исследование поведения и влияния пользователей социальной сети на основе социального графа. (П.А. Нечаева)

3. Исследование манипулируемости процедур агрегирования для случая большого количества участников. (А.А. Иванов)

Конференции, публикации

- Выступления на 6 конференциях
- Общественный семинар "Экспертные оценки и анализ данных".
- Общественный научный семинар "МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ В ЭКОНОМИКЕ, БИЗНЕСЕ И ПОЛИТИКЕ»
- Научный семинар с Институтом биологии развития «Вычислительные модели в нейробиологии»
- Летняя школа РАИИ по искусственному интеллекту
- Номинация на премию за лучшую научную работу ИПУ (Н.В. Чаплинская совместно с Л.Ю. Жиликовой)

20 публикаций, в том числе 1 WoS, 2 Scopus, 4 RSCI.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**
ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Заявка на 2022-2023 гг.

Руководитель д.т.н., проф. О.П. Кузнецов

Участники заявки на 2022-2023 г.г.

ФИО	Степень, должность	Номер лаборатории	Дата рождения
Базенков Николай Ильич	к.т.н., с.н.с.	11	22.07.1988
Иванов Александр Александрович	м.н.с.	25	01.04.1991
Корешков Василий Романович	математик	11	13.06.1999
Нечаева Полина Александровна	инженер- программист	11	16.02.1999
Чаплинская Надежда Васильевна	математик	11	02.10.1999
Шипицына Алина Денисовна	техник	25	10.02.2000

Направления исследований

1. Исследование динамических процессов в биоинспирированных моделях и задачах машинного обучения.
2. Исследование динамических процессов в сетевых структурах
3. Исследование манипулируемости процедур агрегирования для случая большого количества участников

Ключевые слова: Сетевые модели, социальные сети, нейронные сети, распространение активности, машинное обучение, управление движениями, программируемая гибель клеток, манипулируемость процедур агрегирования

Конкретные задачи

1. Разработка биологически правдоподобных моделей движения человека (Н.И. Базенков)

а) Разработка статистической модели движений человека по экспериментальным данным;

б) Разработка модели движений человека, предсказывающей поведение в нестандартных ситуациях.

2. Изучение поведения многоклеточной системы при различных параметрах и различных типах апоптоза. (А.Д. Шипицына)

а) Построение и исследование математической модели программируемой клеточной гибели (апоптоза) в многоклеточных системах при условии поглощения мертвых клеток здоровыми

б) Изучение влияния апоптоза на выживаемость колонии в условиях конкуренции

Конкретные задачи

3. Моделирование пластичности синаптических весов и задержек в спайковых нейронных сетях (Н.В. Чаплинская)

а) Исследование моделей синаптической пластичности, учитывающих синаптические задержки и их применение в задачах машинного обучения

4. Исследование распространения активности в социальных сетях на основе моделирования взаимодействий MIMO-агентов.

(П.А. Нечаева)

а) Исследование динамики сетей из MIMO-агентов и выявление закономерностей распространения нескольких видов информации среди агентов с разной внутренней структурой.

Конкретные задачи

5. Исследование представлений алгебраических групп через систему образующих с использованием планарных графов.

(В.Р. Корешков)

а) Для произвольной группы $S(6)-T(3)$, которая не содержит элементов конечного порядка, решить проблему вхождения в свободную подгруппу ранга 2, построенную по указанному алгоритму;

б) Найти применение полученных результатов в криптографии.

6. Исследование манипулируемости процедур агрегирования для случая большого количества участников. (А.А. Иванов)

а) Исследовать класс позиционных правил голосования, и для них рассчитать индексы манипулируемости для большого количества участников

Разработка биологически правдоподобных моделей движения человека

Николай Ильич Базенков

к.т.н., с.н.с. лаб. 11



Направления исследований

1. Завершение проекта по моделированию гетерохимических нейронных ансамблей
2. Моделирование и прогнозирование движений человека с приложениями в разработке бионических протезов (совместно с И.В. Ильченко и студентом МГТУ им. Н.Э. Баумана С.А. Летягиным)

Публикации:

1. Bazenkov N.I. Heterogeneous Formal Neurons and Modeling of Multitransmitter Neural Ensembles / Proceedings of the 19th Russian Conference, RCAI 2021, Taganrog, Russia, 2021. (WoS, Scopus)
2. Mitrofanova A.Yu., Safin A.R., Egorov D.P., Kravchenko O.V., Bazenkov N.I. Pattern Recognition with Antiferromagnet-heavy Metal Hybrid Structure / Proceedings of Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2021, Hangzhou, China) (Scopus)

2 доклада на школе «Управление большими системами»

Курс «Нейроморфные вычисления» на Летней школе по искусственному интеллекту, Сириус, г. Сочи, 4-18 июля 2021 г. (<https://github.com/bazenkov/neuro-raai>)

Моделирование движений человека

Мотивация:

Моделирование движений человека – сложная задача, имеющая множество приложений в медицине и роботехнике

Задачи:

- Предсказание состояния бионического протеза по экспериментальным данным. Данные получены от И.В. Мещихина (МГТУ им. Н.Э.Баумана, ИНЭУМ им. И.С. Брука)

Полученные результаты:

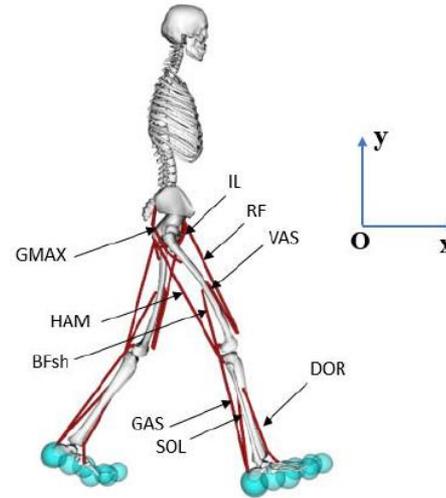
Разработан алгоритм прогноза состояния бионического протеза с помощью марковской цепи в пространстве лагов

Существующие подходы

Экспериментальные данные



Скелетно-мышечные модели



OSIM Gait2392:
23 DoF, 92 MTU, 3d;
[Nguyen et.al. 2019]:
11 DoF, 18 MTU, 2d;
[Song & Geyer,
2015]:
8 DoF, 22 MTU, 3d

Симулятор OSIM: <https://opensim.stanford.edu>

Статистические модели (машинное обучение)

Регрессионные модели, нейросети и др.

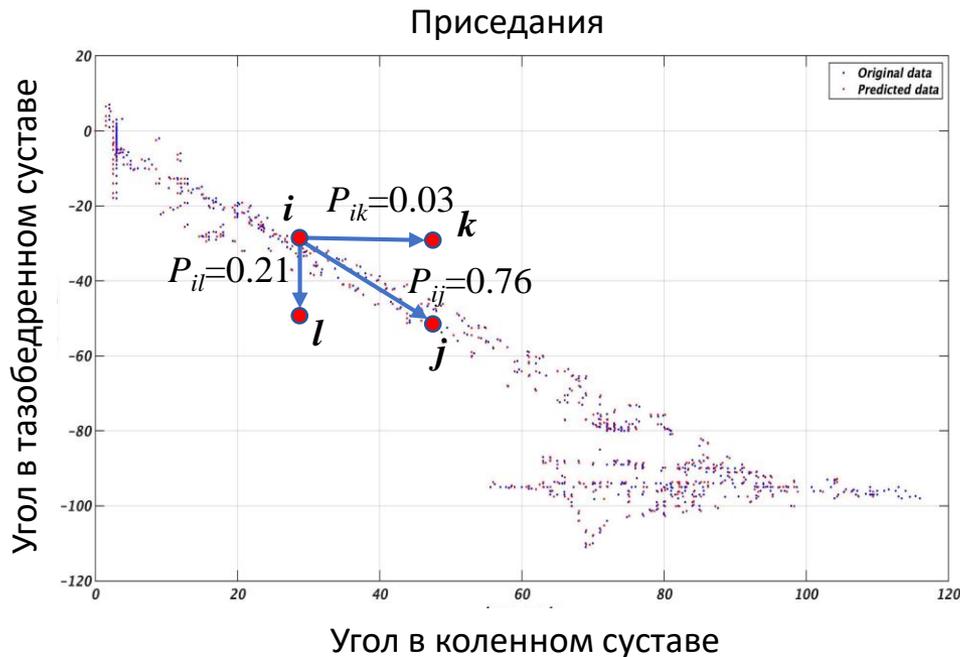
Марковские модели:

Теоретическое обоснование, вычислительная простота, интерпретируемость

Марковская модель в пространстве лагов

Пространство лагов

$x(t), x(t-L), x(t-2L), \dots$ – состояние протеза, дополненное лаговыми переменными



1. Пространство разбивается на дискретные состояния. Задаются параметры ядерной функции f_i для каждого состояния
2. Вероятности переходов P_{ij} оцениваются как относительные частоты
3. Прогноз следующего значения:

$$\hat{x}(t+1) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M P_i(x(t)) P_{ij} x^j$$

$P_i(x) = f_i(\|x^i - x\|)$ - мера принадлежности вектора $x(t)$ состоянию i

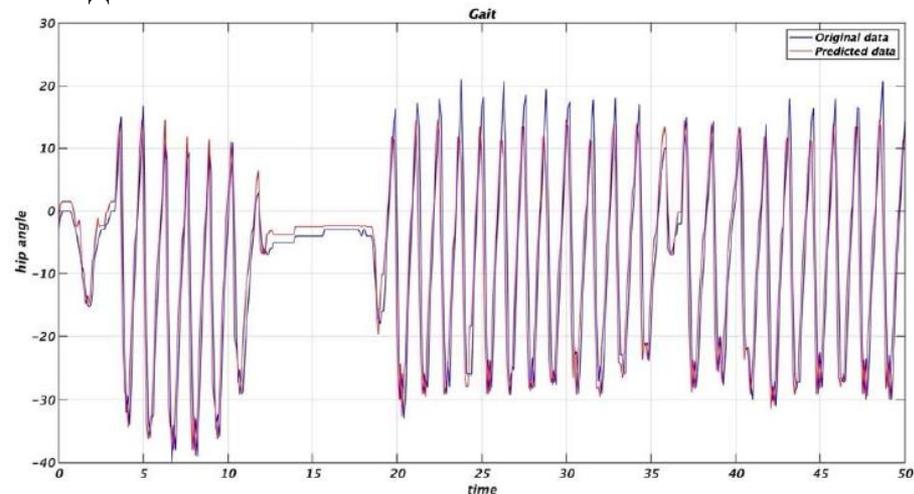
Экспериментальные результаты

Исследовано 14 типов движения:
около 4 часов, 140 тыс. точек.

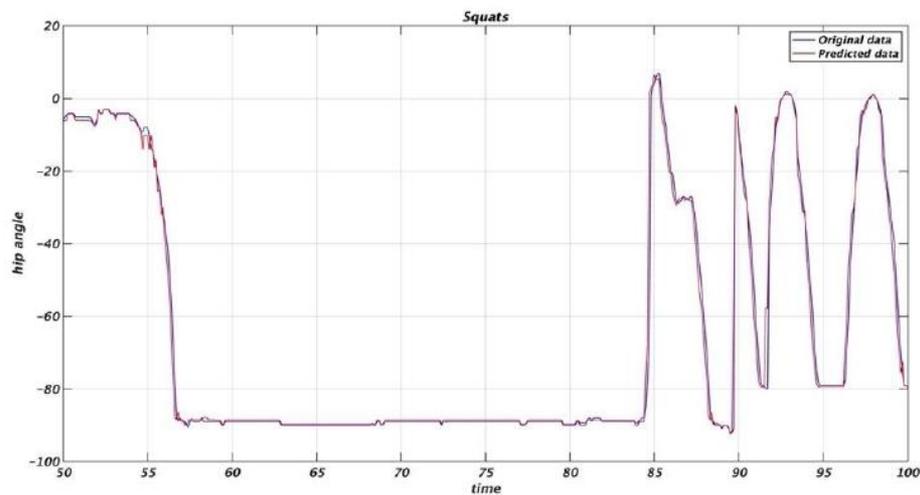
Ошибка прогноза

Тип движения	STD°	MAX°	MAE°
Ходьба	6.70	9.25	5.07
Спуск по лестнице	3.481	12.00	2.32
Стояние	0.77	3.00	0.18
Приседание	10.15	11.00	2.45
Сидение	4.80	9.94	3.13
Подъем по лестнице	4.86	6.52	2.99
Пандус	6.09	9.00	3.96
Крутой пандус	4.45	6.02	2.85
Медленная ходьба	5.24	7.01	3.67
Быстрая ходьба	9.91	14.70	7.56
Ходьба случайная	6.35	23.36	4.98
Ходьба случайная на дорожке	5.79	22.93	4.59
Ходьба на шарах	5.14	8.06	3.94
Перешагивание	8.50	13.26	7.20

Ходьба



Приседания



Планы на 2022-2023 г.г.

1. Исследование качества предсказания на данных пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата
2. Создание и экспериментальное исследование модели движений, предсказывающей поведение в нестандартных ситуациях
3. Исследование эффективности методов обучения с подкреплением для настройки параметров модели

Летняя школа по искусственному интеллекту



Записи лекций 2021 года:

https://www.youtube.com/watch?v=mSINT8f4JuU&list=PLAf2_qj2sY8Ti2IKa-UzPVMSqw6Hd_wY5

Приглашаем на школу в 2022 году, 4-17 июля (до 1 июня):

https://cogmodel.mipt.ru/school_raai_eng



Управление движением человека методами обучения с подкреплением

техник лаб. 11

студент 4 курса МГТУ им. Н. Э. Баумана

Ильченко Илья Владимирович

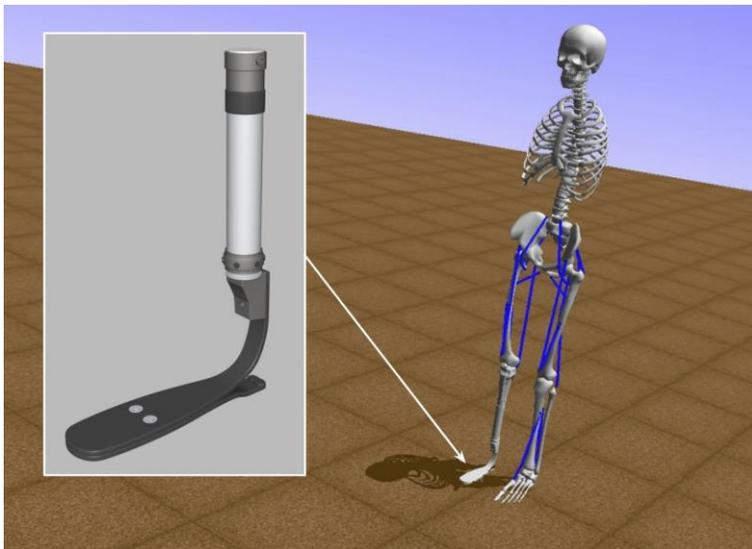


Введение

Цели и задачи

- Провести предварительный анализ существующих методов обучения с подкреплением с целью использовать в будущем полученные результаты во время работы с бионическим протезом
- Реализовать модель VipedalWalker, используя язык Python и библиотеку OpenAI.
- Выявить недостатки алгоритмов при работе с моделью двуногого робота

Протез ноги

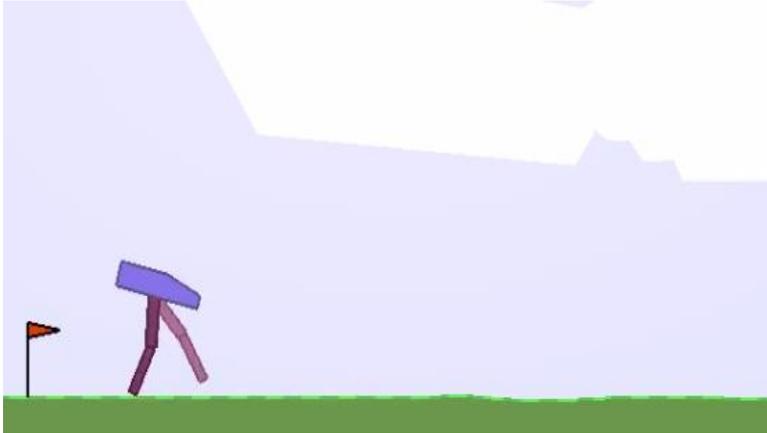


Критерии качества протеза:

- ◆ Обеспечение комфортной жизни человеку с ограниченными возможностями
- ◆ Легкая настройка под конкретного человека

Среда BipedalWalker

BipedalWalker



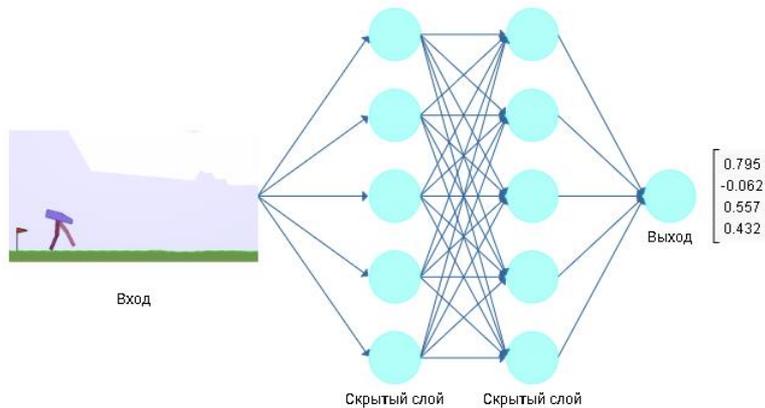
Num	Name	Min	Max
0	Hip_1 (Torque / Velocity)	-1	+1
1	Knee_1 (Torque / Velocity)	-1	+1
2	Hip_2 (Torque / Velocity)	-1	+1
3	Knee_2 (Torque / Velocity)	-1	+1

Пространство действий

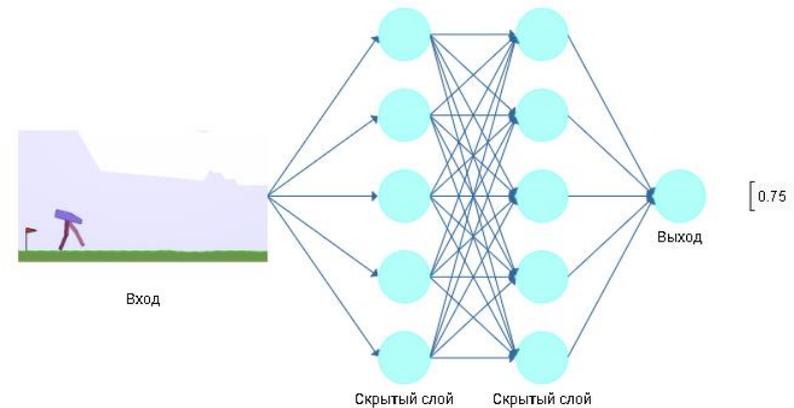
Num	Observation	Min	Max	Mean
0	hull_angle	0	2π	0.5
1	hull_angularVelocity	-inf	+inf	-
2	vel_x	-1	+1	-
3	vel_y	-1	+1	-
4	hip_joint_1_angle	-inf	+inf	-
5	hip_joint_1_speed	-inf	+inf	-
6	knee_joint_1_angle	-inf	+inf	-
7	knee_joint_1_speed	-inf	+inf	-
8	leg_1_ground_contact_flag	0	1	-
9	hip_joint_2_angle	-inf	+inf	-
10	hip_joint_2_speed	-inf	+inf	-
11	knee_joint_2_angle	-inf	+inf	-
12	knee_joint_2_speed	-inf	+inf	-
13	leg_2_ground_contact_flag	0	1	-
14-23	10 lidar readings	-inf	+inf	-

Пространство действий

Модели актера и критика



Модель актера

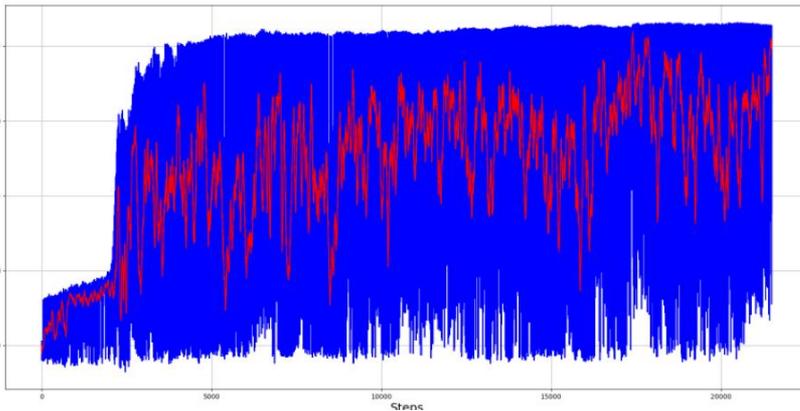
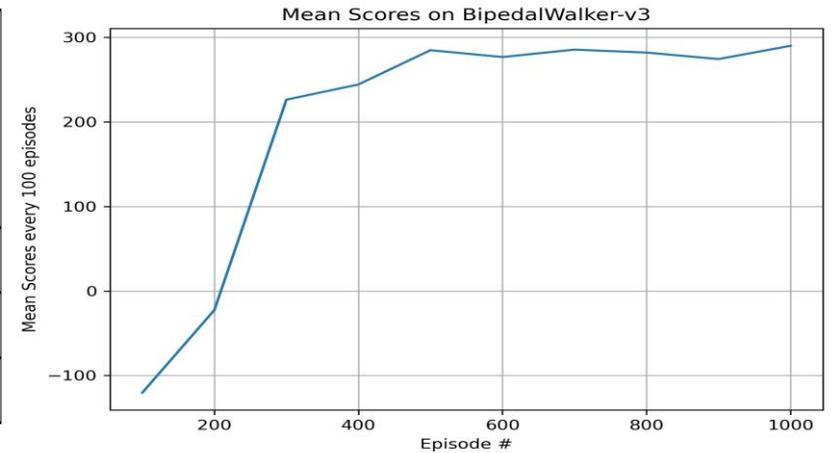


Модель критика

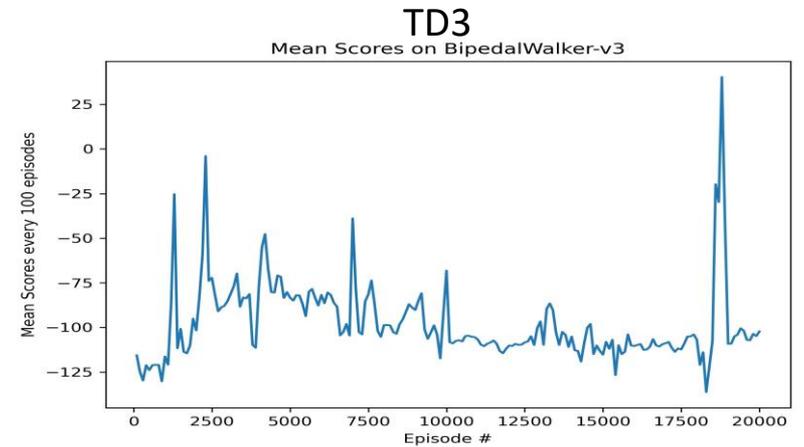
Модель актера состоит из входного слоя, куда поступает вектор состояний, 2 скрытых слоя по 256 нейронов в каждом и выходной слой, выдающий вектор математических ожиданий. Действия выбираются из нормального закона с фиксированной дисперсией. Модель критика имеет схожую архитектуру, но на выходе выдает оценку.

Результаты

Алгоритм	Максимальная средняя награда	Максимальная награда	Эпизоды
DDPG	42	279	20000
TD3	301	305	1000
PPO	306	309	22000

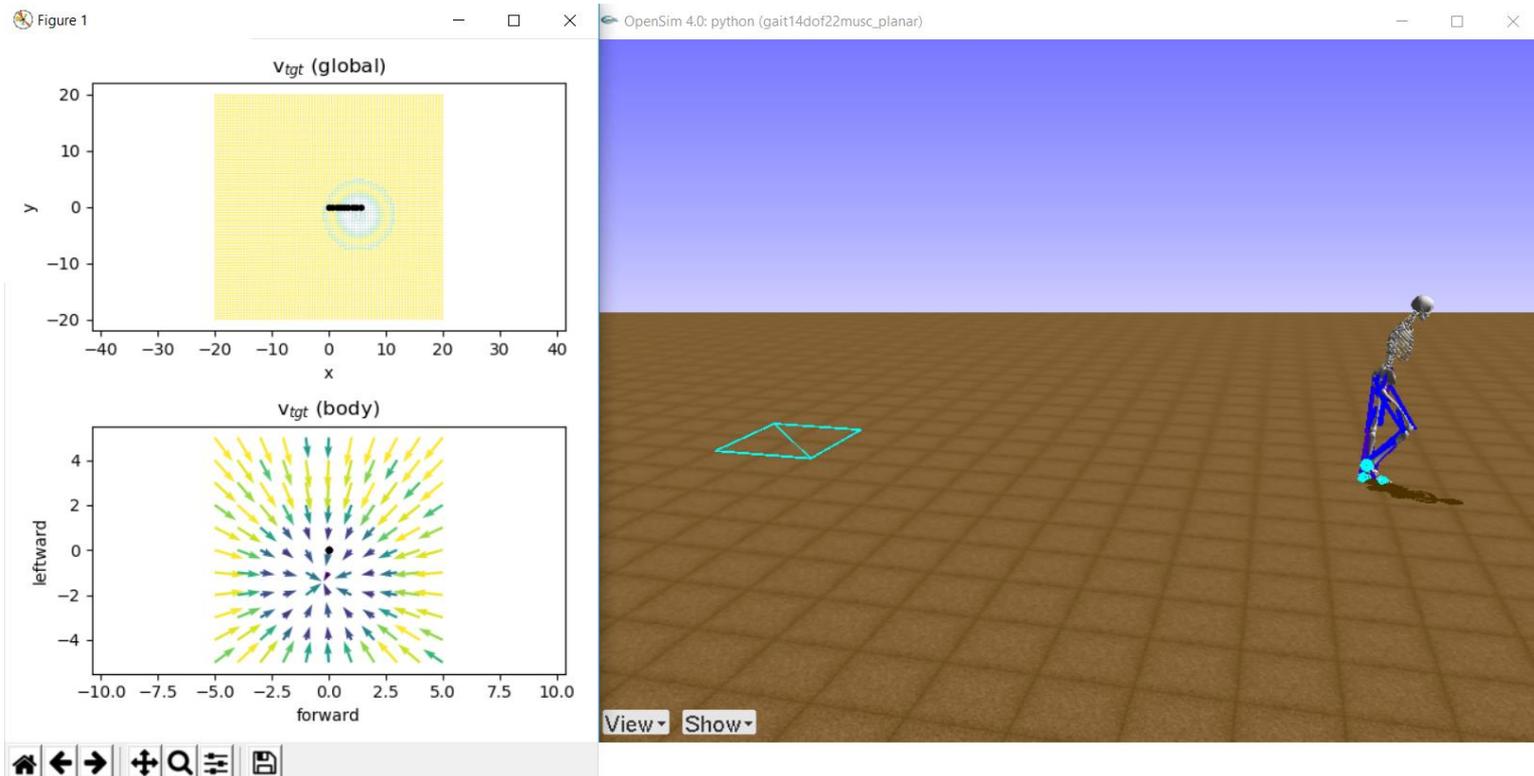


PPO



DDPG

Сравнение RL и методов теории управления



Среда OpenSim

Выводы

1. Изучены и протестированы алгоритмы обучения с подкреплением:
 - Алгоритм TD3 устраняет недостатки DDPG, внедряя вторую модель критика и тем самым уменьшая накопление ошибки
 - Обновление стратегии происходит не на каждом эпизоде, а раз в несколько эпизодов
 - PPO показал хорошие результаты за счет грамотного использования опыта предыдущих итераций
2. Решена задача обучения походки робота
3. Идет работа над сравнением двух подходов к управлению движением человека

Моделирование программируемой клеточной гибели (апоптоза) для многоклеточных колоний

Шипицына Алина Денисовна

техник лаб. 25

студентка 1-го курса магистратуры МФТИ



Научная проблема

Программируемая клеточная гибель – генетически закодированная способность клеток убивать себя с помощью некоторых внутренних контролируемых процессов.

Цель:

- Построение динамической модели программируемой клеточной гибели (апоптоза) для многоклеточных колоний
- Получение численных решений динамической модели апоптоза при резком воздействии на колонию в начальный момент времени
- Изучение поведения колонии только при внешнем и только при внутреннем пути апоптоза

Выполненные задачи

- Построена модель апоптоза для одновременного выполнения по внешнему и внутреннему пути
- Изучено поведение модели при резкой смерти большого количества клеток в колонии в начальный момент времени
- Изучено поведение модели только при внешнем и только при внутреннем пути апоптоза при резком воздействии на колонию
- Выступление с полученными результатами на международной конференции Complexis 2021, публикация в книге тезисов данной конференции
- Выступление на исследовательском/проектном семинаре в НИУ ВШЭ
- Полученные результаты поданы на публикацию в 2 журнала

Полученные результаты

- Построена математическая модель многоклеточной колонии, функционирующей под действием внутреннего и внешнего апоптоза одновременно
- Используется гипотеза о существовании в колонии субпопуляций, основанных на активности различных каспаз (ферментов, отвечающих за расщепление белков), которые отвечают за разные стадии внешнего и внутреннего пути апоптоза
- Модель построена на основе обыкновенных дифференциальных уравнений и описывает временную зависимость количества клеток в субпопуляциях

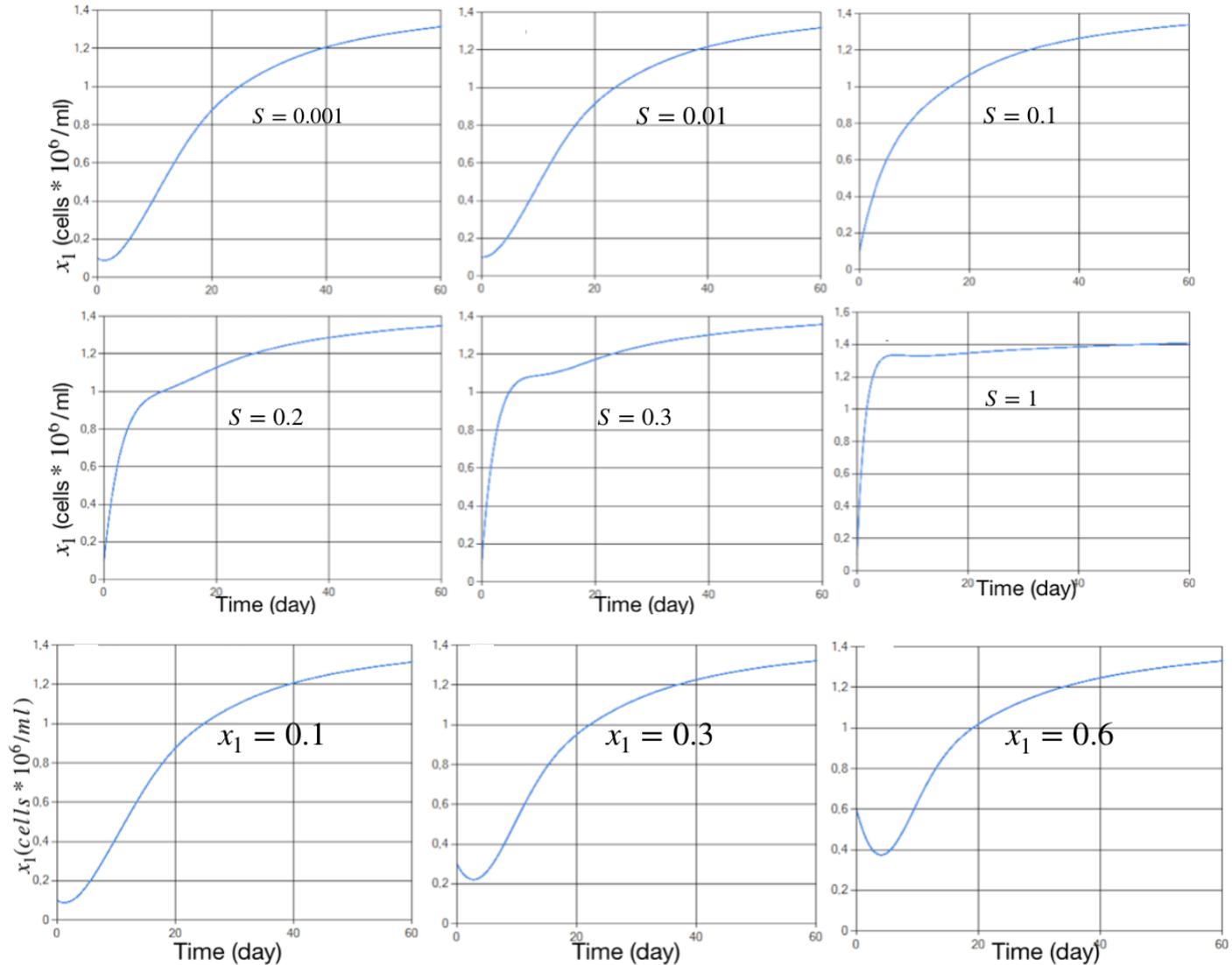
Пример полученных результатов

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = \mu_g f_{gr} x_1 - (\mu_e x_4^\alpha) x_1 - \mu_i \frac{1}{1+k_{x_3} S} x_1, \\ \dot{x}_2 = \mu_e x_4^\alpha x_1 - k_{x_4} x_2, \\ \dot{x}_3 = \mu_i \frac{1}{1+k_{x_3} S} x_1 - k_{x_5} x_3, \\ \dot{x}_4 = k_{x_4} x_2 + k_{x_5} x_3 - \mu_d x_4, \\ \dot{S} = -k_c (x_1 + x_2 + x_3) + \gamma \mu_d x_4, \\ \mu_g = \mu_L \left(1 - \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{X_{max}} \right), \\ f_{gr} = 1 - e^{-\frac{S}{K_S}}. \end{array} \right.$$

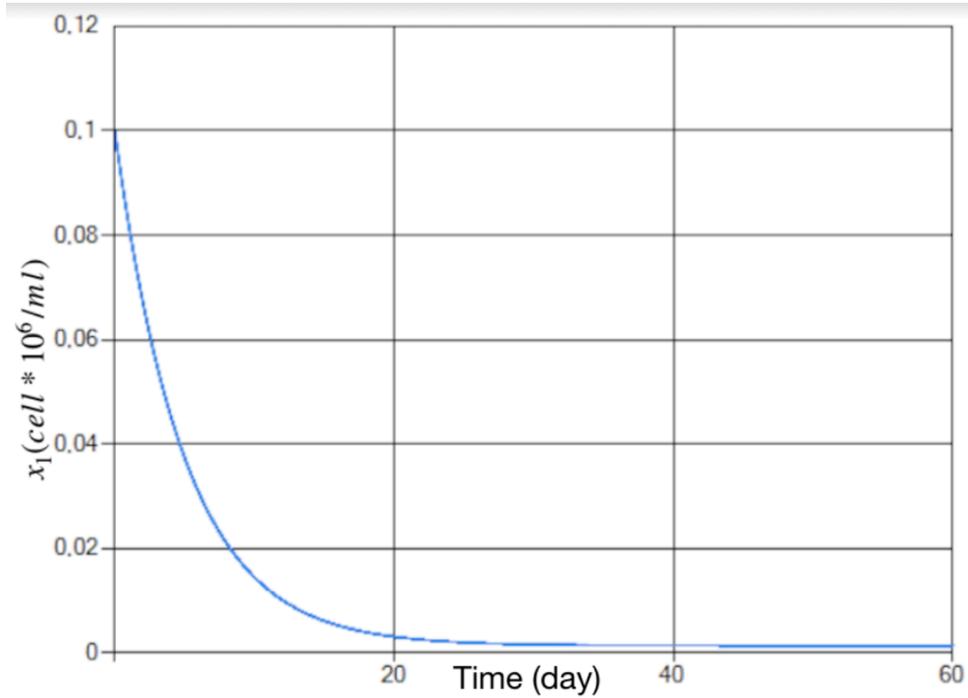
Полученные результаты

- Полученные результаты показывают влияние апоптоза на возможность колонии функционировать в условиях ограниченных энергетических ресурсов
- Проведено моделирование при различных параметрах системы, таких как начальное количество питательных ресурсов; начальное количество здоровых (не выполняющих апоптоз) клеток в колонии; доля мертвых клеток, которые могут быть поглощены здоровыми клетками в колонии.

Пример полученных результатов



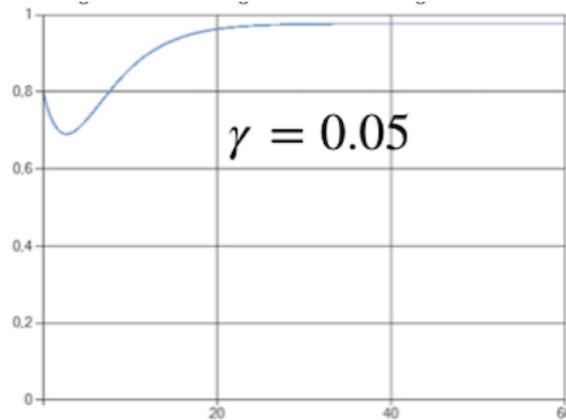
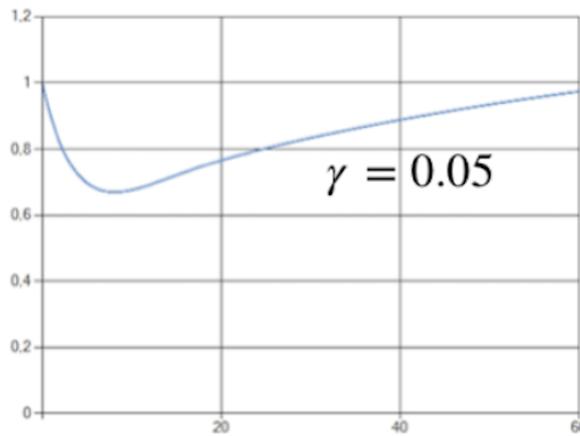
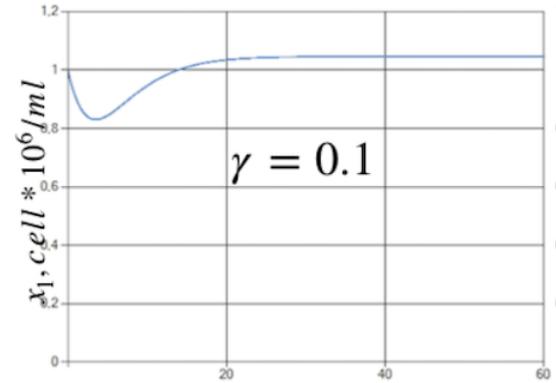
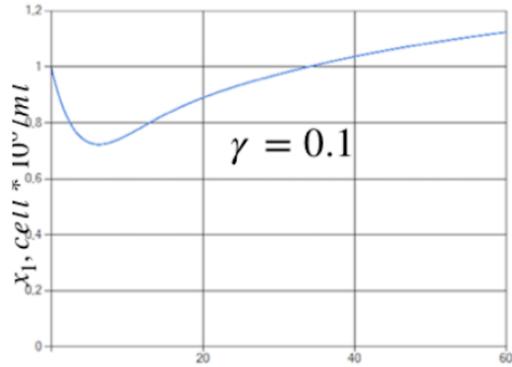
Пример полученных результатов



Полученные результаты

- Проведено исследование функционирования колонии при резком воздействии на колонию в начальный момент времени – резкая смерть большого числа клеток в колонии
- Получено, что параметр, отвечающий поглощению мертвых клеток оказывает значительное влияние на результат
- Установлено, что при выполнении только внешнего пути апоптоза начальное уменьшение численности колонии меньше и рост колонии происходит быстрее, но численность устанавливается на некотором меньшем значении, чем при выполнении обоих путей

Пример полученных результатов



Задачи на следующий год

Изучение поведения конкурирующих колоний с
возможностью апоптоза при разных параметрах системы

Исследование ресурсных сетей с прибывающим ресурсом

Корешков Василий Романович

математик лаб. 11

студент МГТУ им. Н.Э. Баумана

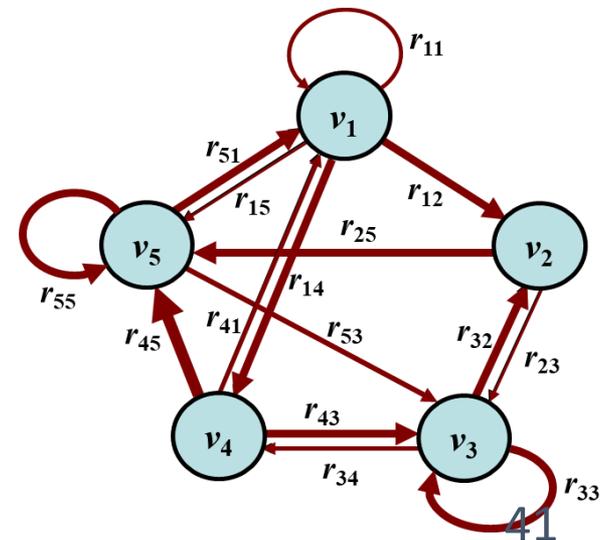


Ресурсная сеть

- **Ресурсная сеть** – динамическая потоковая модель, описываемая орграфом. Время дискретно.
- Вершины сети содержат ресурс $q_i(t)$, способный перетекать через ребра, обладающие постоянной пропускной способностью r_{ij} .
- Суммарный ресурс W в сети не изменяется.
- Состояние сети: $Q(t) = (q_1(t), \dots, q_n(t))$.
- На каждом такте вершина v_i отдаст в ребро, соединяющее ее с вершиной v_k :

r_{ik} ресурса, если $q_i(t) > r_i^{out}$ (правило 1)

$\frac{q_i(t)}{r_i^{out}} r_{ik}$ ресурса, если $q_i(t) \leq r_i^{out}$ (правило 2)



Цели и задачи

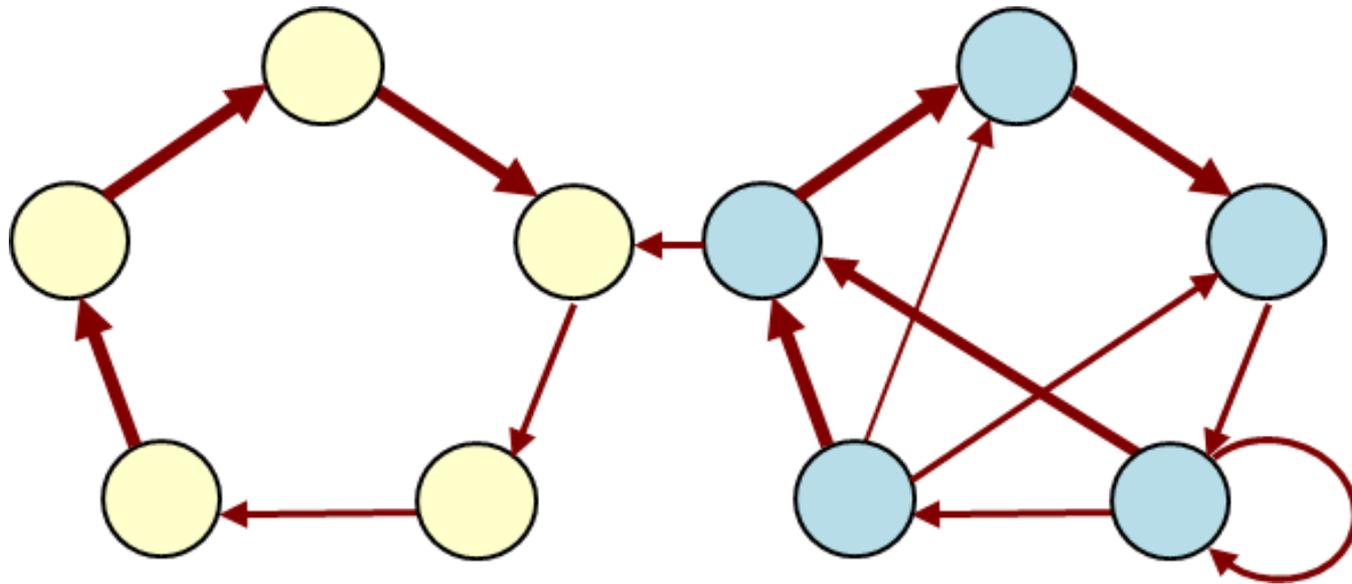
Цель проекта: построение математической модели ресурсной сети с прибывающим ресурсом и исследование ее функционирования при разных значениях суммарного ресурса.

Задачи:

1. Найти необходимые и достаточные условия существования предельного состояния в сети;
2. Выяснить зависимость предельного состояния от начальных условий и от поступающего ресурса;
3. Подтвердить аналитические результаты численными экспериментами.

Мотивация

Существуют ресурсные сети, граф которых не сильно связан



Основные результаты

Лемма 1. Пусть две числовые последовательности $\{a_i\}$ и $\{b_i\}$ таковы, что $\sum_{i=0}^{\infty} |a_i| < \infty$, а $b_i \xrightarrow{i \rightarrow \infty} 0$. Тогда $\sum_{i=1}^t a_{i-1} b_{t-i} \xrightarrow{i \rightarrow \infty} 0$.

С помощью данной леммы доказывается основная теорема:

Теорема 1. Пусть дана регулярная эргодическая РСПР, некоторое начальное состояние q^0 и выполняются условия:

1) Ряд из приходящих ресурсов сходится, то есть можно указать верхнюю границу суммарного ресурса в сети, которая никогда не будет достигнута;

2) В любой момент времени в каждой вершине наблюдается недостаток ресурса.

Тогда в РСПР существует предельное состояние $q^* = \lim_{t \rightarrow \infty} q(t)$.

Более того,

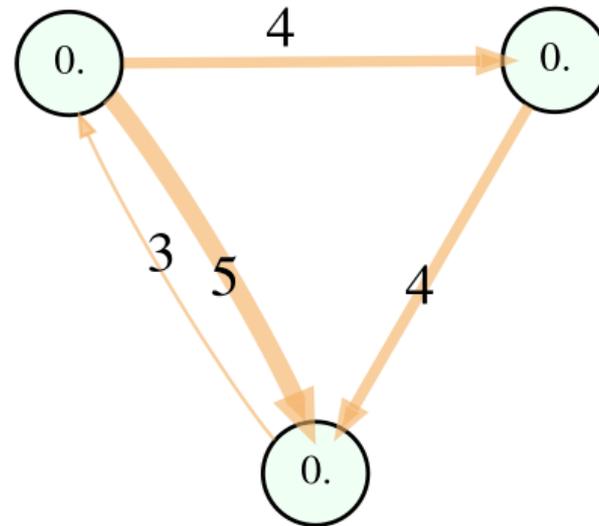
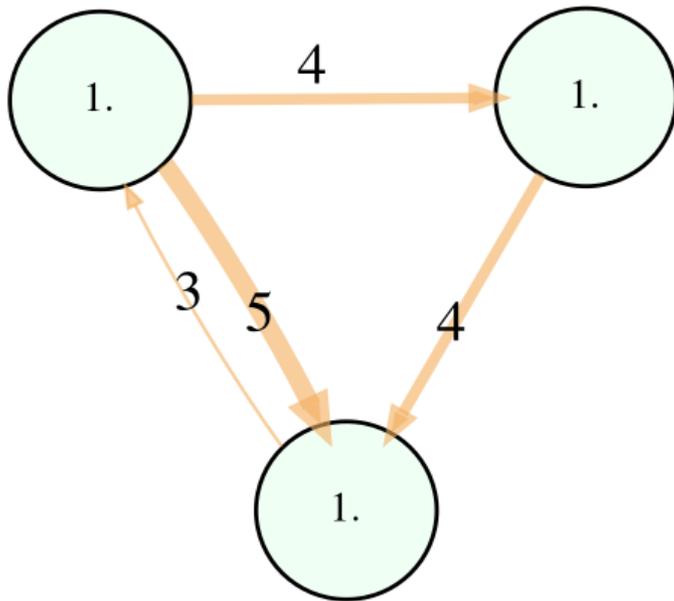
$$q^* = \frac{W_0 + W_{in}}{n} (\mathbf{1}, \mathbf{1}, \dots, \mathbf{1}) R'^{\infty}$$

Пример

Суммарное количество ресурса равно 3.

В левой сети начальное состояние $q^0 = (1, 1, 1)$.

В правой сети (PCPR) $q^0 = \mathbf{0}$, но в нее приходит ресурс $a_i(t) = \frac{1}{2^{t+1}}$

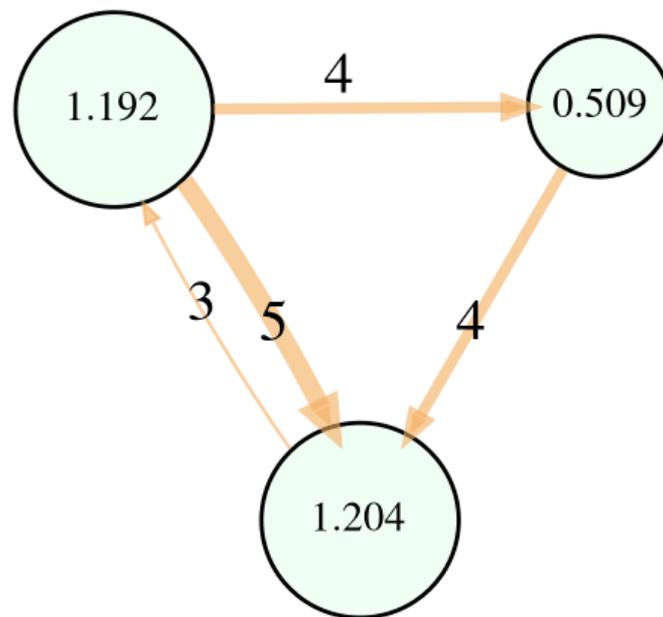
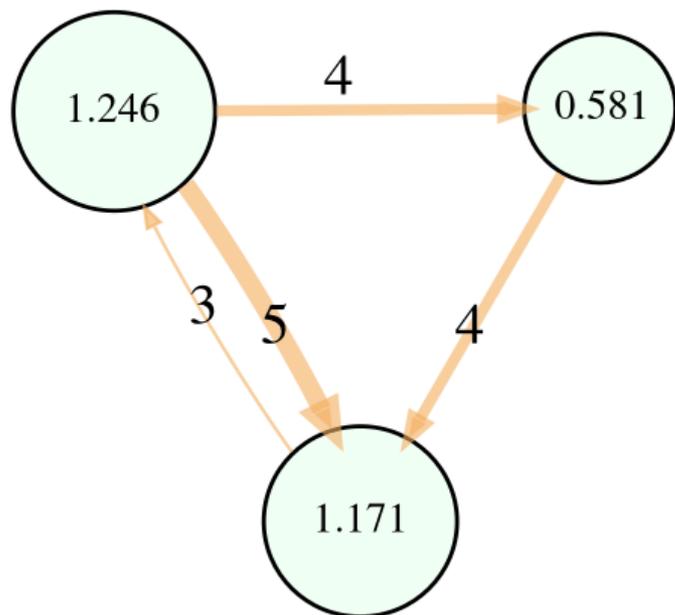


Пример (продолжение)

Суммарное количество ресурса равно 3.

В левой сети начальное состояние $q^0 = (1, 1, 1)$.

В правой сети (PCPR) $q^0 = \mathbf{0}$, но в нее приходит ресурс $a_i(t) = \frac{1}{2^{t+1}}$

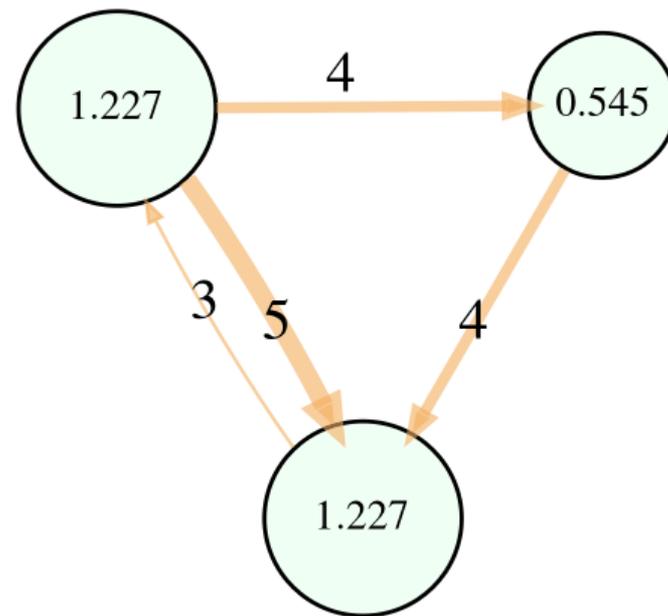
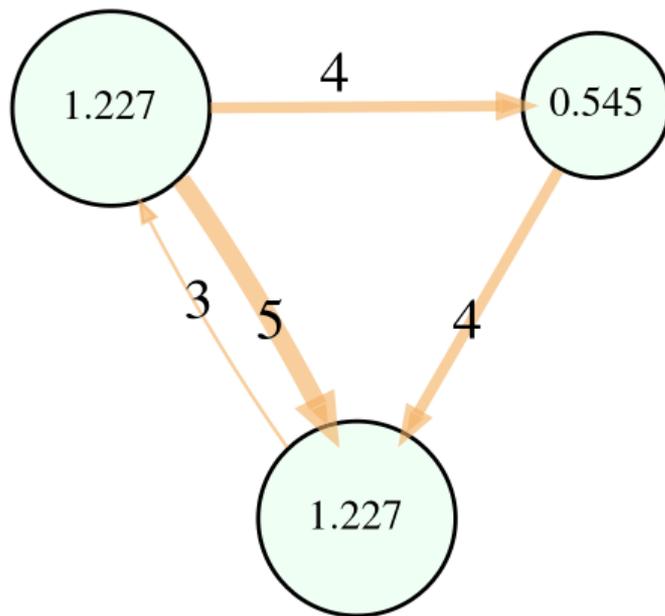


Пример (продолжение 2)

Суммарное количество ресурса равно 3.

В левой сети начальное состояние $q^0 = (1, 1, 1)$.

В правой сети (РСПР) $q^0 = \mathbf{0}$, но в нее приходит ресурс $a_i(t) = \frac{1}{2^{t+1}}$



Основные результаты (2)

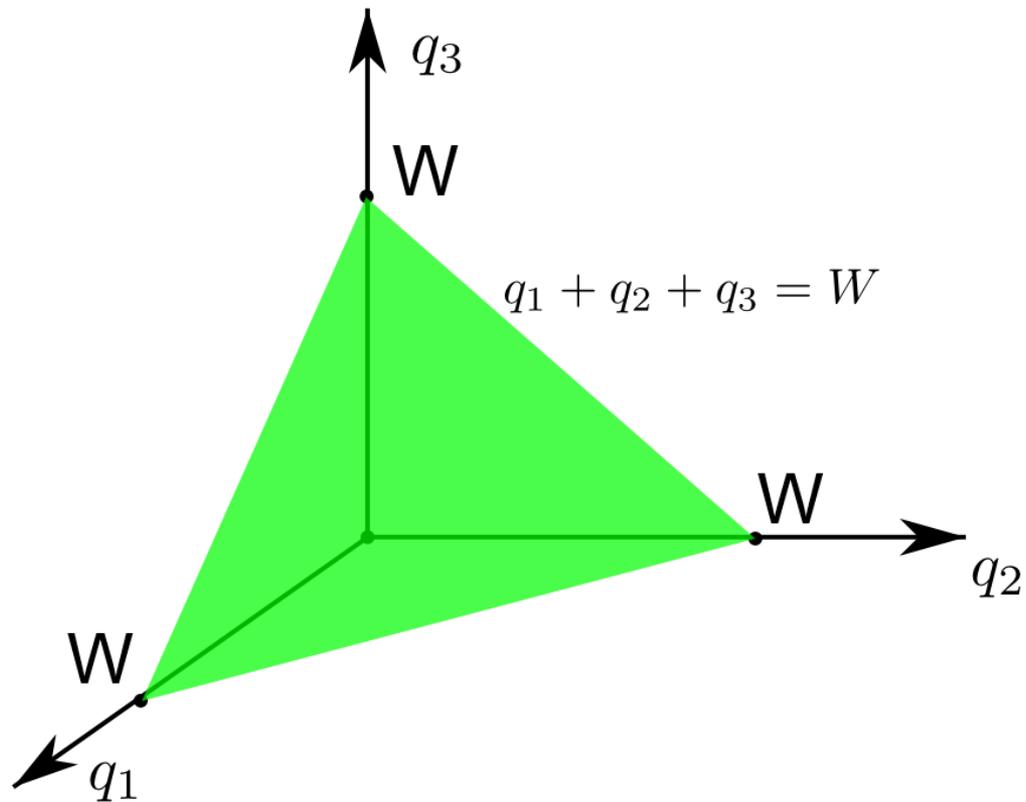
Следствие 1. Пусть в РСР с суммируемым приходящим ресурсом начальное состояние и приходящий ресурс таковы, что в каждой вершине начиная лишь с некоторого момента времени наблюдается недостаток ресурса. Тогда применима формула из теоремы 1.

Следствие 2. Пусть суммарный ресурс сети меньше, чем минимальная из пропускных способностей всех вершин. Тогда выполняются условия теоремы 1.

По результатам исследований подана статья в журнал «Advances in Systems Science and Applications» (Scopus).

Побочный результат

Теорема 2. (побочный результат) В (обыкновенной) ресурсной сети для любого суммарного ресурса существует стационарное состояние.



Планы и ожидаемые результаты

Метод групповых диаграмм

Для решения некоторых задач теории групп используются **групповые диаграммы**, т.е. представление элементов группы планарными графами.

Задачи:

- Изучить метод групповых диаграмм, проанализировать имеющиеся применения метода для решения задач вхождения в подгруппу;
- Для произвольной группы $S(6)-T(3)$, которая не содержит элементов конечного порядка, решить проблему вхождения в свободную подгруппу ранга 2, построенную по указанному алгоритму;
- Найти применение полученных результатов в криптографии.

Исследование функционирования ресурсных сетей с «жадными» вершинами

Чаплинская Надежда Васильевна

математик лаб. 11

студентка МГТУ им. Н.Э. Баумана



Цели и задачи

Цель проекта: построение математической модели ресурсной сети с «жадными» вершинами и исследование ее функционирования при разных значениях суммарного ресурса.

1й год проекта (2020-2021): топология полной однородной сети

2й год проекта (2021-2022): топология эргодической неоднородной сети

Задачи:

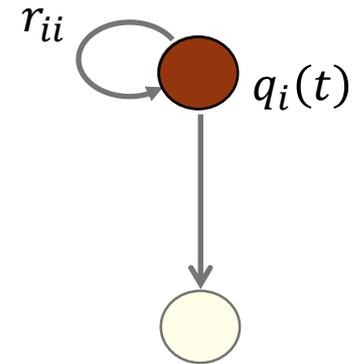
1. Найти пороговые значения суммарного ресурса, разделяющие зоны различного поведения сети.
2. Исследовать функционирование сети при различных начальных состояниях (и для разных топологий в случае неоднородной сети) для каждой выделенной зоны.
3. Провести соответствующие численные эксперименты.

Правила функционирования: ресурсная сеть с «жадными» вершинами

Вершина v_i на такте t отдает в первую очередь в петлю:

$$r_{ii} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_{ii} \quad (\text{а})$$

$$q_i(t) \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_{ii} \quad (\text{б})$$



В случае (а) оставшийся ресурс $\Delta q_i(t) = q_i(t) - r_{ii}$ распределяется между другими вершинами по правилам стандартной ресурсной сети: вершина v_i отдаст в ребро, соединяющее ее с вершиной v_k

$$r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_i^{out} \quad (\text{правило 1})$$

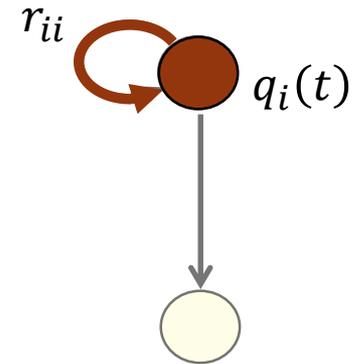
$$\frac{\Delta q_i(t)}{r_i^{out} - r_{ii}} r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_i^{out} \quad (\text{правило 2})$$

Правила функционирования: ресурсная сеть с «жадными» вершинами

Вершина v_i на такте t отдает в первую очередь в петлю:

$$r_{ii} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_{ii} \quad (\text{а})$$

$$q_i(t) \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_{ii} \quad (\text{б})$$



В случае (а) оставшийся ресурс $\Delta q_i(t) = q_i(t) - r_{ii}$ распределяется между другими вершинами по правилам стандартной ресурсной сети: вершина v_i отдаст в ребро, соединяющее ее с вершиной v_k

$$r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_i^{out} \quad (\text{правило 1})$$

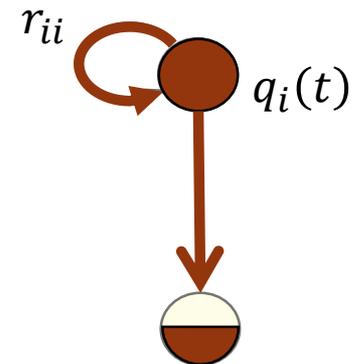
$$\frac{\Delta q_i(t)}{r_i^{out} - r_{ii}} r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_i^{out} \quad (\text{правило 2})$$

Правила функционирования: ресурсная сеть с «жадными» вершинами

Вершина v_i на такте t отдает в первую очередь в петлю:

$$r_{ii} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_{ii} \quad (\text{а})$$

$$q_i(t) \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_{ii} \quad (\text{б})$$



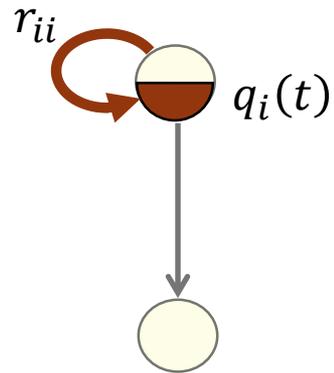
В случае (а) оставшийся ресурс $\Delta q_i(t) = q_i(t) - r_{ii}$ распределяется между другими вершинами по правилам стандартной ресурсной сети: вершина v_i отдаст в ребро, соединяющее ее с вершиной v_k

$$r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) > r_i^{out} \quad (\text{правило 1})$$

$$\frac{\Delta q_i(t)}{r_i^{out} - r_{ii}} r_{ik} \text{ ресурса, если } q_i(t) \leq r_i^{out} \quad (\text{правило 2})$$

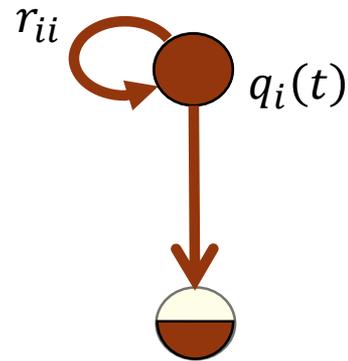
Насыщенность вершины и свободный ресурс

*ненасыщенная
вершина*



$$q_i(t) < r_{ii}$$

*насыщенная
вершина*



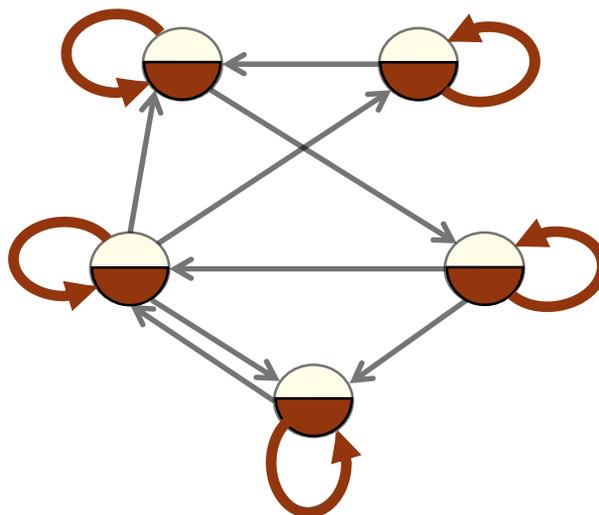
$$q_i(t) \geq r_{ii}$$

*свободный ресурс
вершины*

$$\Delta q_i(t) = q_i(t) - r_{ii}$$

Остановка сети

Сеть **остановилась**, если отсутствует поток ресурса в ребрах.

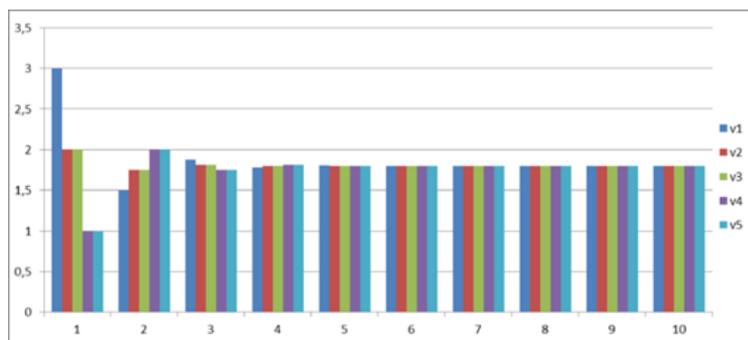


Первое пороговое значение суммарного ресурса

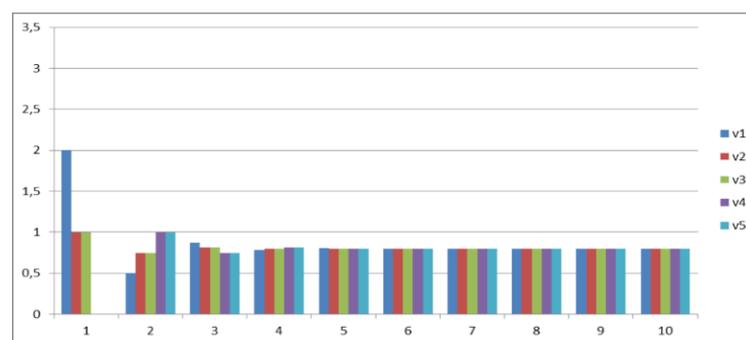
Теорема 1. Первое пороговое значение T_1 суммарного ресурса сети с «жадными» вершинами, отделяющее **недостаточный** ресурс от **достаточного**, единственно и равно $T_1 = \sum_{i=1}^n r_{ii}$ для любого начального состояния.

Достаточный ресурс:

- Все вершины сети насыщаются за конечное число тактов.
- Сеть функционирует эквивалентно стандартной ресурсной сети, у которой отсутствуют петли, а ресурс в каждой вершине уменьшен на величину пропускной способности петли.



модель «жадных» вершин

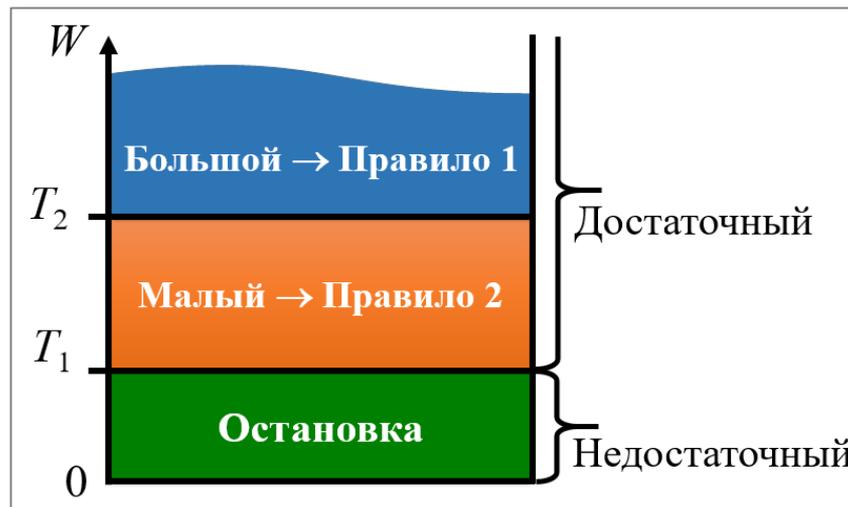


стандартная модель

Второе пороговое значение суммарного ресурса

- Суммарное значение ресурса, при котором все вершины сети функционируют по правилу 2 – **малый ресурс**.
- Суммарное значение ресурса, при котором хотя бы одна вершина функционирует по правилу 1 – **большой ресурс**.

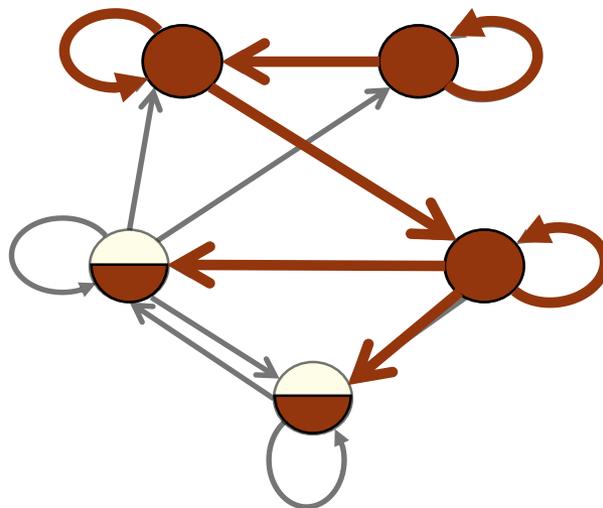
Теорема 2. Второе пороговое значение сети с «жадными» вершинами, отделяющее *малый ресурс* от *большого*, совпадает с пороговым значением соответствующей стандартной сети без петель: $T_2 = T$.



Недостаточный ресурс: характер остановки сети

Активная подсеть – подсеть исходной сети, включающая только те ребра, которые участвуют в передаче свободного ресурса.

Критерий. Для того чтобы сеть остановилась за конечное число тактов необходимо и достаточно, чтобы граф активной подсети был бесконтурным.



Алгоритм определения характера остановки сети

1. Строим первое приближение активной подсети (убираем все исходящие ребра у вершин, не являющихся перенасыщенными).
2. Алгоритмом Демукрона определяем, имеет ли граф рассматриваемой подсети контур. Если имеет \Rightarrow **сеть остановится в пределе**. Выход. Иначе в результате топологической сортировки получаем количество уровней ϑ вершин графа.
3. Вектор конечного состояния подсети: $Q^* = (Q(0) - R_{diag})\tilde{R}'^{\vartheta-1} + R_{diag}$, где \tilde{R}' — стохастическая матрица рассматриваемой подсети с удаленными петлями у вершин, не являющихся стоковыми.
4. Если ни одна из стоковых вершин не перенасытилась, то рассматриваемая подсеть — активная подсеть, описываемая бесконтурным графом \Rightarrow **сеть остановится за конечное число тактов с состоянием Q^*** . Выход. Иначе восстанавливаем исходящие из перенасытившихся вершин ребра. Переходим к п. 2.

Основные результаты (2021-2022 года)

Исследование функционирования эргодических ресурсных сетей с «жадными» вершинами

- ✓ Найдено пороговое значение суммарного ресурса $T_1 = \sum_{i=1}^n r_{ii}$, разделяющее зоны недостаточного ресурса (сеть останавливается) и достаточного ресурса (сеть не останавливается).
- ✓ Для зоны достаточного ресурса доказано, что с момента насыщения всех вершин сеть будет функционировать эквивалентно стандартной ресурсной сети соответствующей топологии без петель. Второе пороговое значение T_2 – есть пороговое значение полученной сети $T_2 = T$, которое разделяет зоны малого и большого достаточного ресурса.
- ✓ Для зоны недостаточного ресурса исследован характер остановки сети: разработан и программно реализован алгоритм, определяющий характер остановки сети по вектору начального распределения ресурса и по матрице пропускных способностей, а также находящий конечное состояние в случае остановки сети за конечное число тактов.
- ✓ Проведены численные эксперименты, подтверждающие аналитические результаты.

Публикации за 2021-2022 год

ВАК, РИНЦ

1. Жилиякова Л.Ю., Чаплинская Н.В. Исследование полных однородных ресурсных сетей с «жадными» вершинами // Управление большими системами. Выпуск 89. М.: ИПУ РАН, 2021. С.5-44. DOI: <https://doi.org/10.25728/ubs.2021.89.1>
2. Чаплинская Н. В. Исследование полных однородных ресурсных сетей с «жадными» вершинами: зона «достаточного большого» ресурса //Управление большими системами. – 2021. – Т. 90. – С. 49-66. <https://doi.org/10.25728/ubs.2021.90.3>
3. Чаплинская Н. В. Исследование эргодических неоднородных ресурсных сетей с «жадными» вершинами //Управление большими системами. – 2021. – Т. 93. – С. 5-50. <https://doi.org/10.25728/ubs.2021.93.1>

Труды конференций

1. Чаплинская Н.В. Особенности распределения недостаточного ресурса в сетях с «жадными» вершинами / Материалы 14-й Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2021, Дивноморское, Геленджик). Дивноморское, Геленджик: Южный федеральный университет, 2021. Т. 2. С. 81-83. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47482618>
2. Чаплинская Н.В. Ресурсные сети с «жадными» вершинами / Труды 17-й Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2021, Москва). Москва-Звенигород: ИПУ РАН, 2021. С. 287-294. <https://doi.org/10.25728/ubs.2021.027>
3. Чаплинская Н. В. Исследование функционирования ресурсной сети с «жадными» вершинами / Студенческая научная весна. – 2021. – С. 406-408. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46372677>

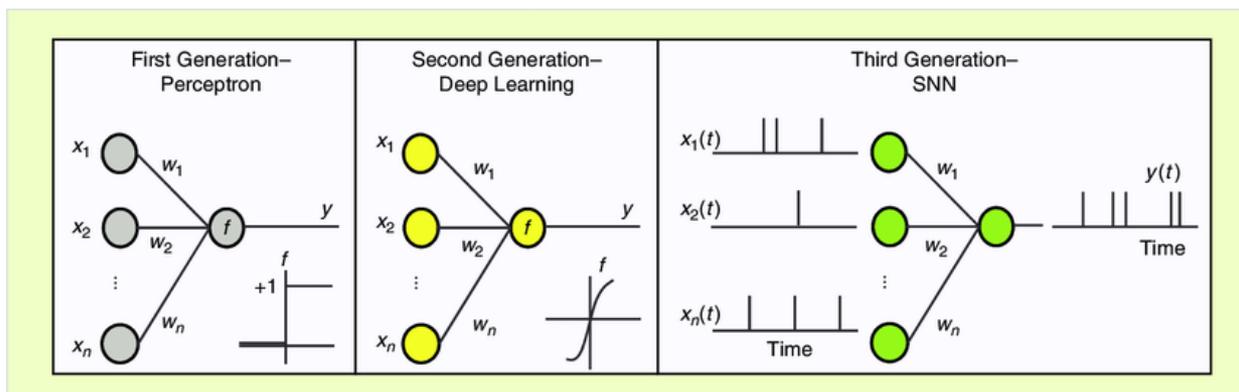
Дальнейшая работа (2022-2023 года)

Область исследования: Спайковые Нейронные Сети

СНС – третье поколение искусственных нейронных сетей (ИНС);

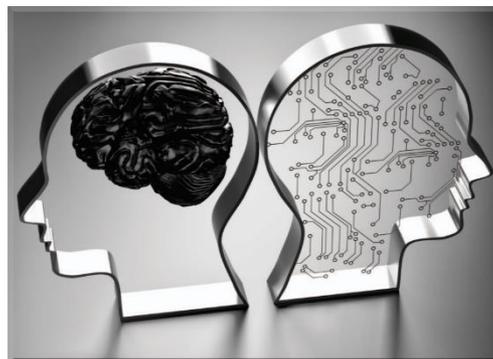
нейроны обмениваются короткими импульсами одинаковой амплитуды;

является самой реалистичной ИНС, с точки зрения физиологии.



Области использования:

- ✓ протезирование
- ✓ робототехника
- ✓ компьютерное зрение
- ✓ тактильное восприятие
- ✓ обработка нейромедицинских данных
- ✓ ...



Аппаратная реализация СНС:

- ✓ Neurogrid
- ✓ BrainScaleS
- ✓ Loihi
- ✓ Tianjic
- ✓ TrueNorth
- ✓ SpiNNaker
- ✓ ...

Планы (2022-2023 года):

Моделирование пластичности синаптических весов и синаптических задержек в спайковых нейронных сетях

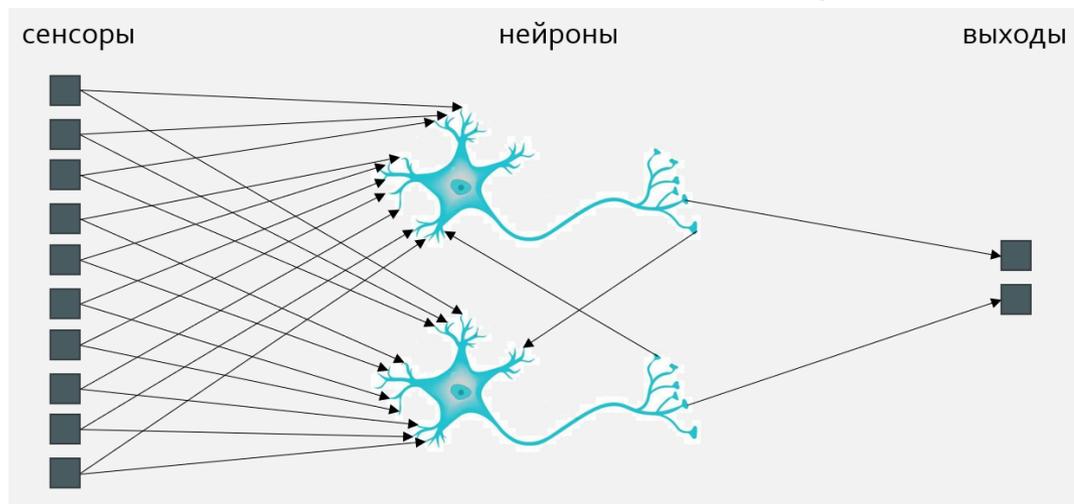
Задача: распознавание образов

Решение 1

- Кодирование: *частотное*
- Правило обучения: *STDP*
- Используемый эффект:
пластичность синаптических весов

Решение 2

- Кодирование: *временное*
- Правило обучения: *собственное*
- Используемый эффект:
пластичность синаптических задержек

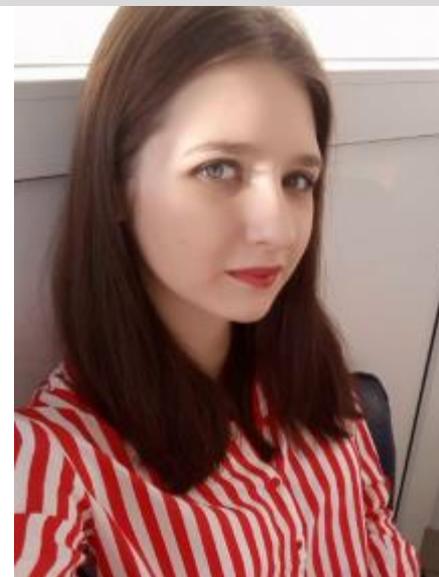


Исследование поведения пользователя в социальной сети на основе моделирования гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов

Нечаева Полина Александровна

Инженер-программист, лаб. 11

студентка НИУ ВШЭ, факультет МИЭМ



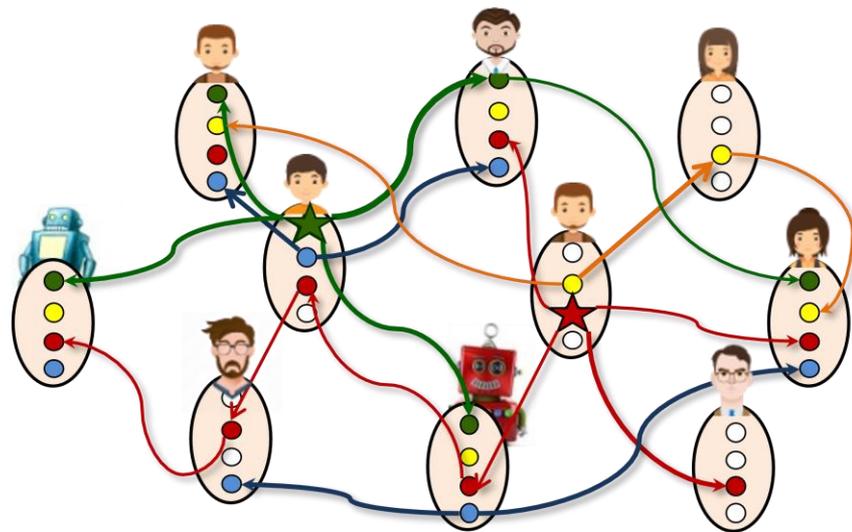
Описание исследования

Цели:

Исследование поведения пользователя в социальной сети на основе моделирования гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов.

Полученные результаты:

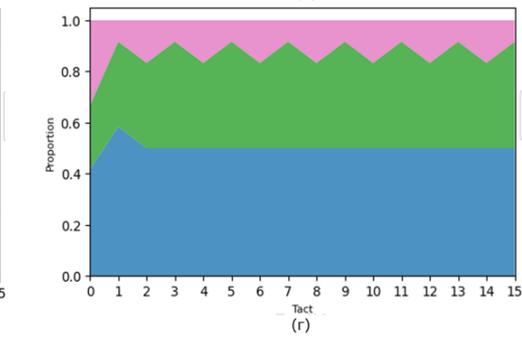
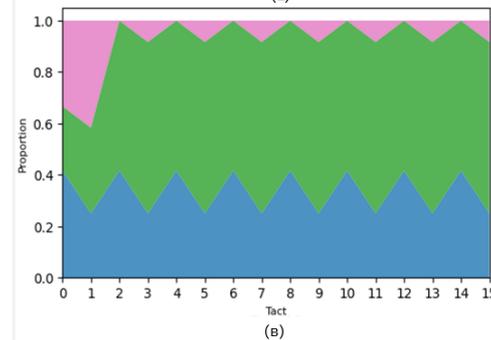
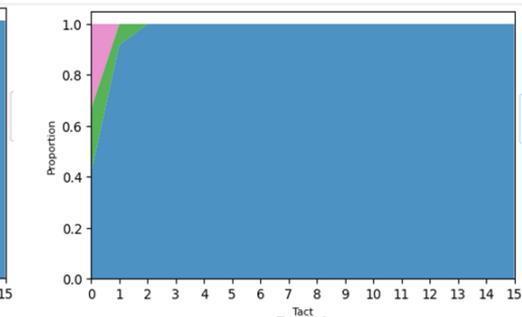
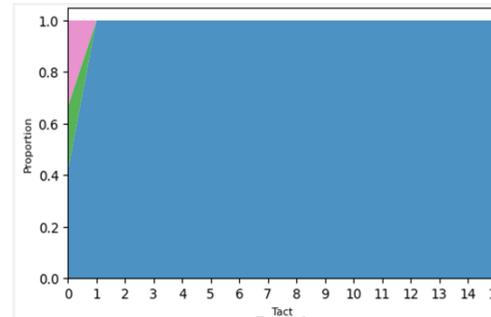
- Проведен обзор существующих моделей распространения активности в социальных сетях.
- Разработано приложение для реализации алгоритмов модели гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов.
- Проведено численное моделирование распространения активности в сетях гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов.



Исследование паттернов активности агентов в сетях

Работа направлена на изучение распространения гетерогенной информации в социальных сетях на основе моделирования взаимодействия пользователей сети, представленных MIMO-агентами с различной структурой.

Для моделирования было разработано веб-приложение для визуализации распространения активности MIMO-агентов в дискретном времени.

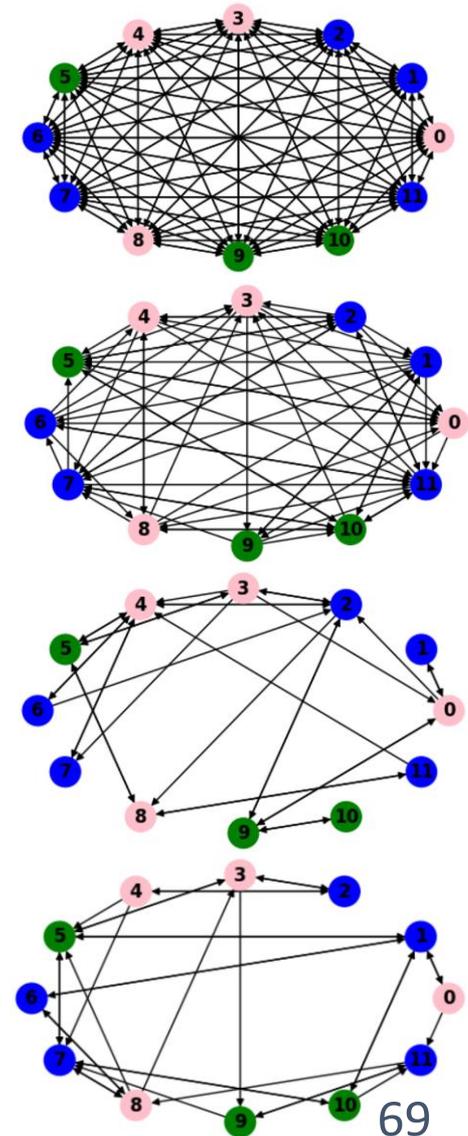


Исследование паттернов активности агентов в сетях

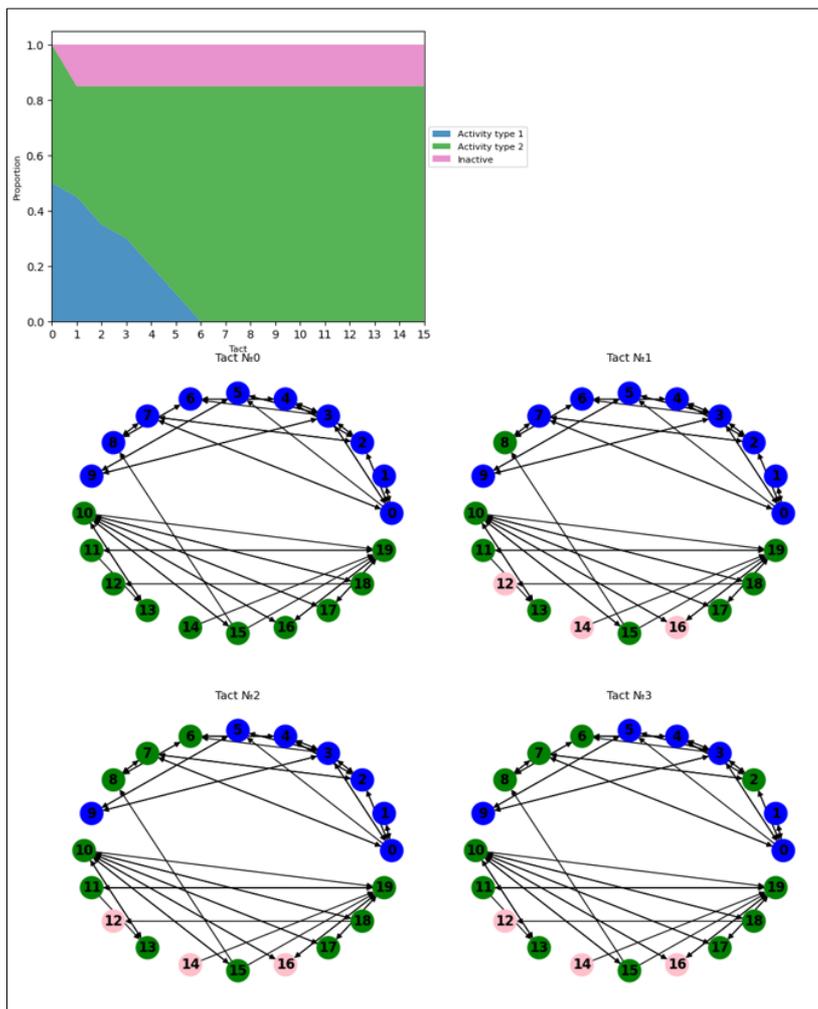
Для проведения численного моделирования была выбрана серия моделей графов:

- Полный граф;
- Модель Эрдеша-Реньи (случайный граф);
- Модель Уоттса-Строгаца (модель тесного мира);
- Модель Барабаши-Альберт (безмасштабные сети).

Были подробно изучены алгоритмы построения выбранных графов и эмпирическим путем подобраны подходящие параметры моделей.



Результаты моделирования



- При увеличении силы влияния одной подсети на другую, увеличивается вероятность распространяя влиятельного типа активности.
- Чем больше узлов в сети, тем больше требуется сила влиятельного агента.
- Увеличение количества агентов одного типа, влияющих на подсеть другого типа, значительно сократит время перехода второй подсети из первого во второй тип.

Публикации

1. Нечаева П. А. Построение и визуализация социального графа пользователя социальной сети / Материалы 14-й Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2021, Дивноморское, Геленджик). Дивноморское, Геленджик: Южный федеральный университет, 2021. Т. 2. С. 230–232.
2. Нечаева П. А. Построение социального графа пользователя социальной сети / Труды 17-й Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2021, Москва). Москва-Звенигород: ИПУ РАН, 2021. С. 253–260.
3. Волгина О. А., Нечаева П. А. Исследование паттернов активности в социальных сетях на основе моделирования гетерогенных взаимодействий ММО-агентов. //Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. – 2022. (В печати, РИНЦ)

Планы

- Проведение экспериментального исследования сетевой динамики и выявление закономерностей в распространении нескольких видов информации среди агентов с разной внутренней структурой, описывающих пользователей с различной структурой предпочтения.
- Масштабирование исследуемых сетей MIMO-агентов.
- Рассмотрение алгоритмов гетерогенного распространения информации MIMO-агентов на других топологиях.
- Проведение аналитического исследования полученных экспериментальных результатов.

Исследование манипулируемости процедур агрегирования для случая большого количества участников

Иванов Александр Александрович
м.н.с. лаб. 25



Проблема манипулирования

Любая недиктаторская процедура агрегирования является манипулируемой (Gibbard, 1973) и (Satterthwaite, 1975) как для одиночного выбора, так и для множественного выбора (когда возможны ничьи) (Duggan and Schwartz, 2000). С тех пор исследовался вопрос, какая процедура агрегирования наименее манипулируемая?

Разновидности моделей:

1. Индивидуальное и коалиционное манипулирование
2. Одиночный выбор (alphabetical tie-breaking) и множественный выбор (расширенные предпочтения участников)
3. Разные вероятностные модели профилей (Impartial Culture, Impartial Anonymous Culture)
4. Разные процедуры и их типы: скоринговые, мажоритарные и т.д.

Работы в этой области: (Chamberlin, 1985), (Aleskerov, Kurbanov, 1999), (Favardin, Lepelley, 2006), (Pritchard, Wilson, 2007), (Xia, Conitzer, 2008), (Diss, 2015), (Diss, Tsvelikhovskiy, 2021) ...

Постановка задачи

В литературе известны два подхода к задаче манипулируемости:

1. Вывод формул для отдельных процедур агрегирования
2. Генерация профилей с помощью компьютерного моделирования
 - (1) – ключевая проблема в том, что требуется выводить отдельные формулы не только для каждой процедуры агрегирования, но и для каждого набора параметров модели
 - (2) – ключевая проблема в сложности моделирования, особенно для случаев коалиционного манипулирования

В подходе (2) в литературе обычно исследовались случаи небольшого количества участников (до 10, до 25, до 100). Задача исследования была в том, чтобы получить результаты для случаев большого числа участников (до 10 тысяч). Исследование разделено на две фазы:

- Разработка алгоритмов для расчётов, получение результатов
- Анализ результатов, сравнение с небольшим количеством участников, поиск новых интересных результатов

Описание модели

$n = 3..10000$ участников

$m = 3, 4$ альтернатив

Каждый участник имеет одно из $m!$ предпочтений (линейных порядков) на множестве альтернатив. Множество участников и их предпочтений составляют профиль P .

Процедура агрегирования $C(P)$ – отображение из множества профилей в множество альтернатив (одиночный выбор) или множество непустых подмножеств множества альтернатив (множественный выбор)

Профиль $P_{insincere}$ - профиль, в котором один участник (индивидуальное манипулирование) или группа участников (коалиционное манипулирование) предъявляют неискренние предпочтения

Манипулирование происходит, если существует хотя бы одна успешная попытка манипулирования в профиле, т.е. такая, что $C(P_{insincere}) \succ C(P)$

Процедуры агрегирования

Список рассматриваемых процедур агрегирования:

1. Правило относительного большинства
2. Одобряющее голосование $q=2$, $q=3$
3. Правило Борда
4. Процедура Блэка
5. Процедура Нансона
6. Процедура Хара
7. Пороговое правило
8. Правило Кумбса
9. Обратное правило относительного большинства
10. Обратное правило Борда

...

Разработанные алгоритмы и модель расчётов позволяют добавлять и другие (новые) процедуры агрегирования, если потребуется рассчитать их манипулируемость

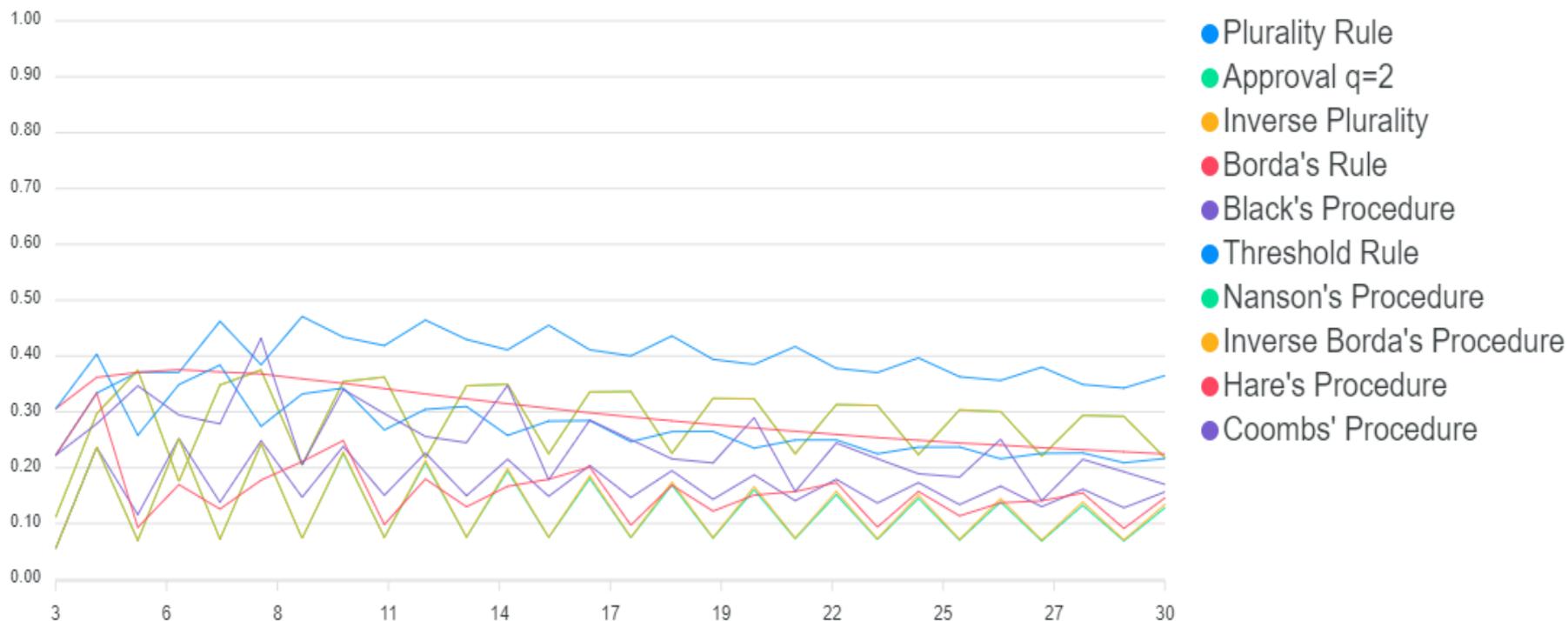
Компьютерное моделирование

1. Рассматриваем различные количества участников (от 3 до 10000)
2. Рассматриваем отдельно случаи 3 и 4 альтернатив
3. Рассматриваем отдельно случаи Impartial Culture и Impartial Anonymous Culture
4. Генерируем для каждого случая 1 миллион случайных профилей в соответствии с рассматриваемой вероятностной моделью (IC или IAC)
5. Для каждого профиля считаем искренние выборы для каждого правила
6. Генерируем все возможные попытки манипулирования
7. Для каждой попытки для каждого правила сравниваем неискренний результат с искренним результатом для каждого варианта построения расширенных предпочтений
8. Профиль считается манипулируемым для заданного правила и расширенного предпочтения, если была хотя бы одна успешная попытка
9. Вычисляем индексы манипулируемости, свободы и эффективности манипулирования, после того как были рассмотрены все попытки манипулирования для всех профилей

Сравнение с литературой

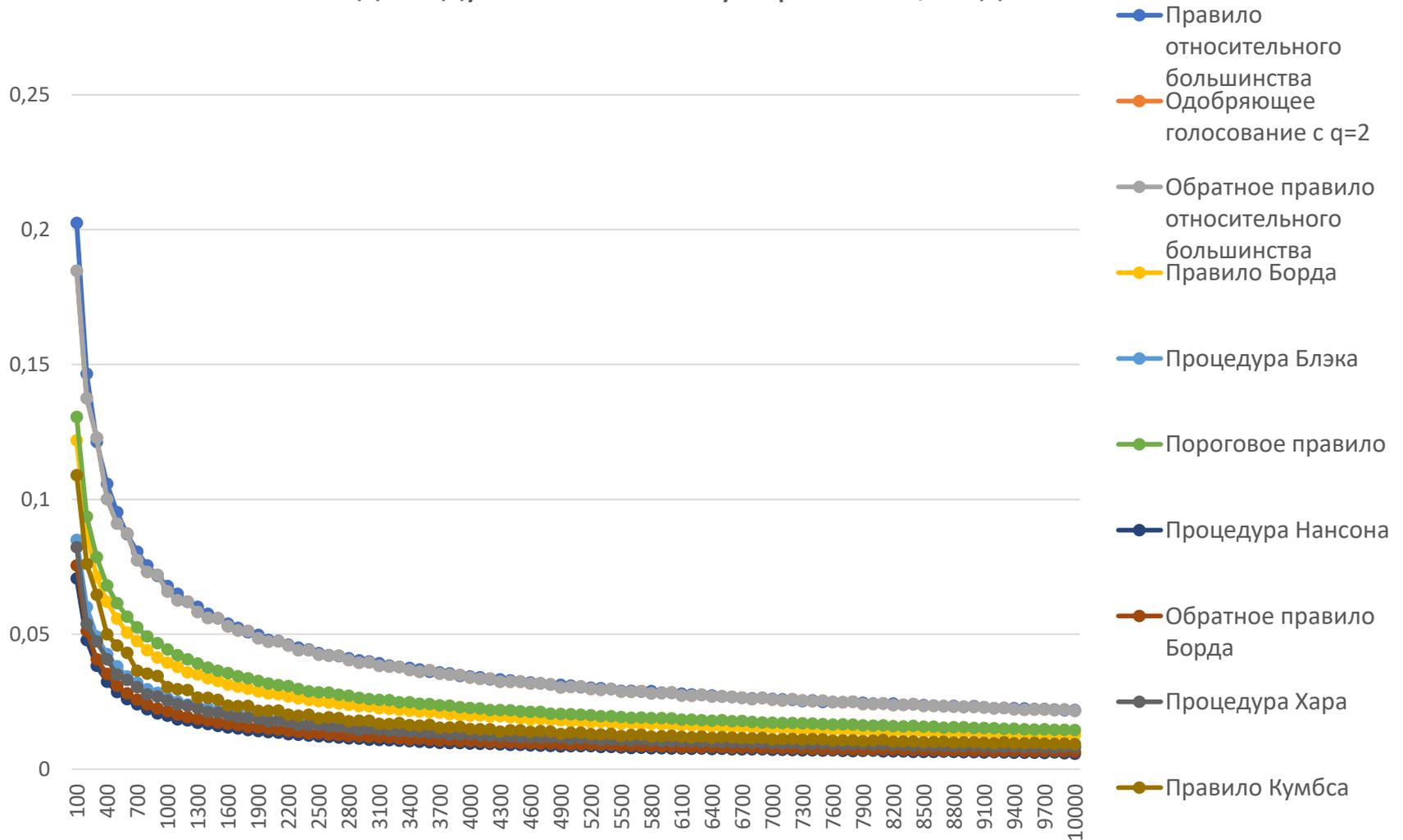
В работах с небольшим количеством участников манипулируемость росла, затем начинала снижаться. Для большого числа участников манипулируемость монотонно снижается.

Для сравнения: ниже график для индивидуального манипулирования для случая до 30 участников



Результаты

Индивидуальное манипулирование, индекс НК



Публикации и дальнейшие планы

Публикации и конференции за год:

1. Конференция «Управление большими системами» (сентябрь 2021). Доклад «Алгоритмы расчёта коалиционной манипулируемости процедур агрегирования»
2. «XXIII Ясинская (Апрельская) международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества», ожидается публикация текста в сборнике
3. Статья «On the Individual and Coalitional Manipulability of q -Paretian rules» в книге «Collective Decision» (издательство Springer), принята к публикации, ожидается индексация в WoS/Scopus

Планы на год:

1. Доделать статью «Manipulability of aggregation procedures for the case of large numbers of voters» (уже есть, куда отправить, с публикацией и индексацией в WoS/Scopus)
2. Сделать статью «On the manipulability by the coalitions with the same first alternative», а также найти, где опубликовать
3. Исследовать асимптотику индексов манипулируемости на основе полученных результатов