

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ
имени В.М. МАТРОСОВА
Сибирского отделения Российской академии наук**

ЛЯПУНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

4–8 декабря 2023 года

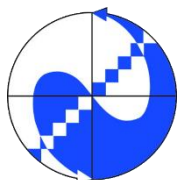
Материалы конференции



А. А. Ляпунов

А. М. Ляпунов

Международная конференция «Ляпуновские чтения – 2023»



Иркутск – 2023

Научное издание

Материалы конференции «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4 – 8 декабря 2023 г.).
– Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2023. – 184 с.

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на 39-й международной конференции «Ляпуновские чтения» (г. Иркутск, 4 – 8 декабря 2023 г.). Конференция организована с целью обсуждения актуальных результатов исследований научных сотрудников, аспирантов и студентов по математике, механике, теории управления, информационным и вычислительным технологиям. В целях популяризации науки в рамках конференции проводится секция для юных исследователей. В 2023 году для обсуждения результатов крупного научного проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» в рамках конференции организована специальная секция «Методы и технологии экологического мониторинга».

Тематика конференции:

- Математическая теория управления
- Дифференциальные уравнения и математическая физика
- Математическое моделирование, системный анализ и оптимизация
- Информационно-вычислительные технологии
- Специальная секция «Методы и технологии экологического мониторинга»
- Специальная секция для школьников

WPS СЕРВИС ВЫДЕЛЕНИЯ СВЯЗНЫХ КОМПОНЕНТ*

Ю.В. Авраменко, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

В ИДСТУ СО РАН была составлена картосхема подстилающей поверхности, охватывающей территорию Иркутской области. Картосхема представляет собой растровое изображение в градациях серого, где каждый пиксель обозначает порядковый номер следующих классов земной поверхности: поле; пастбище; жилая зона; водные объекты; хвойный, лиственный и смешанный лес, редколесье, кустарники, вырубки, скала. Картосхему можно использовать для подсчета статистики или проведения иных исследований. Отметим особенность объектов малой площади, изображенных на картосхеме. К таким объектам можно отнести, например, лужи в населенных пунктах, частные дома, трансформаторные будки и т. д. Для решения многих практических задач такая детальность не требуется. Кроме того, значительный объем детализации картосхемы увеличивает сложность обработки данных.

Сократить число подобных объектов можно при помощи известного метода выделения связных компонент (СК). На вход подается изображение с классифицированными объектами, на выходе получаем изображение где каждому пикселю в составе объекта присвоена уникальная метка – порядковый номер. Идея алгоритма выделения СК состоит в обходе изображения 4 или 8 связной маской для маркировки пикселей в два прохода. На первом каждому объекту изображения присваивается уникальная метка и определяются группы эквивалентных меток. На втором проходе происходит переопределение эквивалентных меток.

Подсчет количества объектов и их обработка может применяться во многих задачах, поэтому был реализован WPS сервис выделения связных компонент, доступный через геопортал ИДСТУ СО РАН. При помощи данного сервиса удалось произвести генерализацию отдельных фрагментов картосхемы подстилающей поверхности на основе измеримых характеристик объекта (площадь, периметр, количество объектов на единицу площади и т. д.) или значимости для данного масштаба. Площадь задается целочисленным значением количества пикселей, а значимость – упорядоченным списком классов объектов. В результате генерализации удалось сократить число объектов на изображении размером 10980 на 10980 пикселей со 100(~80 тыс. объектов) до 40(~26 тыс. объектов). Уменьшение количества объектов на изображении упрощает их обработку и может быть полезно при конвертировании в векторный формат.

* Результаты получены в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту "Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения".

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО «ГЕНЕРАТОРА ПОГОДЫ» ДЛЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ*

М.С. Акентьева, Н.А. Каргаполова, В.А. Огородников
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
akenteva@sscc.ru

В докладе будет представлен стохастический «генератор погоды», разработанный для численного стохастического моделирования пространственно-временного поля комплекса метеорологических параметров на сети из 42 метеостанций, расположенных на Байкальской природной территории и в прилегающих к ней районах. Предложенный «генератор погоды» позволяет строить реализации совместных полей приземной температуры воздуха, скорости ветра и балла облачности с трёхчасовым разрешением и поля полусуточных осадков.

В качестве входных параметров рассматриваемой модели используются одномерные распределения метеорологических параметров и совместная корреляционная матрица. Вид одномерных распределений, их параметры, а также элементы корреляционной матрицы определяются на основе данных многолетних наблюдений на метеостанциях. Оценка входных параметров проводится в предположении, что пространственно-временное поле является неоднородным по пространству и периодически коррелированным по времени. Благодаря использованию такого предположения модель позволяет воспроизводить суточный ход реальных метеопроцессов и их пространственную изменчивость.

Особое внимание в докладе будет уделено специфике используемых алгоритмов моделирования, связанной с большой размерностью моделируемых процессов, их пространственно-временной изменчивостью и тем фактом, что часть моделируемых процессов (а именно, приземная температура воздуха, ортогональные компоненты вектора скорости ветра, количество осадков) рассматривается как случайные процессы с непрерывным множеством значений, а часть (балл облачности) – с дискретным.

В докладе будут представлены результаты верификации «генератора погоды», полученные путём сравнения оценок различных вероятностных характеристик метеопроцессов, построенных по выборкам реальных и модельных данных.

Отдельно будут обсуждаться вопросы, связанные с численной реализацией представленного «генератора погоды» на суперкомпьютере (для проведения расчётов использовались ресурсы Сибирского суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН).

* Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

ТЕРРИКОНЫ И ЭКОЛОГИЯ*

Н.И. Акулов, М.Н. Рубцова, В.В. Акулова, С.И. Штельмах
Институт земной коры СО РАН
akulov@crust.irk.ru

Проблемы экологии окружающей среды Иркутской области связаны не только со стремительной вырубкой леса, мусорными свалками, загрязнением воздуха и воды, но и с терриконами.

В конце 20-го столетия подземный способ добычи каменного угля на Черемховском месторождении постепенно был заменен открытым (карьерным) способом разработки месторождения, который производится на угольных разрезах и в настоящее время. О былой подземной добыче угля на Черемховском месторождении свидетельствуют многочисленные терриконы. Рекордсменами по количеству терриконов считаются Донецкая и Луганская Народные Республики. На их территории расположено более 600 терриконов, из которых около 20% горит и в настоящее время [1].

На территории Черемховского месторождения каменного угля находится восемь больших терриконов. Их высота достигает 30 м, а диаметр основания – 250 м. Черемховские терриконы сложены преимущественно техногенно-переотложенными угленосными породами, представленными юрскими песчаниками, алевролитами и углистыми аргиллитами, которые содержат сульфиды железа в форме пирита и марказита.

В переводе с французского языка террикон означает конический породный отвал или возвышенность, состоящая из обедненных и пустых пород, извлеченных при подземной разработке месторождений угля и других полезных ископаемых.

При извлечении пустой породы из шахт происходит резкая смена условий ее залегания – снижается горное давление, а на пороодообразующие минералы начинает воздействовать атмосферный кислород и вода. Внутри разуплотненной отвальной массы происходит активная работа хемолитотрофных тионовых бактерий (*Thiobacillus ferrooxidans*) с выделением тепла, способствующего развитию низкотемпературного пиролиза. Позднее их отнесли к новому типу бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые стали широко использовать при выщелачивании сульфидных руд в промышленности для производства меди [2].

Деятельность бактерий состоит в том, что они вначале оседают на поверхности сульфидных минералов, а затем в процессе размножения постепенно окисляют их, изменяя свою модификацию. Так, при температуре до 40° активны мезофильные тионовые бактерии (*Thiobacillus ferrooxidans*), до 50° – умеренно-термофильные бактерии (*T. Caldus*; *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*; *S. Acidophilus*), выше 60°С – термофильные (*Sulfolobus acidocaldarius*) [3].

Под воздействием тионовых бактерий в увлажненных условиях в кислой среде из пиритсодержащих углей происходит образование серы с выделением большого количества тепла. Растворенный углекислый газ является источником углерода для развития бактерий, а источником энергии для них являются процессы окисления железа и серы. При самонагревании угленосных пород начинают активизироваться процессы метасоматоза и пиролиза, а при достижении температуры до 120°С сера начинает кипеть и ее пары совместно с парами воды начинают поступать в фумаролы. Происходит глубинное беспламенное горение, которое называют олеумом.

* По данной теме смотрите наш видеofilm: https://www.youtube.com/watch?v=1c79P4_Jj78

Экспериментально установлено, что при нагреве пиролизных пород свыше 248°C пары серы при соединении с кислородом самовоспламеняются и совместно с многочисленными углеводородными продуктами пиролиза начинают активно гореть. При этом биохимический процесс сменяется химическим – пирогенным (рис. 1). Начинается пирометаморфический процесс, в основе которого лежит процесс массопереноса различных компонентов минерального вещества. Главными минералообразующими элементами пирогенного метаморфизма являются Si–Al–Fe–O, а второстепенными – Ca–Mg–S–Ti. В основе пирогенного процесса лежат углеводородные продукты пиролиза, которыми были пропитаны прилегающие к пиролизному очагу отвальные породы [4, 5]. Происходит высокотемпературное плавление обломков пород и перераспределение химических компонентов в тугоплавких обломках. Именно это вызывает образование новых типов минералов – техногенных минералов.



Рис. 1. Пирометаморфизм отвальной массы на одном из терриконов (г. Черемхово, сентябрь 2023 г.)

Пирометаморфизм сопровождается дегидратацией слоистых силикатов, удалением фтора и хлора, удалением угарного и углекислого газов с образованием остеклованных клинкеров и базитовых паралав, температура плавления которых от 1000 до 1250°C. Эти процессы приводят к радикальному изменению фазового состава отвальной массы.

В результате пирогенеза в атмосферу выделяется большое количество газов, образуются многочисленные пустоты (прогары), способствующие обрушению горных пород. Формируется целый комплекс пирогенных образований, который следует выделить в самостоятельную пирогенную формацию, являющуюся одной из разновидностей геологической деятельности – геологической работой огня.

Выполненные нами исследования показали: 1) в продуктах низкотемпературного природного пиролиза господствуют самородная сера и асфальто-смолистые вещества; 2) смолистые вещества представлены 13 классами многоядерных ароматических углеводородов, относящихся к тяжелым нефтяным остаткам, которые могут быть отнесены к гибридным классам углеводородов.

Таким образом, пирогенез – это одна из разновидностей геологической деятельности, представленной геологической работой огня. Под воздействием огня

состав пустой породы меняется с образованием таких горных пород, которые нельзя встретить в природе.

Опасность горящих терриконов для окружающей среды прежде всего связана со взрывами терриконов в результате накопления паров и газов под образовавшейся из-за атмосферных осадков коркой, сопровождающихся иногда и гибелью людей.

Терриконы вносят существенный негативный вклад в загрязнение атмосферы. Под воздействием процессов глубинного тления/горения, в окружающую среду выбрасываются большие объемы угарного газа, сероводорода, мышьяка и других токсичных веществ.

Следует сказать и о размыве терриконов под воздействием дождей. При сильных ветрах происходит пылевое воздействие на прилегающую местность. Ветер продуцирует пылевые бури с поверхности терриконов, на которой из-за отсутствия растительности происходит развитие эрозионных процессов.

Потушить горящий террикон существующими средствами пожаротушения нереально, в силу распространения зоны горения вглубь отвальной массы террикона. Единственный выход в этом случае – это экскаваторная разборка террикона, как это делалось в Кузбассе, в г. Осинники при ликвидации взорвавшегося террикона вблизи школы (рис. 2).



Рис. 2. Экскаваторная разборка горящего террикона
(г. Осинники, Кузбасс, август 2012 г.)

Создание терриконов в жилых зонах и местах регулярной жизнедеятельности человека и животных недопустимо, как недопустимы бесконтрольное жилищное строительство и расселение людей вблизи терриконов. В настоящее время разборка старых терриконов и захоронение техногенно-переотложенных угленосных пород на угольных разрезах производится в карьерах, а при работе в шахтах – в пустые подземные горные выработки. Современная добыча угля на угольных разрезах Черемховского месторождения сопровождается приповерхностным захоронением отвальной массы, которую относят к производственным отходам V класса опасности.

Однако терриконы являются не только источником бедствий, но и богатства. В некоторых горелых породах терриконов встречается существенное количество германия. Горелые породы можно использовать как один из компонентов при отсыпке дорог и производстве цемента.

В процессе рекультивации земель терриконы являются объектами озеленения. На них в большом количестве высаживают деревья с целью приостановить разрушение терриконов от воздействия эрозионных и гравитационных процессов.

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что современное состояние Черемховских терриконов определяет геоэкологическую обстановку не только территории города Черемхово, но и прилегающих к нему районов.

1. Воробьев А.Е. Технологии воспроизводства минеральных ресурсов в литосфере // Горный журнал. № 5. 2000. С. 3–5.
2. Williams, K.P., Kelly, D.P. Proposal for a new Class within the Proteobacteria, the Acidithiobacillia, with the Acidithiobacillales as the type Order // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2013. № 63 (Pt 8): 2901–2906.
3. Воробьев А.Е., Портнов В.С., Маусымбаева А.Д., Бекетова М.С. Изменение качества углеродной массы в терриконах // Труды университета Республики Казахстан. 2016. № 3 (64). С. 61–65.
4. Акулов Н.И., Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Самовозгорание техногенно-переотложенных угленосных отложений Кузбасса // Уголь. 2022. № S12. С. 53–59. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-53-59>.
5. Akulov N.I., Akulova V.V. Pyrolysis of Technogenic-redeposited Coal-bearing Rocks of Spoil Heaps // Geosciences 2020. 10. 122. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences10040122>

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА КОНФИГУРАЦИЙ ТОЧЕК НА ЕДИНИЧНОЙ СФЕРЕ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Н.Н. Андреев¹, А.Ю. Горнов²

¹Математический институт им. В.А. Стеклова РАН

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
andreev@etudes.ru, gornov@icc.ru

Еще более ста лет назад известный английский физик Джозеф Джон Томпсон, учитель Эрнеста Резерфорда, опытным путем – с применением физических экспериментов – пытался определить наилучшие конфигурации зарядов на сфере. В соответствии с законом Кулона, потенциальная энергия системы из N зарядов, расположенных на единичной сфере, равна $W = 1/2 \sum_{i \neq j} q_i q_j / |r_i - r_j|$ (см., напр., [1]). Для случая одинаковых зарядов можно сформулировать модельную функцию $f(x) = 1/2 \sum_{i,j=\overline{1,N}} 1/\sqrt{\sum_{k=1}^3 (x_i^k - x_j^k)^2}$, минимум которой дает ответ на поставленный вопрос при условии: $(x_i^1)^2 + (x_i^2)^2 + (x_i^3)^2 = 1, i = \overline{1,N}$. Решение задачи при $N = 2, 3, 4$ в трехмерном пространстве является тривиальным. Для $N = 6$ и $N = 12$ решение получено в [1].

В докладе обсуждается предложенная многометодная технология численного решения рассматриваемой задачи при различных N и сами эти решения. Для редукции исходной задачи к задаче безусловной минимизации применялось нелинейное преобразование $x_i^j = y_i^j / \sqrt{\sum_{j=1}^3 (y_i^j)^2}$, $i = \overline{1,N}, j = \overline{1,3}$, позволившее перейти к новой функции $h(y)$ и достаточно точно выполнить условие залегания точки на единичной сфере. Привнесенная этим преобразованием вычислительная особенность, связанная с обнулением знаменателя, привела к отказу целого ряда оптимизационных методов, сталкивающихся в процессе расчетов с авостной ситуацией. Тем не менее удалось выбрать из доступной библиотеки набор работоспособных алгоритмов, на основе которых была построена надежная многометодная вычислительная схема. Полученные решения для задачи с 6 и 12 точками в принципе совпадают с решением, приведенным в [1]. С ростом размерности задачи достаточно существенно ухудшается обусловленность функционала. В связи с этим при размерностях 300 и более представленные цифры следует считать верхней оценкой оптимальных значений (табл. 1).

Таблица 1. Результаты вычислительных экспериментов для модельной функции $f(x)$.

Число точек	Оптимальное решение
2	0.500000
3	1.732051
4	3.674235
5	6.474691
6	9.985281
7	14.452977
8	19.675288
9	25.759986
10	32.716949
11	40.596450
12	49.165253
20	150.881568
50	1055.1823
100	4448.4785
300	< 42138.708
500	< 118895.3
1000	< 514018.5

Рассматриваемая задача может служить, на наш взгляд, прекрасным тестом для новых алгоритмов оптимизации.

1. Андреев Н.Н., Конягин С.В., Стечкин С.Б., Юдин В.А. Конструктивная теория функций и экстремальные задачи // Российская наука. Выстоять и возродиться, Наука, М.: Физматлит, 1997. С. 18–23.

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МАКСИМИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

М.В. Баркова, А.С. Стрекаловский

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
mbarkova@icc.ru, strekal@icc.ru

Рассматривается задача максимизации излучения фазированных антенных решеток (ФАР) в заданном направлении при ограничениях, накладываемых на мощность, подаваемую на каждый из излучателей. Эта задача может быть сформулирована в вещественных числах в следующем виде [1]:

$$\begin{cases} \langle x, Q_0 x \rangle \uparrow \max_x, x \in \mathbb{R}^n, \\ 0 \leq \langle x, Q_i x \rangle \leq 1, i \in I = \{1, \dots, m\}, \end{cases} \quad (P)$$

где матрица целевой функции $Q_0 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ положительно определенная, а матрицы ограничений $Q_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $i \in I$ знаконеопределенные.

Возникающая при проектировании антенных систем, задача максимизации излучения ФАР является одной из актуальных задач и вызывает интерес у исследователей из-за возможности изменения излучения ФАР в заданном направлении путем выбора фазы и амплитуды для каждого излучателя. Сложность такой задачи в случае коротковолнового диапазона заключается как во взаимном влиянии излучателей друг на друга, так и в ограничениях на мощность, подаваемую на каждый из излучателей. Более того, при формулировке в вещественных числах в виде задачи (P), задача максимизации излучения фазированных антенных решеток оказывается невыпуклой задачей оптимизации (максимизируется выпуклая функция, на множестве, заданном невыпуклыми ограничениями-неравенствами), для решения которой может быть применена теория глобального поиска [2].

Задача (P) записывается в эквивалентном виде задачи оптимизации с DC ограничениями-неравенствами:

$$\begin{cases} f_0(x) = -h_0(x) \downarrow \min_x, x \in \mathbb{R}^n, \\ f_i(x) = h_i(x) - g_i(x) \leq 0, i \in I, \\ f_j(x) = g_j(x) - h_j(x) - 1 \leq 0, j \in I, \end{cases} \quad (P1)$$

и затем сводится к следующей оштрафованной задаче без ограничений [2]:

$$F_\sigma(x) = -h_0(x) + \sigma W(x) \downarrow \min_x, x \in \mathbb{R}^n \quad (P_\sigma)$$

где $W(x) := \max\{0, f_i(x), i \in I, f_j(x), j \in I\}$ – штрафная функция, а $\sigma \geq 0$ – параметр штрафа. Кроме того, для решения задачи (P_σ), которая оказывается задачей DC минимизации, применена теория глобального поиска [3]. Проведено численное тестирование разработанного подхода на задачах размерности от 8 до 50 из [1] для различных конструкций антенн. Сравнение с результатами, полученными с помощью известного пакета прикладных программ, подтверждает преимущество предложенного подхода при решении практических задач оптимизации.

1. Eremeev A. V., Tyunin N. N., Yurkov A. S. Non-Convex Quadratic Programming Problems in Short Wave Antenna Array Optimization // LNCS. 2019. V. 11548.P. 34–45.
2. Strekalovsky A.S. Global optimality conditions and exact penalization // Optim. Lett. 2019. V. 13. P. 597–615.
3. Стрекаловский А.С. Минимизирующие последовательности в задаче DC оптимизации с ограничениями // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, № 3. С. 185–209.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ ПО БОРЬБЕ С ПРЕСТУПНОСТЬЮ

Е.П. Бокмельдер¹, А.Ю. Горнов²

¹Иркутский государственный университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

gornov@icc.ru

При планировании государственных инвестиций в социальные проекты одной из проблем является, на наш взгляд, введение дополнительных ограничений на отдельные компоненты капиталовложений, а возникающие при этом экономические эффекты оцениваются недостаточно обоснованно. В докладе рассматривается разработанная нами ранее инвестиционная модель, применимость которой была проверена в целом ряде экономических проектов (см., напр., [1, 2]). Задачей исследования являлась оценка влияния ограничений (u_{\max}) на общую эффективность проекта по борьбе с преступностью. Динамика процесса описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = k_1 + k_2 \exp(-\eta u_1) - \mu_1 x_1 - \mu_2 x_1 (1 - \exp(-\lambda u_2)) - E,$$

$$\dot{x}_2 = 2.54E + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1 \exp(-m u_4) - \delta x_2, \quad E = (\alpha_1 + \alpha_2 \exp(-n u_3)) x_1^2 x_2,$$

$$k_1 = 0.004, k_2 = 0.00293, \eta = 2, \mu_1 = 0.0693, \mu_2 = 0.03, \lambda = 4, \beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.149,$$

$$m = 3, \delta = 0.0693, \alpha_1 = 0.3, \alpha_2 = 0.46,$$

$$n = 15, A = 200, C = 10, x(0) = (0.10, 0.30), t \in [0, 100], 0 \leq u_i(t) \leq u_{\max}, i = \overline{1,3},$$

$$I_0(u) = \int_0^{100} e^{-rt} \left(Ax_1(t) + Cx_2(t) + \sum_{i=1}^4 u_i(t) \right) dt.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1, сформулированы следующие выводы:

- 1) эффективность вложения средств выше в начальный период времени;
- 2) дополнительные ограничения на компоненты управления малопродуктивны;
- 3) менее половины требуемых денег не позволяют достичь поставленных целей.

Таблица 1. 1 столбец – ограничение на управления, 2 столбец – первый показатель в конце процесса, 3 столбец – 2 показатель в конце процесса, 4 столбец – достигнутое значение целевого функционала, 5 столбец – суммарный размер инвестиций

u_{\max}	$x_1(T)$	$x_2(T)$	$I(u^*)$	$\sum_{i=1}^3 u_i$
10.0	5.10111e-02	1.57989e-01	3.77257e+02	4.38582e+01
1.0	5.10807e-02	1.58773e-01	3.77363e+02	4.24342e+01
0.9	5.13182e-02	1.60527e-01	3.77964e+02	4.00857e+01
0.8	5.17545e-02	1.63078e-01	3.79225e+02	3.77419e+01
0.7	5.23704e-02	1.66531e-01	3.81290e+02	3.54090e+01
0.6	5.31691e-02	1.70877e-01	3.84358e+02	3.28462e+01
0.5	5.42087e-02	1.76609e-01	3.88996e+02	2.89144e+01
0.4	5.64815e-02	1.85688e-01	3.96512e+02	2.39990e+01
0.3	5.95287e-02	1.99759e-01	4.08241e+02	1.89707e+01
0.2	6.44866e-02	2.18386e-01	4.26091e+02	1.37336e+01
0.1	7.03697e-02	2.58479e-01	4.53098e+02	7.34470e+00

1. Behrens D., Caulkins J.P., Tragler G., Haunschmied J.L., Feichtinger G. A dynamic model of drug initiation: implications for treatment and drug control // Math.Biosciences, 1999. V. 159. P. 1–20.
2. Горнов А.Ю., Бокмельдер Е.П., Файхтингер Г. Моделирование и численное решение социально-экономических задач с учетом возрастной специфики // Межд. симпозиум «Обобщенные решения в задачах управления». Переславль-Залесский, 2002. С. 160–165.

ПОДХОДЫ К ЧИСЛЕННОМУ РЕШЕНИЮ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ С ТОЖДЕСТВЕННО ВЫРОЖДЕННОЙ ГЛАВНОЙ ЧАСТЬЮ

М.В. Булатов

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

mvbul@icc.ru

В докладе представлены результаты по численному решению дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ) [1-10], интегральных и интегро-алгебраических уравнений (ИАУ) [11-22]. Дано детальное описание коллокационно-вариационному подходу и конечно-разностным методам. В статьях [2, 7, 8] представлены результаты по коллокационно-вариационному подходу.

В [3, 4] предложено представить ДАУ в несколько ином виде (интегральный аналог) и для полученной задачи применять методы, основанные на известных формулах. Приведено сравнение данного подхода со стандартными многошаговыми методами. В статьях [9, 10] рассмотрены ДАУ второго порядка. В терминах матричных полиномов приведены достаточные условия существования и единственности решения.

Статьи [12, 18] посвящены численному решению интегральных уравнений второго рода, первого рода [19] и ИАУ [11, 13, 15]. В [17, 20] рассмотрены двумерные ИАУ, приведены достаточные условия существования и единственности решения и конечно-разностные алгоритмы невысокого порядка.

Статьи [16, 21, 22] посвящены прикладным задачам.

1. Bulatov M., Solovarova L. On self-regularization properties of a difference scheme for linear differential-algebraic equations // *Applied Numerical Mathematics*. 2018. Vol. 130. pp. 86–94.
2. Bulatov M., Solovarova L. Collocation-variation difference schemes with several collocation points for differential-algebraic equations // *Applied Numerical Mathematics*. 2020. Vol. 149. pp. 153–163.
3. Bulatov M.V., Linh V.H., Solovarova L.S. Block Difference Schemes of High Order for Stiff Linear Differential-Algebraic Equations // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2019. Vol. 59, №7. pp. 1049-1057.
4. Bulatov M.V., Linh V.H., Solovarova L.S. On BDF-based multistep schemes for some classes of linear differential-algebraic equations of index at most 2 // *Acta Mathematica Vietnamica*. 2016. Vol. 41, №4. pp. 1–16.
5. Bulatov M.V., Linh V.H., Truong N.D. Convergence analysis of linear multistep methods for a class of delay differential-algebraic equations // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software*. 2018. Vol. 11, №4. pp. 78-93.
6. Bulatov M.V., Phat V.N., Muoi N.H. Robust finite-time stability of linear differential-algebraic delay equations // *Linear Algebra and its Applications*. 2015. Vol. 487. pp. 146-157.
7. Bulatov M.V., Rakhvalov N.P., Solovarova L.S. Numerical solution of differential-algebraic equations using the spline collocation-variation method // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2013. Vol. 53, №3. pp. 284–295.
8. Bulatov M.V., Solovarova L.S. Collocation-variation difference schemes for differential-algebraic equations // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2018. Vol. 41, №18. pp. 9048–9056.
9. Bulatov M.V., Solovarova L.S. On Systems of Integro-Differential and Integral Equations with Identically Singular Matrix Multiplying the Principal Part // *Differential Equations*. 2022. Vol. 58. pp. 1217–1224.
10. Bulatov M.V., Solovarova L.S. Multistep Methods for Second-Order Differential-Algebraic Equations // *Differential Equations*. 2023. Vol. 59, №3. pp. 392–403.
11. Botoroeva M.N., Budnikova O.S., Bulatov M.V., Orlov S.S. Numerical Solution of Integral-Algebraic Equations with a Weak Boundary Singularity by k-step Methods // *Journal Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2021. Vol. 61, №11. pp. 1787–1799.

12. Botoroeva M.N., Bulatov M.V. Stability Analysis of Nonclassical Difference Schemes for Nonlinear Volterra Integral Equations of the Second Kind // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2023. Vol. 63, №6. pp. 919–928.
13. Bulatov M.V., Budnikova O.S. An Analysis of Multistep Methods for Solving Integral-Algebraic Equations: Construction of Stability Domains // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2013. Vol. 53, №9. pp. 1260–1271.
14. Bulatov M.V., Chistyakov V.F. The Index and Split Forms of Linear Differential-Algebraic Equations // *Bulletin of Irkutsk State University-Series Mathematics*. 2019. T. 28. C. 21–35.
15. Bulatov M.V., Hadizadeh M., Chistyakova E.V. Construction of implicit multistep methods for solving integral algebraic equations // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 10. Prikladnaya Matematika Informatika Protsessy Upravleniya*. 2019. Vol. 15, №3. pp. 310–322.
16. Bulatov M.V., Lima P.M., Thanh Do Tien An integral method for the numerical solution of nonlinear singular boundary value problems // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*. 2015. Vol. 8, №4. pp. 5–13.
17. Bulatov M.V., Lima P.M., Weinmuller E.B. Existence and uniqueness of solutions to weakly singular integral-algebraic and integro-differential equations // *Central European Journal of Mathematics*. 2014. Vol. 12, №2. pp. 308–321.
18. Bulatov M.V., Machkhina M.N. Features of behavior of numerical methods for solving Volterra integral equations of the second kind // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2014. Vol. 54, №3. pp. 505–511.
19. Bulatov M.V., Markova E.V. Collocation-Variational Approaches to the Solution to Volterra Integral Equations of the First Kind // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2022. Vol. 62, №1. pp. 98–105.
20. Farahani M., Hadizadeh M., Bulatov M.V., Chistyakova E.V. Adaptive iterative regularization schemes for two-dimensional integral-algebraic systems // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2019. Vol. 42, №18. pp. 6635–6647.
21. Lima P.M., Bellour A., Bulatov M.V. Numerical solution of integro-differential equations arising from singular boundary value problems // *Applied Mathematics and Computation*. 2018. Vol. 336. pp. 1–15.
22. Solodusha S., Bulatov M. Integral equations related to volterra series and inverse problems: Elements of theory and applications in heat power engineering // *Mathematics*. 2021. Vol. 9, №16

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В СРЕДЕ MATLAB

А.П. Васиченко

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
svasichenko@mail.ru

Изучение беспилотников является актуальной и востребованной задачей. Испытание новых летательных аппаратов всегда связано с рисками его поломки. Компьютерное моделирование в специальных средах позволяет помочь выявить явные дефекты, с которыми может столкнуться беспилотный летательный аппарат (БПЛА). В данной работе с помощью дифференциальных уравнений описана система квадрокоптера в виртуальной среде Matlab.

Математическое моделирование движения БПЛА осуществляется в среде Matlab. Matlab – это платформа программирования, разработанная специально для инженеров и ученых с целью анализа и проектирования систем. Matlab использует матричный язык, позволяющий наиболее естественно выразить вычислительную математику. В данной среде исследование движения, траектории и замер параметров квадрокоптера происходит в реальном времени.

Квадрокоптер представляет собой жёсткую раму, которая имеет на своём борту четыре независимых вентильных двигателя. Расположение вращения лопастей представлено так, чтобы соседние двигатели вращались в противоположную сторону для каждого вентиля. Таким образом, два двигателя вращаются по часовой, два – против часовой стрелки. Квадрокоптер состоит из жёсткой рамы, четырех вентильных двигателей, полётного контроллера, аккумулятора, передатчика сигнала управления.

Согласно теории твердого тела и теореме Ньютона–Эйлера, моделирование динамики квадрокоптера делится на две части: поступательное движение и вращательное. В моделировании учитывается взаимное влияние воздушного потока между роторами, сопротивление воздуха, испытываемое квадрокоптером, эффект гироскопа квадрокоптера и эффект гироскопа тела. Исходя из вышеизложенного, можно получить модели кинематики и динамики твердого тела для всей системы.

В настоящей работе описана математическая модель квадрокоптера, управляющие части, система земных координат, система координат твёрдого тела, внешние воздействия на систему. Результаты исследования модели представлены в реальном времени при выполнении частных задач.

Входные значения могут подаваться на все двигатели одинаково или на каждый по отдельности, в зависимости от поставленной задачи. Измерение параметров скорости вращения роторов, углов наклона квадрокоптера и расположения координат твёрдого тела происходит во время симуляции модели. Система должна быть приближена к реальной, таким образом, на систему оказывается сила тяжести, сила притяжения.

1. Luukkonen, T. Modelling and control of quadcopter / T. Luukkonen // School of Science. 2011. 26 p.
2. Elyalaoui, K. On Novel Fractional-Order Trajectory Tracking Control of Quadrotors: A Predefined-Time Guarantee Performance Approach / K. Elyalaoui, M. Labbadi, S. Boubaker, S. Kamel, F.S. Alsubaei // Mathematics. 2023. 11. 3582.
URL: <https://doi.org/10.3390/math11163582>
3. Гэн, К. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера [Электронный ресурс] / К. Гэн, Н.А. Чулин // Наука и образование МГТУ. 2015. № 5. С. 218–235. – URL: <http://engineering-science.ru/doc/771076.html>.

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПСЕВДОПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

А.В. Велисевич, А.Ш. Любанова
Сибирский федеральный университет
avelisevich@sfu-kras.ru, lubanova@mail.ru

Рассматривается стабилизация сильного решения обратной задачи для псевдопараболического уравнения к решению соответствующей стационарной задачи.

Задача 1. Для заданных функций $f(t, x)$, $U_0(x)$, $\beta(x)$, $h(x)$, $\varphi(t)$ и постоянной η найти пару неизвестных функций $(u(t, x), k(t))$, удовлетворяющих уравнению

$(u - \eta(\operatorname{div}(M(x)\nabla u) - m(x)u))_t - \operatorname{div}(M(x)\nabla u) + m(x)u + k(t)u = f$,
начальному условию

$$(u - \eta(\operatorname{div}(M(x)\nabla u) - m(x)u)|_{t=0} = U_0(x),$$

граничному условию

$$u|_{\partial\Omega} = \beta(t, x)$$

и условию переопределения

$$\int_{\partial\Omega} \left\{ \eta \frac{\partial u_t}{\partial N} + \frac{\partial u}{\partial N} \right\} h(t, x) ds = \varphi(t).$$

Здесь $\Omega \in \mathbb{R}^n$ – ограниченная область с границей $\partial\Omega$, $t \in (0, T)$, $M(x) = m_{ij}(x)$ – матрица функций $m_{ij}(x)$, $i, j = 1, \dots, n$; $m(x)$ – скалярная функция, $\frac{\partial}{\partial N} = (M(x)\nabla, \mathbf{n})$, \mathbf{n} – единичный вектор нормали к границе $\partial\Omega$. Асимптотическое поведение решения $(u(t, x), k(t))$ рассматривается при $t \rightarrow \infty$.

Задача 2. Для заданных функций $f^\infty(t, x)$, $\beta^\infty(x)$, $h^\infty(x)$ и постоянной μ найти пару из функции u^∞ и константы k^∞ , удовлетворяющую уравнению

$$-\operatorname{div}(M(x)\nabla u^\infty) + m(x)u^\infty + k^\infty u^\infty = f,$$

граничному условию

$$u^\infty|_{\partial\Omega} = \beta^\infty(x)$$

и условию переопределения

$$\int_{\partial\Omega} \frac{\partial u^\infty}{\partial N} h^\infty(x) ds = \mu^\infty.$$

Основным результатом работы являются достаточные условия стабилизации сильного решения $\{u, k\}$ задачи 1 к решению $\{u^\infty, k^\infty\}$ задачи 2. Под этим понимается то, что $\|u - u^\infty\|_{W_2^2(\Omega)} \rightarrow 0$, и $|k(t) - k^\infty| \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Существование и единственность сильных решений данных задач доказываются в [1-2] методом, суть которого состоит в продолжении данных с границы в область и сведении [3] обратной задачи к операторному уравнению $Ak = k$ второго рода, для неизвестного коэффициента k . Практический интерес к данным задачам обусловлен тем фактом, что в многочисленных приложениях коэффициенты исходных уравнений характеризуют физические свойства среды: проницаемость, теплопроводность и так далее. В рассмотренных задачах неизвестным является коэффициент поглощения.

1. Любанова А.Ш. Обратная задача для нелинейного псевдопараболического уравнения типа фильтрации // Журнал Сибирского Федерального Университета: Математика и Физика. 2017. Т. 10, № 1. С. 4–15.
2. Lyubanova A.Sh., Velisevich A.V. Inverse problems for the stationary and pseudoparabolic equations of diffusion // Applicable Analysis. 2019. V. 98. P. 1997–2010.
3. Prilepko A.I., Orlovsky D.G., Vasin I.A. Methods for solving inverse problems in mathematical physics. New York: Marcel Dekker Inc. 2000.

ПОДСИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ТЕМАР

Е.Р. Викулова, А.А. Толстихин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
vikulizavet85@gmail.com

LIDAR – Light Detection and Ranging – это технология, использующая лазерный луч для измерения расстояния до объектов. В робототехнике он используется для создания карты окружающей среды и определения местоположения робота в пространстве. LIDAR сканирует окружающую среду, измеряя расстояние до объектов и создавая точную 3D-карту. Это позволяет роботу определять свое местоположение и перемещаться по пространству без столкновений с препятствиями [1]. LIDAR также используется в автономных автомобилях для обнаружения других транспортных средств и пешеходов на дороге, аэрокосмической промышленности, геодезии, картографии и других областях.

В комплексе ТЕМАР [2] нет возможности использовать полноценный LIDAR из-за его высокой стоимости, сложности установки и отсутствия готовых решений для исследовательского пакета. Вместо этого будет произведена его симуляция с использованием доступных модулей и интеграция в систему.

Для решения данной проблемы был разработан подход для нахождения и идентификации препятствия на сцене с помощью готовой системы видеокамер. Информация об этих препятствиях обрабатывается программным модулем, симулирующим работу LIDAR, и передается роботу, который может использовать ее для навигации и избегания препятствий. Такой подход позволяет получить точную карту окружающей среды и обеспечить безопасное перемещение робота в любых условиях, как если бы работал полноценный LIDAR.

Исходя из принципа работы LIDAR, очевидным способом его программной симуляции является технология ray tracing [3]. Данный подход основывается на отслеживании пути света от источника до камеры, что позволяет определить, какие объекты находятся на траектории этих лучей. Наиболее частое его применение – создание реалистических изображений в компьютерной графике [4]. Однако, принимая в качестве камеры местоположение робота на стенде, данная технология может быть применена для симуляции лидара. Наиболее простым в реализации способом является итеративное построение лучей в заданном секторе с малым шагом до тех пор, пока не будет обнаружено их пересечение с препятствием. Альтернативами такому подходу могут являться метод динамического шага, использование равномерной сетки или переход в фазовое пространство. Тем не менее каждый из них требует внесения значительных изменений в архитектуру ТЕМАР, из-за чего их реализация на данном этапе разработки неоправданна.

Получена первая итерация модуля симуляции LIDAR. В настоящее время ведется работа над дальнейшим улучшением этого модуля, нацеленная на повышение частоты обрабатываемых кадров и увеличения точности передаваемых роботам данных.

1. Xieyuanli Chen. Range Image-based LiDAR Localization for Autonomous Vehicles/ Ignacio Vizzo, Tomas Lade, Jens Behley, Cyrill Stachniss, 2021.
2. Kostylev D.A., Tolstikhin A.A., Ul'yanov S.A. Development of the complex modelling system for intelligent control algorithms testing // Proc. Intern. Conf. 42nd International Convention MIPRO 2019. Opatija: MIPRO, 2019. Vol. 1. N. 1. P. 109–1096.
3. Ульянов А.Ю. Метод трассировки лучей как основная технология фотореалистичного рендеринга/ А.Ю. Ульянов, Л.А. Катюжанский, Н.Г. Рыжкова//Фундаментальные исследования. 2015. № 11 (часть 6). С. 1124–1128.
4. A. Schmitt, H. Muller, W. Leister Ray Tracing Algorithms – Theory and Practice, In book: Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD (pp.997-1030) Publisher: Springer Verlag.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ГРУПП СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ» НА ОСНОВЕ API

Г.А. Воловиков, А.Г. Балахчи
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»
jezv@ya.ru, ftt@ya.ru

Исследование данных из социальных сетей позволяет лучше понять как поведение людей, так и влияние самих социальных сетей на общество, включая понимание моделей голосования, мобильности и передвижения, а также реакции на стихийные бедствия, чрезвычайные ситуации и пандемии. Данные социальных сетей стали чрезвычайно ценным и привлекательным ресурсом для исследователей, поскольку массивы информации легко доступны через интерфейс прикладного программирования платформы (API) – официальный канал, который позволяет отдельным лицам извлекать опубликованный в социальных сетях контент. API ВКонтакте (VK) предоставляет исследователям широкий спектр возможностей для взаимодействия с социальной сетью. С помощью этого интерфейса программирования приложений можно получать информацию о пользователях, их друзьях, группах, а также взаимодействовать с контентом, таким как фотографии, видео и аудиозаписи. API также предоставляет функции для работы с сообщениями, новостной лентой, группами и приложениями.

Для того, чтобы исследователь: социолог, психолог, маркетолог и т. п., мог извлечь полезную информацию из данных социальной сети, программист должен собрать данные, очистить их и построить на их основе понятные для интерпретации соответствующим специалистом визуализации. Целью данной работы являлось создание приложения, которое позволяет автоматизировать сбор, обработку и визуализацию данных из социальной сети ВКонтакте без привлечения программистов. Для работы приложения достаточно указать в окне интерфейса программы токен доступа пользователя и ID группы, данные из которой надо собрать. В том случае, если собранные данные необходимо визуализировать, то следует отметить это флажком.

Теоретическая часть исследования посвящена анализу инструментов, позволяющих получать данные на основе API из социальной сети «ВКонтакте», а также опыт разработки подобных приложений и систем [1, 2]. В практической части рассмотрены основные этапы разработки приложения и результаты внедрения его в реализацию некоторых исследований. В частности, рассмотрено поведение потребителей групп социальной сети, посвященных предприятиям общественного питания новых микрорайонов, а также возможности инструмента для создания некоторых характеристик портрета потребителя спортивного клуба.

1. Лехов К.А., Сперанский Д.Д., Митрохин М.А., Карамышева Н.С. Система извлечения и анализа текстовых данных из социальных сетей для образовательного учреждения // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-izvlecheniya-i-analiza-tekstovyh-dannyh-iz-sotsialnyh-setey-dlya-obrazovatel'nogo-uchrezhdeniya> (дата обращения: 20.11.2023).
2. Гасанов И.З., Ликсаков М.В. Эффективная работа с данными сообществ на примере api вконтакте // Инновации и инвестиции. 2023. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnaya-rabota-s-dannymi-soobschestv-na-primere-api-vkontakte> (дата обращения: 20.11.2023).

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ МЕТОДА УСЛОВНОГО ГРАДИЕНТА

А.В. Гасников¹, А.С. Аникин²

¹Московский физико-технический институт

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
anikin@icc.ru, gasnikov@yandex.ru

Под термином «метод условного градиента» скрывается несколько семейств довольно интересных алгоритмов, ориентированных на учет различного вида прямых ограничений на оптимизируемые переменные (см., напр., [1,2]). В большинстве случаев речь идет о задачах минимизации, в которых доступен градиент и имеются т. н. «простые» ограничения – параллелепипедные (в других терминах, прямые, интервальные, брусковые, «box»), двухсторонние, симплексные и другие. В частности, невероятно популярный за рубежом метод квадратичного программирования Фрэнк-Вулфа (фамилия Frank не склоняется, поскольку Маргарет Фрэнк - женщина) также вполне укладывается в формальную схему методов условного градиента (см., напр., [3]). К наиболее исследованным вариантам методов обсуждаемого типа стоит, на наш взгляд, отнести также вариант алгоритма для задач оптимального управления со свободным правым концом (см., напр., [2,4]). Очень близкая конструкция реализована в методах приведенного градиента (см., напр., [4]), обычно значительно более численно устойчивых, чем стандартные варианты алгоритмов такого типа.

Многолетние сравнения эффективности алгоритмов условного градиента в соотношении с конкурирующим семейством методов сопряженных направлений (сопряженных градиентов, квазиньютоновских и других) привели сообщество специалистов к выводу о том, что для задач без активных прямых ограничений методы условного градиента сильно уступают в эффективности. Однако, заметим, что при активных прямых ограничениях ситуация становится далеко не столь однозначной. Кроме того, в последние годы проявился интерес к двум классам задач, в которых преимущество может оказаться уже на стороне методов условного градиента. Это, во-первых, задачи с разреженными матрицами (класс задач 1, см., напр., [5]) и задачи с недоступными градиентами (класс 2, см., напр., [6]).

В докладе обсуждаются системные вычислительные эксперименты, проведенные для задач классов 1 и 2. Наиболее успешными мы сочли бы алгоритмы для класса 1, построенные с использованием технологий разреженных матриц, которые показали отличные результаты на ряде задач, в том числе невыпуклых. Для задач класса 2 рост эффективности оказался не столь существенным, но тем не менее можно считать, что полученные на этом направлении алгоритмы также вполне перспективны.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Левитин Е.С., Поляк Б.Т. Методы минимизации при наличии ограничений // М.Ж. вычислительной математики и математической физики. 1966. Т. 6, вып. 5. С. 1-50.
2. Васильев Ф.П. Методы оптимизации // М., Факториал Пресс, 2002. 824 с.
3. Frank M., Wolfe P. An algorithm for quadratic programming // Naval research logistics quarterly, 1956. 3(1-2), 95-110.
4. Горнов А.Ю. Вычислительные технологии решения задач оптимального управления // Новосибирск, Наука, 2009. 278 с.
5. Anikin A. et al. Efficient numerical methods to solve sparse linear equations with application to pagerank // Optimization Methods and Software, 2022, V. 37, no. 3, P. 907-935.
6. Lobanov A., Anikin A., Gasnikov A., Gornov A., Chukanov S. Zero-Order Stochastic Conditional Gradient Sliding Method for Non-smooth Convex Optimization // in press.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И СБОРА РАЗНОФОРМАТНЫХ ДАННЫХ В РАМКАХ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ¹

А.С. Гаченко

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gachenko@icc.ru

В настоящее время выполняется комплексная научно-исследовательская работа по созданию фундаментальных основ, методов и технологий комплексного экологического мониторинга и прогнозирования на основе цифровых платформ, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, анализ больших массивов разнородных пространственно-временных данных, а также комплекса математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения и их апробация для Байкальской природной территории. В проекте участвуют коллективы нескольких академических институтов из разных регионов страны.

В рамках научного проекта проводятся аналитические работы по сбору разноформатных данных, получаемых из различных источников, в том числе с распределенных аппаратных датчиков различной научной направленности и специфики для создания и наполнения прикладной цифровой платформы (ПЦП), оперирующей данными и сервисами на уровне отдельного вида мониторинга (или группы), поддерживающая алгоритмический обмен услугами (сервисами) между независимыми участниками с использованием единой информационной среды и информационно-технологической инфраструктуры (рис. 1).

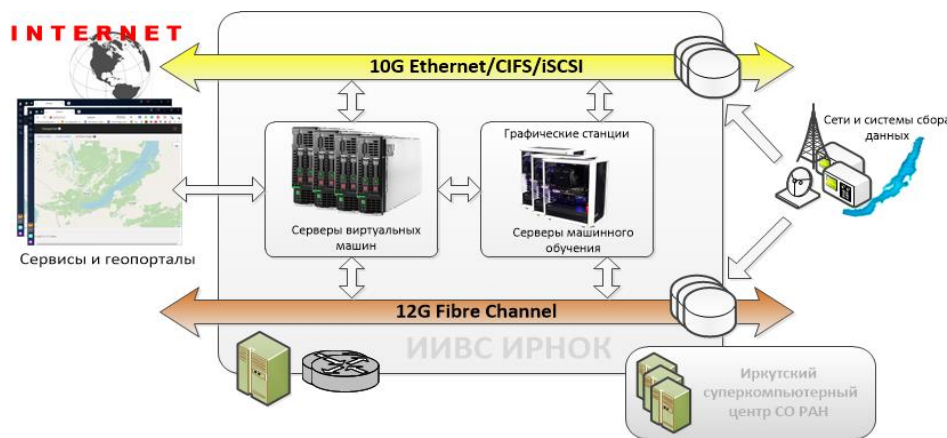


Рис. 1. Схема хранения и обработки данных прикладной цифровой платформы

Налажен процесс по сбору данных со станций автоматического мониторинга погодных данных «САМ-ЦБ2», которые предназначены для удаленной автономной регистрации и сбора метеорологических данных. Передача данных осуществляется с использованием каналов GSM-связи. Данные поступают на сервер разработчиков метеостанции ИМКЭС СО РАН в БД MySQL. Далее происходит предварительная

¹ Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

обработка и нормализация первичных данных при помощи скрипта на языке Python. После этого данные реплицируются на сервер ИДСТУ СО РАН и хранятся в базе данных (БД-Погода) с использованием СУБД PostgreSQL. В БД - Погода ежечасно накапливаются следующие данные: температура (в градусах Цельсия), давление (в мм. ртутного столба), влажность воздуха (в %), скорость ветра средняя (в м. с.), скорость ветра максимальная за час (в м. с.), направление ветра (в градусах), направление ветра (в градусах), жидкие осадки (в мм.) и другие (в зависимости от комплектации погодных станций). В 2022 году существенно расширена распределенная приборная база.

Также на сервер поступают и другие виды научных данных: пожары, гари, вырубки, грозные разряды, загрязняющие вещества в атмосфере, уровни воды отдельных рек БПТ и озера Байкал, измерения вертикального распределения температуры и скоростей течений на пелагических буйковых станциях в озере Байкал, ледовая обстановка и др.

Все данные хранятся и обрабатываются в специализированном центре коллективного пользования (ЦКП).

ПРОБЛЕМА АППРОКСИМАЦИИ МНОЖЕСТВА ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ*

А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gornov@icc.ru

Проблема построения алгоритмов аппроксимации множества достижимости (МД) для систем с переменным запаздыванием общего вида представляется достаточно сложной и к настоящему времени неразрешимой в полном объеме. Для построения работоспособных алгоритмов целесообразно ввести следующие предположения: а) траектории управляемой системы могут быть эффективно приближены с помощью сплайнов невысокой размерности; б) корректно применим «бэнг-бэнг» принцип для приближения границ МД (см. [1]); в) число необходимых точек переключения релейного управления на рассматриваемом интервале времени может быть ограничено 1. В рамках указанных предположений разработаны технология численного интегрирования рассматриваемых систем с применением управляемых сплайнов третьего порядка и технология аппроксимации МД на основе «моноволнового» метода ([2]), в совокупности позволившие построить методику аппроксимации МД.

В качестве примера рассматривается модифицированная модель Хатчисона (см., напр., [3]), дополненная вторым уравнением, отражающим процесс изъятия особей из популяции. Предполагается, что скорость изъятия вполне экологична – пропорциональна размеру популяции. На управление, прямо задающее темп (процент) изъятия, накладываются ограничения $0 \leq u(t) \leq u_{max}$, полагаем $u_{max} = 0.1$. Коэффициент размножения r принят равным 0.1, емкость среды обитания $K = 0.5$. Запаздывание, традиционно включенное в первое уравнение, имеет вид $g(t) = x_1(0.8t - 0.07t^2)$ – вариант 1, $g(t) = x_1(0.8t - 0.05t^2)$ – вариант 2 (рис. 1). Запаздывание отражает тот факт, что при течении времени поведение особей может сильно отличаться от эталонного. Например, комары, когда их очень много, начинают атаковать заметно быстрее; самцы при высокой плотности популяции проявляют существенно большую активность и агрессивность и т.п. Интервал изменения времени $0 \leq t \leq 10$, начальные данные $x_1(0) = 1, x_2(0) = 0$. Заметим, что в данной конкретной постановке задачи:

$$\begin{aligned} dx_1(t)/dt &= R(1 - x_1(g(t))/K)x_1(t) - x_1(t)x_2(t), \\ dx_2(t)/dt &= u(t), \\ 0 \leq u(t) &\leq u_{max}, R = 0.1, K = 0.5, u_{max} = 0.1, \end{aligned}$$

не требуется задание траекторий на «дона начальном» отрезке, поскольку вся динамика запаздывания укладывается в рассматриваемый интервал времени.

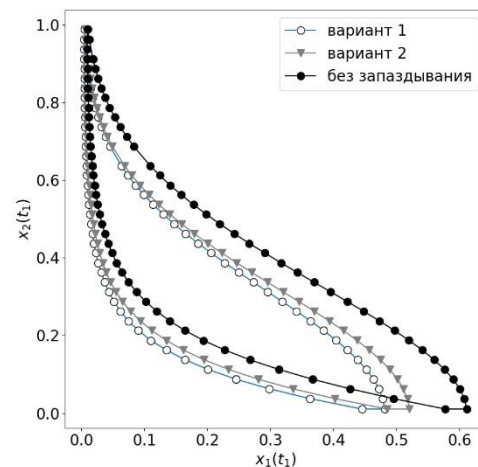


Рис. 1. Аппроксимация множества достижимости в модельной задаче с переменным запаздыванием

* Работа выполнена за счет субсидии Минобрнауки России в рамках проекта «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями» (№^о гос. регистрации: 121041300060-4).

1. Tolstonogov A. The bang-bang principle for controlled systems of subdifferential type // Proc. Steklov Inst. Math., 2005(1). P. 222–233.
2. Zarodnyuk T., Gornov A. The Modified Monowave Method for the Reachable Set Approximation of the Nonlinear Controlled System on the Plane // Proc. of the 7th Intern. Conf. NLA-2022, Irkutsk, 2022. P. 153–154.
3. Долгий Ю.Ф., Сурков П.Г. Математические модели динамических систем с запаздыванием. УрФУ, Екатеринбург, 2012. 122 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ, ОСНОВАННАЯ НА ДИНАМИКЕ ЛАНЖЕВЕНА

А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gornov@icc.ru

Теоретический диспут об эффективности и перспективности методов оптимизации двух основных классов – детерминированных и недетерминированных – не утихает в среде специалистов уже несколько десятилетий. У каждой точки зрения находятся свои убежденные сторонники и, что особенно важно, свои постоянно развиваемые математические аргументы. Можно считать, что этот теоретический спор является одним из основных источников творческой энергии в данной отрасли. Однако опыт решения прикладных задач оптимизации, накопленный к настоящему времени, убеждает в том, что для достижения успеха даже далеко не в самых сложных проблемах, как правило, необходимо использование стохастических алгоритмов.

Среди большого множества вероятностных моделей для конструирования алгоритмов оптимизации традиционно используется только малая часть, чаще всего, это равномерные и нормальные распределения. В докладе обсуждается перспектива построения алгоритмов невыпуклой оптимизации, основанных на динамике Ланжевена (см., напр., [1, 2]). Подобные подходы уже замечены специалистами и не без успеха используются в задачах обучения нейронных моделей (см., напр., [3–5]). Целью исследования является оценка возможностей применения этой идеи для построения алгоритмов оптимизации для более широкого класса задач.

Предложенный вариант алгоритма градиентного типа включает, подобно методу имитации отжига, монотонно уменьшающийся до нуля с управляемой скоростью эндогенный параметр, по аналогии называемый температурой. Градиентный шаг также устанавливается алгоритмическим параметром, но корректируется путем добавления «ланжевенского» возмущения. Из построенного таким образом немонотонного процесса, не прерывая его, извлекается рекордная точка, которая и предъявляется в конце концов в качестве решения. Критерием остановки алгоритма является исчерпание априори заданного лимита – числа итераций или процессорного времени.

Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили принципиальную работоспособность предложенного подхода. Однако выяснилось, что, к сожалению, как и во многих других алгоритмах нелокальной оптимизации, имеет место достаточно высокая зависимость эффективности алгоритма от конкретной задачи и конкретных значений алгоритмических параметров. Проблема построения адаптивного варианта алгоритма, способного самостоятельно настраиваться под конкретную вычислительную ситуацию, пока остается открытой.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Welling M., Teh Y. Bayesian Learning via Stochastic Gradient Langevin Dynamics // Proc. 28 Int. Conf. ICML '11. NY, USA: ACM, 2011. June. P. 681–688.
2. Gasnikov A. et al. Recent Theoretical Advances in Non-Convex Optimization // Math. OS. 2021. Pp.1-81. <https://arxiv.org/pdf/2012.06188.pdf>
3. Li Chunyuan, Chen Changyou, Carlson D., Carin L. Preconditioned Stochastic Gradient Langevin Dynamics for deep neural networks // Proc. AAAI Press. 2016. P. 1788–1794.
4. Bakhteev O. Yu., Strijov V. V. Deep learning model selection of suboptimal complexity // Avtomat. i Telemekh., 2018, Issue 8. P. 129–147.
5. Xu P., Chen J., Zou D., Gu Q. Global convergence of langevin dynamics based algorithms for nonconvex optimization // Advances in Neural Information Processing Systems, 2018. P. 3122–3133.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЁТА СВЯЗАННОСТИ СЕТЕЙ В ПАКЕТАХ ПРОГРАММ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Г.К. Данилов

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева

dangleb@isem.irk.ru

В данной работе предлагается расширить функционал пакетов для исследования живучести систем энергетики, разработанных в ИСЭМ СО РАН, вероятностными методами расчёта связанности сетей [1]. Далее связанность графа, как характеристика структурной надёжности схем энергоснабжения и телекоммуникационных сетей, будет использоваться в общей схеме оценки живучести в качестве показателя производительности систем энергетики [2].

Проведённый в работе анализ литературы классифицирует найденные методы расчета связности графа по следующим признакам: точный или приближённый расчет; вычислительная сложность метода; количество терминальных элементов, которые должны быть связаны (2-терминальные, k-терминальные, все-терминальные методы); максимальный размер графа. Особое внимание при анализе литературы уделялось наличию и доступности репозитариев с исходными кодами, реализующих тот или иной метод расчета связности графа.

Доступные реализации методов расчета связности графа предполагается объединить в библиотеку, которая будет интегрирована в прикладную часть типового распределенного пакета прикладных программ (рис. 1) для исследования живучести систем энергетики. Данные пакеты функционируют в специализированной предметно-ориентированной среде [3].

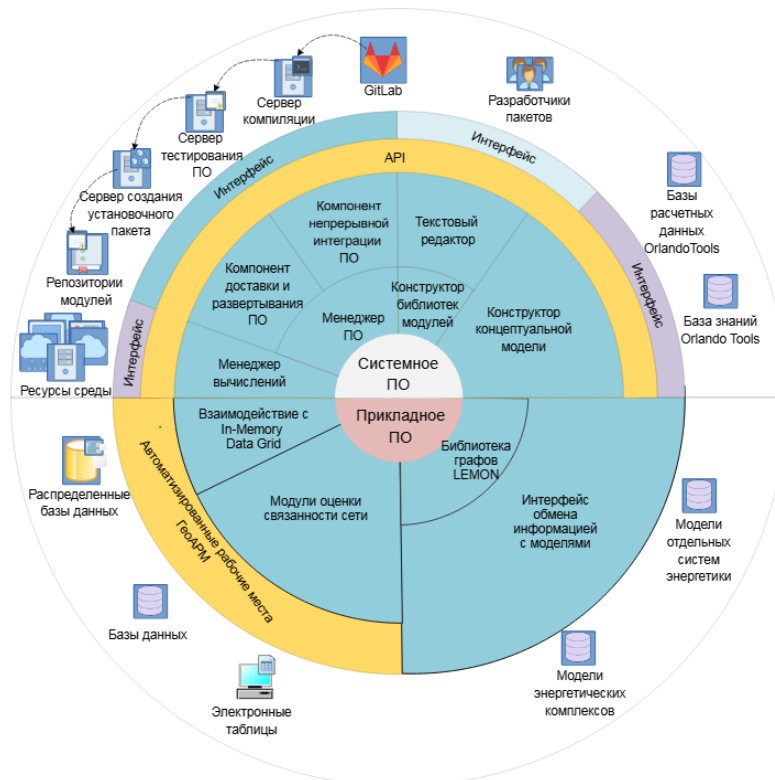


Рис.1. Типовая архитектура распределенного пакета прикладных программ для исследования живучести

1. Батенков К. А. Анализ и синтез структур сетей связи методом перебора состояний // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2022. Т. 18, №. 3. С. 300-315.
2. Feoktistov, A.; Edelev, A.; Tchernykh, A.; Gorsky, S.; Basharina, O.; Fereferov, E. An Approach to Implementing High-Performance Computing for Problem Solving in Workflow-based Energy Infrastructure Resilience Studies. Preprints 2023, 2023110065. <https://doi.org/10.20944/preprints202311.0065.v1>
3. Bychkov I.V., Gorsky S.A., Edelev A.V., Kostromin R.O., Sidorov I.A., Feoktistov A.G., Fereferov E.S., Fedorov R.K. Support for managing the resilience of energy systems based on a combinatorial approach // J. of computer and systems sciences international. 2021. V. 60, № 6. Pp. 981–994. DOI: 10.1134/S1064230721060071.

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПРЕДМЕТНЫХ ГРАФОВ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АННОТИРОВАННЫХ ТАБЛИЧНЫХ ДАННЫХ

Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
iskander@icc.ru

В настоящее время разработка интеллектуальных систем остается перспективным направлением научных исследований. Одной из тенденций в этой области является использование графов знаний, которые предназначены для накопления и передачи знаний о реальном мире, где узлы представляют сущности, а его ребра – отношения между ними. Задача создания эффективных методов и инструментов по разработке графов знаний еще не решена в полной мере. Поэтому исследования, направленные на создание методов обработки информации для конструирования и пополнения графов знаний являются актуальными. Особенно тогда, когда речь идет об использовании уже накопленной информации, представленной, в частности, в виде таблиц, которые являются распространенным способом структурирования информации.

В данном цикле работ предложен единый подход к семантической интерпретации (аннотированию) реляционных таблиц и созданию предметных графов знаний на основе аннотированных табличных данных [1–13]. Подход включает решение трех основных задач семантической интерпретации таблиц (аннотирование ячеек, столбцов и отношений между столбцами) на основе применения гибридных методов с использованием эвристических правил, техник векторных представлений слов и сущностей, а также глубоких нейросетевых моделей. Восстановленная таким образом семантика таблиц делает возможным автоматическое извлечение конкретных сущностей (фактов) из строк таблиц и пополнения ими целевого графа знаний. Предлагаемый подход реализован в форме программных средств [6, 11–13].

Получена экспериментальная оценка эффективности предлагаемого подхода в сравнении с конкурентными решениями, которая сопоставима с мировым уровнем, а проведенные эксперименты показали применимость разработанного программного обеспечения. Кроме того, произведена апробация разработанного средства на примере создания предметных графов знаний на основе таблиц для задач: (1) диагностирования и оценки технического состояния нефтехимического оборудования [1–3]; (2) анализ рынка труда Иркутской области в рамках тематического исследовательского проекта с Институтом системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук (ИСП РАН) [1, 4]. Успешное применение предлагаемого подхода и программного средства в этих случаях свидетельствует о значимости результатов, полученных в рамках проводимых исследований.

Представленные работы опубликованы по результатам проектов: РНФ 18-71-10001, МК-1647.2020.9, СП-978.2022.5, а также хоз.договоров с ИСП РАН.

1. Dorodnykh N.O, Yurin A.Yu. Knowledge Graph Engineering Based on Semantic Annotation of Tables // *Computation*, 2023, Vol. 11, No. 9, P. 1–32. DOI: 10.3390/computation11090175 (Scopus, Q2)
2. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Using Semantic Annotation of Tabular Data for Domain Knowledge Graph Population // *Proceedings of the Seventh International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’23)*. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, Vol. 777, P. 206–216. DOI: 10.1007/978-3-031-43792-2_20 (Scopus, Q4)
3. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Knowledge Graph Augmentation Based on Tabular Data: A Case Study for Industrial Safety Inspection // *Proceedings of the Sixth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’22)*. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, Vol. 566, P. 314–324. DOI: 10.1007/978-3-031-19620-1_30 (Scopus, Q4)

4. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Extraction of Facts from Web-Tables based on Semantic Interpretation Tabular Data // Proceedings of the 2022 Ivannikov Memorial Workshop (IVMEM), 2022, P. 7–17. DOI: 10.1109/IVMEM57067.2022.9983959 (Scopus)
5. Denisova D.A., Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Ontology Engineering Based on Spreadsheet Data Transformation // 2022 Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), 2022, P. 2004–207. DOI: 10.1109/USBREIT56278.2022.9923379 (Scopus)
6. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. TabbyLD: A Tool for Semantic Interpretation of Spreadsheets Data // Communications in Computer and Information Science. Modelling and Development of Intelligent Systems (MDIS 2020), 2021, Vol. 1341, P. 315–333. DOI: 10.1007/978-3-030-68527-0_20 (Scopus, Q4)
7. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Towards a universal approach for semantic interpretation of spreadsheets data // IDEAS'20: Proceedings of the 24th Symposium on International Database Engineering & Applications, 2020, No. 22, P. 1–9. DOI: 10.1145/3410566.3410609 (Scopus)
8. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O. Experimental Evaluation of a Spreadsheets Transformation in the Context of Domain Model Engineering // Proceedings of the 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), 2020, P. 388–391. DOI: 10.1109/USBREIT48449.2020.9117674 (Scopus)
9. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Software Conception for Semantic Interpretation of Spreadsheet Data // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings for the 2nd Scientific-practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, 2019, Vol. 2463, P. 76–83. (Scopus)
10. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Подход к автоматизированному наполнению графов знаний сущностями на основе анализа таблиц // Онтология проектирования. – 2022. – Т.12. – №3. – С.336–352. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352 (РИНЦ, RSCI)
11. Амирасланов И.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Программное средство извлечения сущностей из семантически аннотированных табличных данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – №2(30). – С. 138–151. DOI: 10.25729/ESI.2023.30.2.014 (РИНЦ)
12. Дородных Н.О., Юрин, А.Ю. Knowledge Graph Augmentation System // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – М. – Рег. № 2021664724 от 13.09.21 г.
13. Денисова Д.А., Дородных Н.О., Юрин, А.Ю. OntoGen // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – М. – Рег. № 2022664022 от 22.07.22.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ЖЕСТКОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТРОСОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА ПРИ АНАЛИЗЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ

С.В. Доронин

ФИЦ информационных и вычислительных технологий

sdoronin@ict.nsc.ru

Рассматриваются системы амортизации на тросовых виброизоляторах как класс технических объектов, требующий специальных подходов к моделированию их поведения при решении прикладных задач. Динамическое поведение систем амортизации определяется основными характеристиками виброизоляторов – жесткостью и степенью диссипации энергии колебаний. В качестве характеристики жесткости задается нелинейная нагрузочная диаграмма, связывающая приложенную силу F и соответствующее ей смещение (прогиб) s . Диссипация энергии может быть описана отношением фактического уровня демпфирования к его критическому значению – относительным коэффициентом демпфирования ξ .

В настоящей работе в качестве модельного объекта рассматривается тросовый виброизолятор, размеры и нагрузочная диаграмма которого показаны на рис. 1.

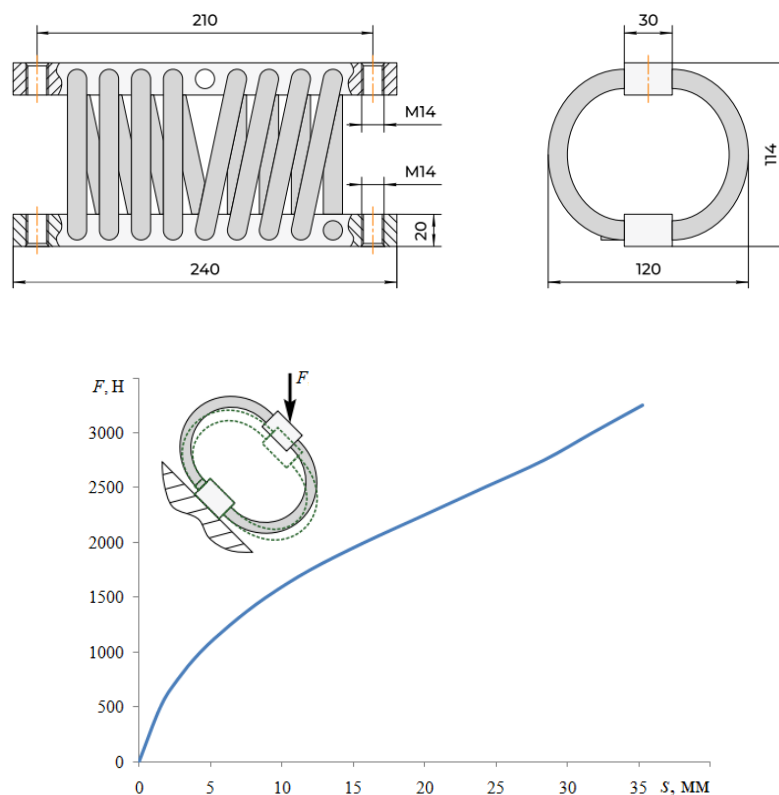


Рис. 1. Геометрические характеристики и нагрузочная диаграмма модельного виброизолятора

При численном анализе вынужденных колебаний системы амортизации тросовые виброизоляторы могут быть представлены двумя типами моделей – одномерными (конечными элементами типа пружина) или трехмерными (витки троса моделируются объемными или балочными конечными элементами). Выбор одного из этих двух типов обуславливается как целями и задачами анализа, так и отношениями в системе «объект-инструмент-исследователь», элементы которой образуют устойчивую триаду, в значительной степени определяющую постановку задач исследования и характер

получаемых результатов. Здесь в первую очередь имеются в виду ограничения инструмента и мотивационной позиции исследователя по отношению к тому или иному типу (классу) объекта и содержательной постановке задач исследования.

При решении прикладных задач механики сложных объектов путем компьютерного моделирования, как правило, в качестве инструмента используют вычислительные комплексы конечно-элементного анализа (CAE-системы), функционал которых определяется как возможностями и ограничениями математических моделей механики и численных методов вычислительной математики, так и предпочтениями и технической политикой разработчиков этих комплексов. Отметим, что для исследователя ограничения функционала инструмента оказываются внешними факторами, влияющими на подходы к разработке и исследованию модели объекта.

Рассмотрим возможности и ограничения инструмента (в качестве которого используем платформу ANSYS Workbench) по отношению к объекту (системе амортизации на тросовых виброизоляторах), определяющие подход исследователя к способу построения и анализа модели объекта.

При моделировании систем амортизации принципиально важным является возможность задания инерционного способа возбуждения вынужденных колебаний – описания независимого движения основания, относительно которого изучается динамическое поведение системы (в терминах применяемого инструмента – Base Excitation). Тогда при выборе одномерной пружины в качестве модели тросового виброизолятора исследователь сталкивается со следующим противоречием.

Численное решение задачи о вынужденных колебаниях может осуществляться с использованием полного метода расчета переходных процессов (Full Transient), или метода разложения по собственным формам колебаний (суперпозиции мод – MSUP Transient). При этом MSUP Transient не поддерживает возможность задания демпфирования для конечных элементов типа пружин, а Full Transient не предоставляет возможность требуемого кинематического возбуждения (Base Excitation). Фактически это предопределяет необходимость предпочтения трехмерного типа модели тросового виброизолятора.

В этом случае описание жесткости и демпфирования осуществляется на уровне конструкционного материала конечных элементов, моделирующих витки троса (материала «троса») – заданием для этого материала модуля Юнга E и относительного коэффициента демпфирования ξ . Этот подход вызывает очевидные сложности в учете нелинейного характера нагрузочной диаграммы. Очевидна необходимость линеаризации характеристик жесткости, которая осуществляется исходя из предположения о малости виброперемещений. При сборке системы амортизации просадка каждого виброизолятора индивидуальна и определяется исходя из нагрузочной диаграммы с учетом воспринимаемого им усилия (распределением масс в системе). При вынужденных колебаниях каждый виброизолятор испытывает незначительные смещения относительно индивидуальной просадки, которые можно описать малым фрагментом нагрузочной диаграммы и в силу малости считать линейным. Таким образом, задача линеаризации сводится к определению индивидуальной жесткости каждого виброизолятора в составе системы амортизации и заданию ее в виде модуля Юнга для материала «троса».

Практически линеаризация жесткости осуществляется следующим образом.

Для трехмерной изотропной модели виброизолятора осуществляется серия вычислительных экспериментов по оценке прогиба (рис. 2) для рассматриваемой схемы нагружения при статическом приложении усилия, дискретно изменяющегося в интервале рабочих нагрузок. Для каждого значения нагрузки дополнительно варьируется модуль Юнга материала «троса» и определяется такое его значение, которое совпадет с прогибом, соответствующим этой нагрузке на нелинейной нагрузочной

диаграмме. Таким образом, для каждой точки нагрузочной диаграммы (пары значений F и s) устанавливается взаимное соответствие между жесткостью виброизолятора (Н/мм) и модулем Юнга материала «троса» (рис. 3).

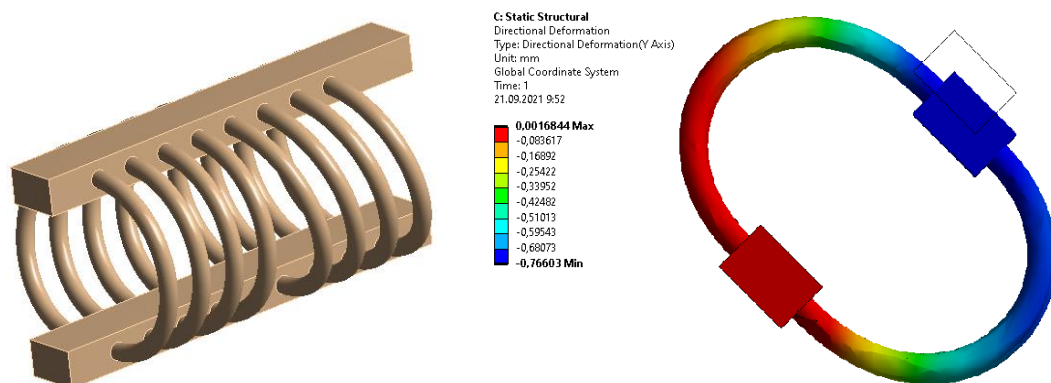


Рис. 2. Геометрическая модель и численная оценка прогиба виброизолятора

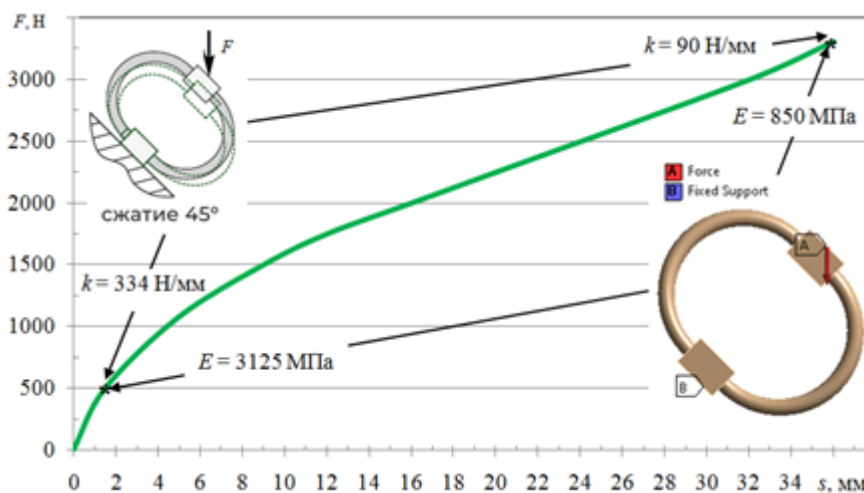


Рис. 3. Установление соответствия жесткости виброизолятора и модуля Юнга его трехмерной модели

В результате для всех точек нагрузочной диаграммы виброизолятора, характеризующихся жесткостью при соответствующей просадке, измеряемой в Н/мм, ставится в соответствие модуль Юнга материала «троса» трехмерной модели виброизолятора, измеряемый в МПа и обеспечивающий эквивалентные значения просадки.

Таким образом, процедура линеаризации заключается в:
 выполнении статического анализа деформированного состояния системы амортизации с использованием моделей тросовых виброизоляторов в виде нелинейных одномерных пружин для определения их индивидуальных прогибов;
 назначении трехмерной модели каждого виброизолятора в составе системы амортизации индивидуальных значений модуля Юнга изотропного материала «троса», соответствующих просадке этого виброизолятора в нелинейной модели.

СШИВКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ РОЕВЫХ АЛГОРИТМОВ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Н.А. Душкина, А.А. Толстихин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
dushckina.nad@yandex.ru

Технология сшивания изображений или автоматическое нахождение области перекрытия и совмещение отдельных изображений – это одна из распространённых задач обработки, подразумевающая под собой получение единой панорамы или изображения с высоким разрешением из нескольких перекрывающихся изображений (которые могут быть получены в разное время, с разных точек зрения или с разных датчиков). Сшивание изображений имеет большое значение в области медицинской визуализации, компьютерного зрения, спутниковых данных и автоматического распознавания военных целей, а также возникает при аэрофотосъёмке или микросъёмке длинной детали.

Задачу сшивания изображений можно разделить на 4 этапа [1]:

- Определение ключевых точек (осуществляется, например, при помощи алгоритмов ORB, SURF, SIFT и др.);
- Построение матрицы перспективного преобразования;
- Искажение изображений при помощи матрицы преобразований;
- Смешивание изображений (получение панорамы).

В данной работе для построения матрицы перспективного преобразования вместо широко используемого в настоящее время итерационного метода RANSAC (RANdom SAMple Consensus) [2] было предложено применить роевые алгоритмы стохастической оптимизации [3].

Важным для сшивания изображения критерием является точность при работе с многомерными задачами. В проведенном ранее исследовании [4] нами были определены лидеры, удовлетворяющие данному критерию. По результатам исследования были выявлены следующие алгоритмы: сорняковый алгоритм, алгоритм кукушки и алгоритм роя частиц, применимость которых для решения задачи сшивки изображений была рассмотрена в данной работе.

Критерием сравнения результатов настоящего исследования являлась минимизация погрешности расстояния между парными ключевыми точками объединяемых изображений.

Таким образом, в результате были определены достоинства каждого метода в контексте решаемой задачи, а также проведено их сравнение с используемым базовым методом сшивания изображений. Реализации данных алгоритмов на языке Java были оформлены в виде библиотеки для удобства использования в дальнейшем исследовании.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. — 3-е издание. — Москва: Техносфера, 2012 — 1104 с.
2. Fischler M. A., Bolles R. C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / Martin A. Fischler, Robert C. Bolles // Commun. ACM . — 1981. — № 24(6). — P. 381-395.
3. Карпенко А. П., Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / Карпенко А. П. — 2-е издание. — Москва: Издательство МГГУ им. Н. Э. Баумана, 2017 — 446 с.
4. Душкина Н. А. Сравнение популяционных алгоритмов оптимизации, вдохновленных живой природой / Душкина Н. А. // Материалы v международного семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (iccs-de 2023). — Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. — С. 130-133.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Н.В. Ефимова¹, А.Ю. Горнов², Т.С. Зароднюк³

¹Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
medecolab@inbox.ru, gornov@icc.ru

По статистике в Арктической зоне проживает около 4 млн. человек, из их более половины – на территориях Российской Федерации. Поставленные Правительством РФ задачи освоения минеральных ресурсов и организации постоянно действующего транзита по Севморпути, по-видимому, еще добавят новых жителей в эти холодные края. Проблема исследования заболеваемости населения Арктики продолжает оставаться актуальной (см., напр., [1–4]).

В докладе обсуждаются результаты работы, которая регулярно, в течение ряда лет, ведется авторами по проблематике заболеваемости населения Арктического региона. Цель исследования – разработать математические модели и оценить вариабельность заболеваемости населения ЯНАО в условиях изменения факторов среды обитания. По материалам учреждений здравоохранения получены данные о первичной и общей динамике заболеваемости. Разработана специализированная методика анализа данных, основанная на предложенной модификации оператора Шепарда. Для выявления и отсеечения наиболее отклоняющихся прецедентов проведен факторный анализ системы основных показателей здоровья и условий жизнедеятельности. Разработаны специализированные метрики в пространстве экспериментальных данных и подобраны типы критериев качества для задачи параметрической идентификации модели. Предложен модифицированный вариант указанной модели с дополнительными параметрами, проведена нелокальная оптимизация недифференцируемого функционала скользящего контроля (кросс-валидации), оценивающего качество работы построенной модели. Выявленные с использованием методики Шепарда наиболее значимые факторы, влияющие на заболеваемость, включены в модифицированную модель Гурмана-Розенрауха, с использованием которой были рассчитаны уровни заболеваемости при изменении предикторов для нескольких сценариев изменяющихся условий среды обитания. Общий вывод данного этапа работы: вклад климатических факторов на фоне даже умеренного загрязнения атмосферы определяет 70% от всей заболеваемости по классу органов дыхания.

1. Бобровницкий И.П., Нагорнев С.Н., Худов В.В., Яковлев М.Ю. Перспективные направления развития инновационных технологий здоровьесбережения в арктической зоне Российской Федерации // *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021. № 1. С. 16–40.
2. Рейс Ж., Зайцева Н.В., Спенсер П. Современные внешнесредовые угрозы и вызовы здоровью населения арктических и субарктических регионов // *Анализ риска здоровью*. 2022. № 3. С. 21–38.
3. Caminade C., McIntyre K.M., Jones A.E. Ann N. Y. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases // *Acad. Sci*. 2019 1436(1):157–173.
4. Бережной В.Г., Ерофеев Ю.В., Батухтин И.В., Новикова И.И. Социально-гигиеническая модель организации профилактической работы с населением и показатели эффективности ее реализации // *Наука о человеке: гуманитарные исследования*. 2014. № 4 (18). С. 170–179.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕКСТА PDF-ДОКУМЕНТОВ

М.В. Загородников, А.А. Михайлов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

С высоким ростом объема неструктурированных данных, становится необходимым прибегать к автоматическим системам обработки таких данных и преобразованию их к структурированному виду, необходимому для последующего анализа их содержимого. Одним из самых распространенных способов хранения информации являются электронные документы в формате PDF (доля документов этого формата превышает 50% от общего числа текстовых документов). PDF [1] удобный и широко распространённый формат для хранения и передачи документов. Практически все программы редактирования текста и контента имеют в своем составе специальные принтеры, которые позволяют получать файлы в формате PDF. Иногда, преобразованный файл может содержать битую кодировку, полученную, например, в результате сжатия шрифтов хранящихся в PDF-документе, путем удаления неиспользуемых глифов шрифта. Ситуацию усложняет то, что документ какого-либо формата можно преобразовать в PDF разными способами.

Существующий способ решения этой проблемы основан на использовании OCR [2]. Когда PDF-документ воспринимается как изображение, информация из которого извлекается с помощью методов компьютерного зрения. Такой подход избавляет от необходимости работать с разными форматами шрифтов хранящихся в PDF-документе и битой кодировкой и сводит работу к чтению текста с изображений страниц PDF-документа вне зависимости от содержимого PDF-документа. Но в то же время возникает проблема с получением текста в случаях, когда в документе присутствует сложный фон, а также скоростью при работе с большими документами из-за необходимости распознавать каждый символ.

В работе рассматривается альтернативный подход для восстановления текста, основанный на информации, хранящейся внутри PDF-документа. Процесс восстановления текста включает в себя: извлечение шрифтов из PDF-документа, извлечение разметки, вывод глифов шрифтов как изображений, распознавание изображений глифов при помощи свёрточной нейронной сети (CNN) [3], сопоставление символов из разметки с глифами, которые их отображают в PDF-документе, вывод текста. Свёрточная нейронная сеть была создана и обучена при помощи библиотеки Keras [4], данные для которой подготавливаются аналогично набору данных EMNIST [5]. Для подготовки обучающей выборки было взято 200 шрифтов, 102 символа, в которые входили буквы русского и английского алфавита, знаки препинания и специальные символы. Всего 20400 изображений.

1. Bienz T., Cohn R., Adobe Systems (Mountain View, Calif.). Portable document format reference manual. – Boston^ eMA MA : Addison-Wesley, 1993. – С. 214.
2. Mithe R., Indalkar S., Divekar N. Optical character recognition //International journal of recent technology and engineering (IJRTE). – 2013. – Т. 2. – №. 1. – С. 72-75.
3. Wu J. Introduction to convolutional neural networks //National Key Lab for Novel Software Technology. Nanjing University. China. – 2017. – Т. 5. – №. 23. – С. 495.
4. Ketkar N., Ketkar N. Introduction to keras //Deep learning with python: a hands-on introduction. – 2017. – С. 97-111.
5. Cohen G. et al. EMNIST: Extending MNIST to handwritten letters //2017 international joint conference on neural networks (IJCNN). – IEEE, 2017. – С. 2921-2926.

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ НАЧАЛЬНО-КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ*

Т.С. Зароднюк, А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gornov@icc.ru

Количество публикаций, посвященных динамическим системам с постоянным запаздыванием, к настоящему времени, очевидно, стало труднообозримым. Метод шагов уже более полувека (см., напр., [1]) служит надежным инструментом как для теоретического, так и для численного исследования таких систем. Однако для систем с переменным (точнее говоря, непостоянным) запаздыванием, в которых метод шагов неприменим, арсенал подходов представляется совершенно недостаточным, что делает обсуждаемую проблему чрезвычайно актуальной.

Задачи с переменным запаздыванием естественно возникают во многих прикладных областях в ситуациях, когда традиционные подходы оказываются недостаточно продуктивными и, следовательно, возникает необходимость учета все более тонких эффектов в изучаемых явлениях и/или процессах: в квантовой физике (движение заряженных частиц), биологии и медицине (рост и деление клеток, распространение инфекций, циркулирование крови), экономике (многопродуктовые модели производства товаров), технике (фрезерование металлов, деформации вязкоупругих конструкций) и многих других. Свообразными чемпионами в этом «состязании приложений» являются, очевидно, модели из класса «хищник–жертва» и модель Хатчисона (популяционная динамика, численность стад скота, численность лососевых рыб, оборот денег, распределение простых чисел, ...) – см., напр., [2].

В качестве основной идеи предлагаемого подхода рассматривается опубликованная более века назад методика Ритца (см., напр., [3]). Для приближенного решения начально-краевой задачи на первом этапе формируется функционал, включающий, по сути, штрафные компоненты за нарушение всех уравнений в постановке задачи, минимум которого очевидным образом может привести к решению (первое положение метода Ритца). На втором этапе решение представляется в виде аппроксимационных функций, в качестве которых нами применяются кубические сплайны (второе положение метода Ритца). Затем коэффициенты сплайнов находятся из условий минимизации сформулированного функционала (третье положение метода Ритца). Для поиска минимума функционала сформирована многометодная вычислительная технология, основанная на безградиентных алгоритмах. В качестве базовых использованы методы покоординатного поиска, нелокальный метод Пауэлла, метод Лууса-Яаколы, партан-метод, методы поиска в подпространствах малой размерности.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Bellman R., Cooke K.L. *Differential-Difference Equations // Mathematics in Science and Engineering*. New York, NY: Academic Press, 1963.
2. Долгий Ю.Ф., Сурков П.Г. *Математические модели динамических систем с запаздыванием // УрФУ, Екатеринбург, 2012.*
3. Ritz Walter. *Über eine neue Methode zur Lösung gewisser Variationsprobleme der mathematischen Physik // Journal für die Reine und Angewandte Mathematik, 1909. Vol. 135. P. 1–61.*

*Работа выполнена за счет субсидии Минобрнауки России в рамках проекта «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями» (№^о гос. регистрации: 121041300060-4).

ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ СИСТЕМОЙ С ЧАСТИЧНО ВЫЧИСЛИМЫМ ФУНКЦИОНАЛОМ

А.Ф. Зиновьева¹, А.В. Ненашев¹, А.Ю. Горнов², Т.С. Зароднюк²

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

aigul@isp.nsc.com, gornov@icc.ru

Моделирование взаимодействий в системах квантовых точек «кремний-германий» приводит к различным постановкам оптимизационных задач, многие из которых уже исследовались нами в предыдущие годы (см., напр., [1-4]). При этом был выявлен целый ряд разнообразных вычислительных эффектов (жесткость, разномасштабность, недифференцируемость и/или плохая обусловленность целевых функционалов и др.), во многих ситуациях, действующих одновременно и вызывающих мультипликативные эффекты проявления «закона сохранения трудности». В каждом таком случае для достижения приемлемых результатов приходилось разрабатывать специализированные вычислительные технологии, учитывающие специфические особенности оптимизационных проблем. К сожалению, этот набор особенностей исследуемых моделей к настоящему времени, по-видимому, еще не исчерпан. При рассмотрении новых постановок задач (см., напр., [5]) были обнаружены мощные области существования «режимов с обострением», что вполне естественно следовало из структуры применяемых динамических моделей, включающих функции с экспоненциальным ростом в правых частях систем дифференциальных уравнений («частично вычислимые функционалы»). К счастью, при тщательном анализе стало ясно, что уходящие в бесконечность траектории ни при каких условиях не могут оказаться носителями оптимальных решений. Было предложено преобразование правых частей типа «срезка», позволяющее отсекал размер правых частей при достижении ими заранее заданного уровня. Построенный таким образом целевой функционал имел платообразный («столовый») характер и, естественно, был равен константе почти во всей своей области определения. Однако для этого случая удалось построить многометодную технологию оптимизации, опирающуюся на предварительное сканирование с целью нахождения «островков адекватности» модели.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Gornov A.Yu., Dvurechenskii A.V., Zarodnyuk T.S., Zinovieva A.F., Nenashev A.V. Problem of Optimal Control in the System of Semiconductor Quantum Points // Automation and Remote Control. 2011. Vol. 72, №6. P. 1242–1247.
2. Горнов А.Ю., Двуреченский А.В., Зароднюк Т.С., Зиновьева А.Ф., Ненашев А.В. Вычислительная технология оптимизации двумерного управляющего импульса напряжения в системе квантовых точек // Программные системы: теория и приложения. 2011. Т. 2, №1 (5). С. 27–38.
3. Nenashev A.V., Zinovieva A.F., Dvurechenskii A.V., Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S. Quantum logic gates from time-dependent global magnetic field in a system with constant exchange // J. of Applied Physics. 2015. Vol. 117, №11. P. 113905.
4. Zinovieva A.F., Nenashev A.V., Koshkarev A.A., Zarodnyuk T.S., Gornov A.Y., Dvurechenskii A.V. Quantum Gates with Spin States in Continuous Microwave Field // Russian Microelectronics. 2018. Vol. 47, №4. P. 268–278.
5. Stepina N.P., Shumilin A.V., Zinovieva A.F., Nenashev A.V., Gornov A.Y., Dvurechenskii A.V. Magnetic field effect on the slow relaxation of photoconductance in tunnel coupled quantum dot arrays // Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures. 2020, Vol.121. P.114126.

SOME EXAMPLES OF 2-ORDER STATE-CONSTRAINED OPTIMAL CONTROL PROBLEMS AND THE MAXIMUM PRINCIPLE

A.V. Gorbacheva¹ and D.Y. Karamzin²

¹ Social University of Russia, Moscow, Russia

² Federal Research Center Computer Science and Control of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

avgorbacheva@inbox.ru, dmitry_karamzin@mail.com,

In this work, a few examples of time-optimal control problems with state constraints of order 2 are investigated. The dynamics are subject to the so-called unicycle model of motion which is highly relevant with regards to applications, notably in Robotics. The optimality conditions of Pontryagin's maximum principle, [1], are analyzed in the given examples. At the same time, the main focus is to apply a modified version of the maximum principle adapted for 2-order state-constrained time-optimal control problems. In this regard, our work essentially uses the approach proposed in [2]. In the framework of such an approach, the Lagrange multiplier $\mu(t)$ responding to the state constraint is a Lipschitz-continuous function whose derivative may exhibit jumps at the junction points. These jumps are studied along with the close issue of continuity of the extremal control. Based on the obtained optimality conditions, some computational algorithm could be proposed to solve the above class of control problems in the framework of an indirect approach. This research can further be continued in the direction of numerical experiments. Then, for example, the algorithms from [3] may further be developed, where merely the 1-order state-constrained optimal control problems have been investigated. Note that the question of 2-order state-constrained optimal control problems has previously been studied in the literature. For this issue, see the bibliography cited in [2].

This research is supported by the Russian Science Foundation, project no. 23-21-00161 was carried out in the Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

1. Pontryagin, L.S., Boltyanskii, V.G., Gamkrelidze, R.V., and Mishchenko, E.F.: The Mathematical Theory of Optimal Processes, Interscience, New York, 1962.
2. Karamzin D., Pereira F.L. On higher-order state constraints. SIAM Journal on Control and Optimization, 2023, 61 (4), pp. 1913-1933.
3. Chertovskih, R., Karamzin, D., Khalil, N.T., Lobo Pereira, F. Regular path-constrained time-optimal control problems in three-dimensional flow fields. European Journal of Control, 2020, 56, pp. 98-106.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ВЫРОЖДЕННЫХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА ХЕССЕНБЕРГОВОЙ ФОРМЫ*

Т.С. Индуцкая

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

indutskaya.tat@yandex.ru

Рассмотрим дифференциально-алгебраическое уравнение дробного порядка

$$D_{0+}^{\alpha}(A(t)u(t)) + B(t)u(t) = f(t), t \in [0; 1], \quad (1)$$

$$D_{0+}^{\alpha-1}(A(t)u(t))|_{t \rightarrow 0+} = u_0, u_0 \in R^n. \quad (2)$$

Здесь $A(t), B(t)$ – переменные $(n \times n)$ - матрицы, причем $\det A(t) \equiv 0$, а $u = u(t)$, $f = f(t)$ – искомая и заданная n - мерные вектор-функции. Введено обозначение производной Римана – Лиувилля [1]

$$D_{0+}^{\alpha}q(t) = \frac{d}{dt} I_{0+}^{1-\alpha}q(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t (t-s)^{-\alpha} q(s) ds,$$

дробного порядка $0 < \alpha < 1$. Под решением задачи (1), (2) будем понимать непрерывную вектор-функцию.

В докладе будет рассмотрен случай, когда матричный пучок $\lambda A(t) + B(t)$ регулярный и имеет форму Хессенберга [2], а именно

$$\lambda A(t) + B(t) = \lambda \begin{pmatrix} E & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & E & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & E & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & E & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_{11}(t) & * & * & B_{1,1-r}(t) & B_{1r}(t) \\ B_{21}(t) & * & * & B_{2,r-1}(t) & 0 \\ 0 & * & * & * & \cdot \\ \cdot & \cdot & * & * & \cdot \\ 0 & \cdot & 0 & B_{r,r-1}(t) & 0 \end{pmatrix},$$

где E – единичная матрица и $B_{ij}(t)$ – переменные матрицы. Для задачи (1), (2), матричный пучок которой имеет форму Хессенберга, сформулированы условия существования единственного непрерывного решения.

Кроме этого, предложен численный метод решения задачи (1), (2), основанный на эквивалентном интегральном представлении рассматриваемой задачи. Для вычисления интегрального слагаемого использована квадратурная формула правых прямоугольников и метод интегрирования произведений [3]. Результаты численных экспериментов на тестовых дифференциально-алгебраических уравнениях дробного порядка демонстрируют сходимость первого порядка.

1. Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations. Amsterdam; Boston; Heidelberg: Elsevier Science Publishing, 2006. 541 p.
2. Brenan K. E. Numerical Solution of Initial-Value Problems in Differential-Algebraic Equations. Philadelphia: SIAM, 1996.
3. Weiss R. Product integration for the generalized Abel equation //Mathematics of computation. 1972. Т. 26. № 117. P. 177-190.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00173, <https://rscf.ru/project/22-11-00173/>

ЗАДАЧА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБЛАСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГРУППОЙ МОБИЛЬНЫХ АГЕНТОВ*

М.Ю. Кензин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gorthauers@gmail.com

Задачи покрытия области в различных формулировках регулярно возникают в самых разных сферах деятельности: от интеллектуальных ферм и экологического мониторинга до поисково-спасательных операций и даже военно-оборонных задач. В общем случае, проблема покрытия предполагает два варианта реализации: использование статической системы наблюдения, перманентно охватывающей всю обследуемую зону, и использование группы мобильных средств мониторинга. В связи с высокой ресурсоемкостью первого подхода, а также его неспособностью эффективно функционировать в динамически изменяющихся условиях, использование мобильных, преимущественно автономных агентов становится в мире все более популярной опцией [1].

Поскольку количество и радиус действия таких агентов обычно недостаточны для одновременного охвата всей наблюдаемой территории сразу, маршруты их коллективного движения должны быть построены таким образом, чтобы покрыть ее последовательно и за минимальной объем перемещений [2]. Задача эффективного планирования таких маршрутов осложняется ограничениями на ресурсы агентов и их функциональные возможности, а также дополнительными требованиями различной природы.

В докладе рассматривается задача планирования групповой стратегии для автономных мобильных агентов, выполняющих динамическую миссию по мониторингу области с ее периодическим покрытием. Задача состоит в том, чтобы построить надежный групповой маршрут для агентов, обеспечивающий требуемое качество покрытия области и гарантирующий своевременное возвращение каждого агента в точку его первичной дислокации (депо). Помимо того, что эффективное размещение всех депо также должно осуществляться уже в рамках решения задачи, дополнительной ее особенностью является вероятностный характер самой процедуры покрытия.

Математическая модель рассматриваемой задачи сформулирована в терминах циклических задач маршрутизации транспортных средств и может быть описана следующим набором утверждений.

Пусть O – плоская связная область мониторинга, требующая регулярного покрытия. Внутри области O имеется сеть из m точек дислокации $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, $v_i \in O$, $i = 1, \dots, m$, соединенных сетью дорог E . Таким образом, $G = (V, E)$ – связный неориентированный граф из m вершин, полностью расположенных в пределах области O .

Миссия выполняется группой из n идентичных мобильных транспортных средств (агентов) a_1, a_2, \dots, a_n , способных обнаруживать искомые объекты. Находясь в любой точке дислокации $v \in V$, агент обеспечивает покрытие территории в радиусе действия средств обнаружения r . Вероятность обнаружения объекта в этом радиусе обратно пропорциональна расстоянию и определяется функцией $p(v, (x, y) \in O) \in [0, 1]$. В качестве примера такой функции можно привести классическую линейную убывающую функцию $p = 1 - \frac{\min(d, r)}{r}$, где d – расстояние между агентом и объектом. Каждый агент

* Работа поддержана РНФ, проект № 22-29-00819.

может перемещаться по графу G на дискретном времени $T = \{T_0, T_1, T_2, \dots\}$. Между двумя временными шагами агент должен либо остаться на своей текущей позиции, что является нежелательным событием, либо переместиться ровно по одному ребру на смежную точку дислокации.

Ресурс передвижения (энергия, топливо, и т.д.) каждого агента ограничен t временными шагами, поэтому для обеспечения непрерывного мониторинга области в некоторых точках дислокации необходимо разместить станции технического обслуживания (так называемые депо). Тогда, каждый агент должен всегда начинать свое движение из депо и возвращаться туда не позднее, чем через t временных шагов. В данном докладе ресурсные затраты на развертывание депо не принимаются во внимание и, следовательно, их количество не является ограниченным.

Групповой маршрут для данной задачи имеет следующий вид:

$$R = ((v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1t}), (v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2t}), \dots, (v_{n1}, v_{n2}, \dots, v_{nt})),$$

где $v_{ij} \in V$, а вершины v_{i1} и v_{it} являются смежными, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, t$.

В свою очередь, эффективность покрытия определяется как средняя вероятность обнаружения случайного объекта в области O на каждом временном шаге:

$$F(R) = \sum_{j=1}^t \{P_j(x, y) | (x, y) \in O\} / tS_o \in [0, 1],$$

где S_o – площадь области мониторинга, а $P_j(x, y)$ – совокупная вероятность обнаружения объекта, находящегося в точке (x, y) , хотя бы одним агентом в соответствии с расположением группы на шаге j маршрута R . Здесь вероятность обнаружения всей группой рассчитывается как вероятность того, что ситуация, где ни один агент не обнаружит объект поиска, не произойдет:

$$P_j(x, y) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p(v_{ij}, (x, y))).$$

Ставится следующая задача маршрутизации группы транспортных средств: сформировать такой набор R из n циклических маршрутов длины t , который обеспечивал бы наиболее эффективное покрытие $F(R)$ области O .

Для решения поставленной задачи предлагается использование проблемно-ориентированной модификации генетических алгоритмов. Алгоритм оперирует некоторым множеством групповых маршрутов вида R в качестве хромосом, постепенно изменяя и комбинируя их для поиска решений, близких к оптимальному.

Разработанная вариация генетического алгоритма оснащена набором специализированных эвристик, а также проблемно-ориентированной функцией пригодности на основе метода Монте-Карло с использованием штрафов за нарушение допустимости. Использование метода Монте-Карло при оценке качества решения позволяет управлять балансом между скоростью поиска решений и их точностью, а также путем изменения функции распределения адаптироваться под случаи, когда требуемое качество покрытия области O не является равномерным.

Осуществлена программная реализация предложенного подхода, получены результаты вычислительных экспериментов на тестовых наборах примеров. Разработанный алгоритм позволяет эффективно строить и перестраивать допустимые решения высокого качества при сравнительно небольших временных затратах. Кроме того, такой подход обеспечивает высокую масштабируемость и гибкость конечного метода, давая ему широкие возможности для расширения и гибридизации.

1. Munawar H.S., Hammad A.W., Waller S.T. Disaster region coverage using drones: Maximum area coverage and minimum resource utilization // Drones. 2022. Vol. 6(4), 96.
2. Drucker N., Ho H.-M., Ouaknine J., Penn M., Strichman O. Cyclic-routing of unmanned aerial vehicles // Journal of Computer and System Sciences. 2019. Vol. 103. P. 18–45.

РАЗРАБОТКА ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГЕОПОРТАЛА

М.С. Климонов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

Одной из отличительных особенностей геопортала ИДСТУ СО РАН [1] является возможность доступа и работы с уникальными геопространственными данными и веб-сервисами стандарта OGS WPS для их обработки и отображения. Поэтому было принято решение о создании микросервиса для анализа информации о сервисах, их использовании и работы с композициями сервисов: создание, редактирование, поиск новых композиций, отображение графа связности. Для обеспечения данной функциональности приходится часто решать задачу информационного поиска веб-сервисов. Поэтому было принято решение разработать поисковую систему веб-сервисов. Главная задача поисковой системы: выдать ранжированный список наиболее релевантного веб-сервиса по запросу. В данной системе должно быть 3 модели поиска: запросонезависимый для пользователя (как конкретного так и анонимного), по текстовому запросу для пользователя, по секвентальной рекомендации.

Для реализации необходимо выполнить следующие задачи:

3. Подбор параметров оценки веб-сервисов.
4. Индексация. Включает в себя хранение информации и сбор статистики.
5. Обработка запроса. Включает в себя выделение словоформ, поиск синонимов, расширение запроса и др.
6. Фильтрация. Отсечение нерелевантных и сильно непопулярных данных/ответов, также можно использовать метод коллаборативной фильтрации и др.
7. Ранжирование. Сортировка данных по их релевантности. В нашей системе планируется использование двух подходов: секвентальной рекомендации (продолжение последовательности веб-сервисов) и обучение ранжированию. Обучение ранжированию в свою очередь также разбивается на несколько подходов: попарное сравнение (pairwise) сервисов в рамках запроса (RankSVM, RankNet, LamdaRank), списочное ранжирование (listwise) в рамках запроса (SoftRank, AdaRank, ListNet), существуют и другие более современные подходы, которые будут представлены на следующих этапах разработки.
8. Оценка качества. Сочность, полнота, DCG, NDCG, AUC, ERR и др.
9. Учёт поведения пользователей.

На данном этапе работы были выделены следующие признаки для внедрения в систему поиска: текстовые (заголовок, описание и др.), ссылочные (сколько сервисов ссылается, сколько раз сервис получал данные из другого сервиса), поведенческие (сколько раз пользователь запустил сервис, сколько раз пользователь кликнул на сервис в поисковой выдаче), количественные (количество отказов сервиса, количество использования сервиса, среднее время выполнения и др.).

1. Фёдоров Р. К., Бычков И. В., Шумилов А. С., Ружников Г. М. Система планирования и выполнения композиций веб-сервисов в гетерогенной динамической среде // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21, № 6. С. 18 – 35.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИАГРАММ В ROBDD В ТРУДНЫХ ЗАДАЧАХ ПРОВЕРКИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ БУЛЕВЫХ СХЕМ*

Кондратьев В.С.¹, Семёнов А.А.^{1,2}.

¹Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

²Университет ИТМО

vikseko@gmail.com, biclop.rambler@yandex.ru

Проверка эквивалентности булевых схем (Logical Equivalence Checking, LEC) [1] является одной из центральных проблем верификации дискретных управляющих систем и имеет важное прикладное значение при генерации тестовых шаблонов для реальных промышленных микрочипов (Automated Test Pattern Generation, ATPG [2]).

Задача LEC состоит в следующем. Даны две булевы схемы S_f, S_h над произвольным полным базисом, которые задают всюду определенные дискретные функции $f: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m, h: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m$. Требуется ответить на вопрос: «Верно ли, что f и h – это на самом деле одна и та же функция?» В случае ответа «да» схемы S_f и S_h называются эквивалентными ($S_f \cong S_h$). Наиболее часто для решения LEC используется переход от схем S_f и S_h к т.н. «майтер-схеме» (circuit with miter). Майтер-схема, обозначаемая через $S_{f \oplus h}$, строится за линейное время от размера S_f и S_h и задает булеву функцию вида $f \oplus h: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$, которая является тождественным нулем на $\{0,1\}^n$ тогда и только тогда, когда $S_f \cong S_h$.

В первых работах по верификации схем (начало 90-х гг. XX в.) для решения LEC использовались двоичные диаграммы решений (BDD), а точнее, их упорядоченные редуцированные варианты (ROBDD). ROBDD при фиксированном порядке означивания переменных в силу канонической теоремы Р. Брайанта [3] представляет булеву функцию единственным образом. Соответственно, $S_f \cong S_h$ тогда и только тогда, когда ROBDD-представление функции $f \oplus h: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$ состоит из единственной терминальной вершины – нулевой. Однако довольно быстро стало понятно, что ROBDD дает довольно ограниченный инструмент решения LEC из-за взрывного роста используемой памяти. Данный факт стал одной из причин того, что в конце 90-х годов XX века ROBDD-подход к решению LEC был полностью вытеснен применением SAT решателей [4].

В докладе будут представлены новые алгоритмы, показывающие обещающие результаты в применении к экстремально трудным случаям LEC, кодирующим сравнение алгоритмов умножения натуральных чисел (multipliers). Интерес к этим задачам не ослабевает в течение ряда лет [5], поскольку считается, что продвижение в верификации умножителей может привести к принципиально новым алгоритмам и техникам, применимым к широким классам верификационных задач.

Базовая идея предлагаемых далее алгоритмов состоит в использовании специальных решающих диаграмм (дизьюнктивных диаграмм), предложенных в [6]. Дизьюнктивные диаграммы (DJD) дают графовое представление произвольной формулы в дизьюнктивной нормальной форме (ДНФ) и, что важно, строятся за полиномиальное время от длины описания исходной ДНФ. Однако, в отличие от ROBDD, DJD не дает представления самой функции, заданной рассматриваемой ДНФ. Мы предлагаем алгоритм, который по DJD, представляющей произвольную ДНФ D , строит семейство F ROBDD, представляющее некоторые части D , связанные дизьюнкцией. Таким образом, предложенный алгоритм сопоставляет D семейство ROBDD $F = \{B_1, \dots, B_q\}$. Пусть B – произвольная ROBDD из F и $\pi^0 \in B$ – произвольный

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-21-00583.

путь в B из корня в терминальную вершину 0. Набор значений переменных, соответствующий π^0 , обозначим через α_{π^0} , результат подстановки α_{π^0} в КНФ $C = \neg D$ обозначим через $C(\alpha_{\pi^0})$. Доказана следующая теорема.

Теорема 1.

Пусть $D_{f \oplus h}$ – ДНФ, полученная в результате отрицания КНФ $C_{f \oplus h}$, и F – семейство ROBDD, построенное по $D_{f \oplus h}$, тогда для произвольной ROBDD $B \in F$, имеет место следующий факт: $S_f \cong S_h$ тогда и только тогда, когда для любого $\pi^0 \in B$ КНФ $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ невыполнима.

На основании данной теоремы была предложена следующая общая стратегия решения LEC. По двум схемам S_f, S_h строится схема $S_{f \oplus h}$, по которой, в свою очередь, строится КНФ $C_{f \oplus h}$. Строится ДНФ $D_{f \oplus h} = \neg C_{f \oplus h}$, по $D_{f \oplus h}$ строится DJD, по которой строится семейство ROBDD $F = \{B_1, \dots, B_q\}$. Выбирается диаграмма $B \in F$ в соответствии с некоторой эвристикой (например, диаграмма, имеющая наибольшую высоту). Перебираются все пути вида $\pi^0 \in B$, и для каждого такого пути SAT оракул применяется к КНФ $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$. Если для любого $\pi^0 \in B$ КНФ $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ невыполнима, то $S_f \cong S_h$. Для решения проблемы выполнимости формул вида $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ используется SAT оракул.

Некоторые задачи такого вида могут оказаться слишком сложными. Соответственно, был реализован итеративный вариант описанной схемы. А именно, SAT оракул запускался на каждой задаче вида $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ с некоторой отсечкой по времени. Если задача за это время не решалась, соответствующий путь π^0 сохранялся в отдельном списке.

Предположим, что $\Pi^0 = \{\pi_1^0, \dots, \pi_r^0\}$ – список путей, на которых SAT для КНФ $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ не была решена за отведенное время. Этому множеству соответствует некоторая ДНФ D^0 , по которой строится ROBDD, обозначаемая $B(D^0)$. Функция $f_{B(D^0)}$, заданная $B(D^0)$, принимает значение 0 на любом пути из Π^0 и только на них. Пусть теперь B' – ROBDD из F , отличная от B и представляющая некоторую функцию вида $f_{B'}$. Рассматривается ROBDD B'' , представляющая функцию $f_{B(D^0)} \vee f_{B'}$. По аналогии со сказанным выше можно показать, что $S_f \cong S_h$ тогда и только тогда, когда для любого $\pi^0 \in B''$ КНФ $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$ невыполнима. Данная итеративная схема может быть распространена на любое число ROBDD из семейства F .

Описанные выше алгоритмы были реализованы в рамках библиотеки работы с различными типами диаграмм в применении к сложным вариантам LEC².

Вычислительные эксперименты проводились на КНФ, кодирующих LEC для различных алгоритмов умножения пар натуральных чисел [7]. Конкретно, были рассмотрены схемы в базисе $\{\wedge, \neg\}$ (And-Inverter Graphs, AIG), реализующие следующие алгоритмы: «Столбик» (Column), «Алгоритм Дадды» (Dadda algorithm), «Декомпозиция Карацубы» (Karatsuba decomposition).

В описанной выше схеме в роли SAT оракула, решающего SAT для формул вида $C_{f \oplus h}(\alpha_{\pi^0})$, использовался решатель MapleLCMDistChronoBT [8].

В следующей таблице приведено сравнение времени решения ряда LEC задач для перечисленных выше функций базовым решателем MapleLCMDistChronoBT (сокр. MapleChrono) и описанной выше вычислительной схемой.

Таблица 1. Сравнение времени решения рассматриваемых задач предложенной схемой и базовым SAT-решателем. Время указано в секундах.

	Column & Dadda	Column & Karatsuba	Dadda & Karatsuba
--	----------------	--------------------	-------------------

² <https://github.com/Vikseko/PyDJD/tree/separate>

Алгоритм решения	11x11	12x12	11x11	12x12	11x11	12x12
MapleChrono	842	9743	6222	>286400	8478	>286400
Diagram scheme	1330	6033	3944	18209	2378	13792

Авторы выражают благодарность С.Е. Кочемазову и К.И. Чухареву за полезные идеи, высказанные в процессе разработки представленных алгоритмов, а также за помощь в проведении экспериментов.

1. Molitor P., Mohnke J. Equivalence Checking of Digital Circuits: Fundamentals, Principles, Methods. Kluwer Academic Publishers, 2004. 263 pp.
2. Drechsler R., Junttila T.A., Niemela I. Non-clausal SAT and ATPG // In Handbook of Satisfiability - Second Edition. Ser. FAIA. Vol. 336. IOS Press, 2021. Pp. 1047–1086.
3. Bryant R. Graph-based algorithms for Boolean function manipulation // IEEE Trans. on Computers. 1986. Vol. 35. Issue 8. Pp. 677–691.
4. Biere A., Cimatti A., Zhu Y., Clarke E. Symbolic model checking without BDD // TACAS 1999. LNCS. Vol. 1597. Pp. 193–207.
5. Kaufmann D., Biere A., Kauers M. Verifying large 730 multipliers by combining SAT and computer algebra // In 2019 Formal Methods in Computer Aided Design (FMCAD). 2019. Pp. 28–36.
6. Semenov A., Otpuschennikov I. On one class of decision diagrams // Automation and remote control. 2016. Vol. 77. Pp. 617–628.
7. Kondratiev V., Kochemazov S., Semenov A. Using Parallel SAT Solving to Study Hard Combinatorial Problems Associated with Boolean Circuits // CCIS. 2023. Vol. 1868. Pp. 123–136.
8. Nadel A., Ryvchin V. Chronological Backtracking. // In SAT, ser. LNCS. 2018. Vol. 10929. Pp. 111–121.

О ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ РАВНОВЕСИЙ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.А.Косов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М.Матросова СО РАН
kosov_idstu@mail.ru

Рассмотрим механическую систему с потенциальными и гироскопическими силами, описываемую уравнениями Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} + h_k G_k \dot{q}_k + C_k q_k + \frac{\partial f(q)}{\partial q_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Здесь $q_k \in \mathbb{R}^{n_k}$, $q = (q_1^T, q_2^T, \dots, q_m^T)^T \in \mathbb{R}^n$, $n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$ – отдельные выделенные векторные компоненты и полный вектор обобщенных координат системы; кинетическая энергия имеет вид

$$T = T(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \varphi_k(s_1, \dots, s_m) \|\dot{q}_k\|^2, \quad s_k = \|q_k\|^2, \quad (2)$$

а все функции $\varphi_k(s_1, \dots, s_m)$ строго положительные и непрерывно дифференцируемые; потенциальная энергия имеет вид

$$P(q) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m q_k^T C_k q_k + f(s_1, \dots, s_m, \sigma_1, \dots, \sigma_m), \quad \sigma_k = q_k^T C_k q_k, \quad (3)$$

где C_k – постоянные симметричные квадратные матрицы размера $n_k \times n_k$ с вещественными элементами, а $f(s_1, \dots, s_m, \sigma_1, \dots, \sigma_m)$ – некоторая непрерывно дифференцируемая функция своих аргументов, все частные производные которой как и сама функция обращаются в нули при обращении всех аргументов в ноль.

Постоянные кососимметрические матрицы G_k в системе (1) должны быть выбраны так, чтобы гарантировать устойчивость положения равновесия $q = \dot{q} = 0$.

Теорема 1. Пусть все размерности n_k – четные, кинетическая и потенциальная энергия имеют соответственно вид (2) и (3), причем все матрицы C_k имеют только кратные собственные значения четной кратности.

Тогда существуют кососимметрические невырожденные матрицы G_k такие, что произведение $G_k C_k$ будет кососимметрической матрицей, и при использовании таких матриц в качестве матриц G_k гироскопических сил в (1) положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ будет устойчиво по Ляпунову при

$$h_k^2 > h_{k0} = 4\varphi_k(0) \frac{\lambda_{\max}(G_k^T G_k)}{\lambda_{\min}^2(G_k^T G_k)} \lambda_{\max}^{1/2}(C_k^T C_k).$$

Замечания. Если матрица C_k положительно определена при некотором k , то можно положить соответствующую матрицу $G_k = 0$, т.е. гироскопические силы в данной подсистеме можно не применять. Размерность n_k при этом может быть и нечетной.

Если матрица C_k знакопостоянная положительная (в частности, нулевая) при некотором k , то соответствующее значение $h_{k0} = 0$, т.е. гироскопические силы в данной подсистеме можно брать как угодно малыми.

Утверждение теоремы 1 останется в силе, если функция $f(s_1, \dots, s_m, \sigma_1, \dots, \sigma_m)$ зависит еще и от аргументов вида $r_k = q_k^T L_k q_k$ где матрицы L_k обладают тем свойством, что $G_k L_k$ кососимметрична, например $L_k = -G_k^T G_k$.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ УПРАВЛЯЕМЫМИ СИСТЕМАМИ

Н.О. Косьянов

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

kosyanov.nik@gmail.com

Рассматривается двухвирусная модель SIIR (Susceptible-Infected1-Infected2-Recovered) (Восприимчивый-Зараженный1-Зараженный2-Выздоровевший), которая задаётся системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{S}(t) = -\delta_1 S(t)I_1(t) - \delta_2 S(t)I_2(t), & \dot{I}_1(t) = (\delta_1 S(t) - \sigma_1 - u_1(t))I_1(t), \\ \dot{I}_2(t) = (\delta_2 S(t) - \sigma_2 - u_2(t))I_2(t), & \dot{R}(t) = (\sigma_1 + u_1(t))I_1(t) + (\sigma_2 + u_2(t))I_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

Здесь δ_i – интенсивность заражения вирусом V_i , а σ_i – интенсивность выздоровления, а функции $u_i(t)$ – доля инфицированных, находящихся на медицинском лечении, $i = \overline{1,2}$, $t \in [t_0, t_1] = T$. Управление $u(t) = (u_1(t), u_2(t))^T \in U \subseteq PC_T$, где U – множество допустимых управлений (подмножество пространства кусочно-непрерывных на T функций). Общие затраты, связанные с вирусом, можно представить в виде:

$$J = \int_T [f_1(I_1(t)) + f_2(I_2(t)) - g(R(t)) + h_1(u_1(t)) + h_2(u_2(t))] dt, \quad (2)$$

где $f_i(I_i(t))$ – ущерб экономике, связанный с заболеванием индивидов (например – оплата больничных), $g(R(t))$ – бонус, связанный с выздоровлением, $h_i(u_i(t))$ – затраты на медицинское лечение (например – покупка лекарств и оборудования). Задача рассматривалась для линейных и квадратичных функций f_i, g и h_i - $i = \overline{1,2}$. Эпидемическая задача оптимального управления заключается в минимизации целевого функционала J :

$$J(I_1(t), I_2(t), R(t), u_1(t), u_2(t)) \downarrow \min_{u \in U}. \quad (3)$$

Для поиска допустимых траекторий и управлений была разработана программа на основе метода Управления с прогнозированием модели (УПМ) из библиотеки Model Predictive Control Toolbox для MATLAB. Полученные допустимые траектории было проведено сравнение с допустимым решением, полученным на основе уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана и принципа максимума Понтрягина.

Предложение. Так как система (1) нелинейная, то для того, чтобы проверить являются ли полученные траектории и управления решением (т.е. удовлетворяют необходимым и достаточным условиям оптимальности) требуется использовать теорию невыпуклой оптимизации.

1. Gubar E., Zhu Q. Optimal control of influenza epidemic model with virus mutations // 2013 European Control Conference (ECC). 2013. pp. 3125–3130.
2. Kosyanov N., Gubar E., Taynitskiy V. MPC Controllers in SIIR Epidemic Models // Computation (MDPI). 2023. № 9.
3. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. М.: Издательство «Факториал Пресс», 2002.
4. Понтрягин Л.С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976.

О СПОСОБАХ ПОСТРОЕНИЯ SAT КОДИРОВОК СУММЫ НЕСКОЛЬКИХ ЧИСЕЛ

С.Е. Кочемазов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,
veinamond@gmail.com

Одной из областей применения алгоритмов решения задачи булевой выполнимости (SAT) является анализ различных свойств программ и схем, таких как достижимость, обратимость и т. п. При рассмотрении криптографических функций основной интерес в контексте применения SAT состоит в решении так называемых задач обращения: по известному образу найти прообраз. В частности, SAT-подход демонстрирует хорошую эффективность в применении к задаче обращения хеш-функций из семейств MD и SHA [1]. Отличительной особенностью упомянутых хеш-функций является тот факт, что они активно используют целочисленное суммирование, при этом за раз суммируется несколько чисел. В рамках данного доклада будут рассмотрены способы кодирования соответствующих операций в SAT.

При пропозициональном кодировании суммы целых чисел последние удобно рассматривать как упорядоченные наборы (векторы), состоящие из булевых переменных. То есть, при сложении двух 32-битных чисел, мы имеем дело с векторами $A = (a_1, \dots, a_{32}), B = (b_1, \dots, b_{32}), a_i, b_i \in \{0,1\}, i = 1, \dots, 32$. Без ограничения общности, будем полагать, что a_1 – это младший бит, а a_{32} – старший. Для того, чтобы закодировать, что $X = A + B, X = (x_1, \dots, x_{32})$ (при переполнении старший бит суммы отбрасывается), стандартный способ фактически реализует стандартное суммирование столбиком: от младшего разряда к старшему с учетом битов переноса ($c_i, i = 1, \dots, 32$).

$$x_1 = a_1 \oplus b_1, c_1 = a_1 \wedge b_1$$
$$x_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}, c_i = (a_i \wedge b_i) \vee ((a_i \oplus b_i) \wedge c_{i-1}), i = 2, \dots, 32$$

На практике, соответствующий алгоритм удобно представлять в виде сети из функциональных элементов, называемых сумматорами (adders), а именно полусумматоров (half-adders) и полных сумматоров (full adders). Полусумматор – это схема, которая реализует сумму двух бит: она берет на вход два бита и выдает два бита выхода.

$$HA(a, b) = (s_1, s_2), s_1 = a \oplus b, s_2 = a \wedge b.$$

Полный сумматор берет на вход три бита и выдает два бита выхода:

$$FA(a, b, c) = (s_1, s_2), s_1 = a \oplus b \oplus c, s_2 = (a \wedge b) \vee ((a \oplus b) \wedge c).$$

Таким образом, полный сумматор позволяет учитывать бит переноса, в то время как полусумматор – нет. Вообще, полный сумматор можно рассматривать как схему, которая строит двоичное представление суммы трех бит.

В хеш-функциях часто требуется складывать одновременно от трех до пяти 32-битных чисел. Очевидно, сложение, например, трех чисел, можно рассматривать как пару операций сложения двух чисел. Однако, данный способ подразумевает введение большого числа дополнительных переменных. Альтернативный вариант был исследован в работе [2], где было предложено использовать сумматоры для более чем 3 входов и вычислять биты суммы нескольких чисел сразу, без использования промежуточных сумм.

В настоящем докладе мы подробно рассмотрим оба способа кодирования. Будет показано, что способ кодирования из [2] фактически заимствует приемы, впервые введенные при разработке схем умножения натуральных чисел, таких как дерево Уолеса или алгоритм Дадды. Более конкретно, речь идет о так называемых схемах умножения с компрессией столбца (Column Compression Multipliers) [3], в которых слагаемые числа представляются в виде точечных диаграмм (dot notation), и алгоритм умножения реализуется как способ компрессии столбцов диаграммы. В более широком смысле

компрессор – это схема, которая производит сжатие столбцов и/или строк точечной диаграммы. Например, полусумматор и полный сумматор преобразуют две и три вертикальных точки одного столбца, соответственно, в две горизонтальных (одна в текущем и одна в соседнем слева столбце), то есть их можно рассматривать как (2:2) и (3:2) компрессоры.

Мы рассмотрим различные варианты кодировок, которые можно построить на основе компрессоров разных видов, в том числе для задач обращения хеш-функций из семейств MD и SHA и задач факторизации, а также приведем результаты вычислительных экспериментов по их решению.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 22-21-00834 «Разработка эвристик для повышения эффективности современных алгоритмов решения проблемы максимальной выполнимости (MaxSAT)».

1. O. Zaikin. Inverting 43-step MD4 via Cube-and-Conquer // IJCAI proceedings. 2022. Pp. 1894-1900.
2. V. Nossur. SAT-based preimage attacks on SHA-1 // Master thesis. University of Oslo. 2012.
3. K. Bickerstaff, E. Swartzlander Jr., M. Schulte. Analysis of Column Compression Multipliers // IEEE Symposium on Computer Arithmetic. 2001. Pp. 33-39.

ПРОГРАММНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОЦЕНКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ СПОРТСМЕНОВ - ЮНИОРОВ

Кривов М.В., Дьякович М.П., Аверин А.С.

Ангарский государственный технический университет

maxb949@mail.ru, marik914@rambler.ru, sashaaverin2000@yandex.ru,

Сбалансированное рациональное питание особенно важно для сохранения здоровья молодых спортсменов, испытывающих высокие физические нагрузки. Для оценки правильности питания необходим мониторинг физического развития юниоров и разработка медицинских рекомендаций на основе расчетов оптимальной энергетической и пластической ценности пищи. При этом информация стекается на различных этапах медицинского осмотра от разных специалистов к лицу, отвечающему за разработку рекомендаций. Для сопровождения оценки энергетической и пластической ценности на основе норм сбалансированного рационального питания [1] и данных о физическом развитии юниоров, тяжести и регулярности их тренировок было разработано программное средство (ПС). Массив данных о физическом развитии спортсменов был получен сотрудниками ВСИМЭИ в ходе медицинских осмотров. ПС написано на языке программирования Python, состоит из графического интерфейса для отображения выходных данных; модуля контроля, организующего правильное взаимодействие всех модулей программы; модуля расчета, проводящего анализ и необходимые вычисления; модуля работы с данными, обеспечивающего взаимодействие программы с хранилищем данных. Используется локальная БД на Sqlite с открытым кодом, что позволяет хранить и перемещать данные вместе с программой, исключает необходимость наличия сервера для БД. В ПС была реализована система глобальной синхронизации данных с разных источников по технологии распределенного реестра Blockchain. Транзакции по обращению с данными оформляются в связанный список блоков, который закачивается на облачный диск с помощью API Яндекс.

Далее использовалась технология распределенного реестра DLT (Distributed Ledger Technology)[2], позволяющая создать децентрализованную систему для быстрой и надежной синхронизации данных между пользователями. DLT основана на принципе Blockchain, но не требует постоянной проверки транзакций. За счет этого узлы могут временно выходить из сети, но при возвращении будут автоматически синхронизироваться с остальными узлами и получать последние обновления. Для синхронизации данных в распределенной технологии реестра DLT первоначально планировалось использовать Telegram API и бот Telegram (TB). Но ограничения самого Telegram API, не позволяющие боту взаимодействовать со своими же отправленными сообщениями и общаться с другими ботами, обусловили отказ от использования TB. Был создан Discord Bot (DB), используя Discord API, и заранее созданный сервер Discord, который функционирует только на узлах системы и обеспечивает обмен информацией в виде зашифрованных JSON-файлов, представляющих транзакции, между узлами. Кроме того, DB оснащен программным блоком, который отвечает за алгоритм шифрования и расшифровки информации. Такое решение позволяет обеспечить безопасный обмен данными внутри системы с соблюдением приватности и конфиденциальности с минимальными ограничениями, которые существуют при использовании других платформ обмена сообщениями. Необходимо в дальнейшем проанализировать и другие методы, которые могут использоваться для синхронизации данных в DLT, такие как алгоритм консенсуса Raft и технология DAG (Directed Acyclic Graph).

Таким образом, разработанное ПС с использованием DLT позволит врачам получать информацию об отклонении от идеальной массы тела, характере соматотипа,

энергетической и пластической ценности суточного рациона, разрабатывать рекомендации по сбалансированному питанию юниоров, т.е. решать задачи сохранения здоровья молодежи.

1. МР 2.3.1.0253-21.2.3.1. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. МР: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021.
2. SCOTT NEVIL Distributed Ledger Technology (DLT): Definition and How It Works URL: <https://www.investopedia.com/terms/d/distributed-ledger-technology-dlt.asp> (дата обращения 21.09.2023).

О НЕКОТОРЫХ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЯХ С НУЛЕВЫМ ФРОНТОМ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТИПА «ХИЩНИК-ЖЕРТВА»

П.А. Кузнецов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
kuznetsov@icc.ru

В докладе рассматривается система двух квазилинейных параболических уравнений

$$u_t = \alpha_1 u_x + \beta_1 (uv_{xx} + v_x u_x) + F(u, v), \quad v_t = \alpha_2 v_x - \beta_2 (vu_{xx} + u_x v_x) + G(v, u), \quad (1)$$

описывающая взаимодействие двух биологических видов: хищников v и жертв u . Здесь F, G, f, g , – достаточно гладкие функции; $\alpha_{1,2}, \beta_{1,2}$ – вещественные константы. При этом справедливы соотношения $\beta_{1,2} \neq 0$ и $F(0,0) = G(0,0) = 0$.

Содержательный класс решений системы (1) составляют решения с нулевыми фронтами, предполагающие наличие достаточно гладких линий $x = a(t)$ и $x = b(t)$ (границы ореолов обитания популяций), таких, что

$$u(t, x)|_{x=a(t)} = 0, \quad v(t, x)|_{x=b(t)} = 0; \quad a'(0), b'(0) \neq 0. \quad (2)$$

Отметим, что при $u, v = 0$ происходит вырождение параболического типа системы.

В литературе наиболее распространен частный случай подобных решений, а именно, тепловые и фильтрационные (для одного уравнения [2,3]), а также диффузионные (для систем типа «реакция-диффузия» [4]) волны. В системе (1) мы имеем гораздо более сложную взаимосвязь уравнений, нежели в реакционно-диффузионных системах, что делает невозможным простое перенесение результатов. Частный случай $a(t) = b(t)$ исследован в работе [5] доказана теорема существования аналитического решения с нулевыми фронтами, получены некоторые точные решения.

В данной работе для задачи (1), (2) в общем случае $a(t) \neq b(t)$ получены новые точные решения с нулевым фронтом.

1. Murray J.D. *Mathematical Biology II: Spatial Models and Biomedical Applications. Interdisciplinary Applied Mathematics. Vol. 18.* New York: Springer, 2003.
2. Самарский А.А., Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Михайлов А.П. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений. М.: Наука, 1987.
3. Сидоров А.Ф. Избранные труды: Математика. Механика. М.: Физматлит, 2001.
4. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Слевак Л.Ф. Задача об иницировании диффузионной волны для нелинейной параболической системы второго порядка // Труды института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29. № 2. С. 67-86.
5. Казаков А.Л., Кузнецов П.А. Аналитические решения с нулевым фронтом для нелинейной вырождающейся параболической системы // Дифференциальные уравнения. 2022. Т. 58. № 11. С. 1461-1470.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ АТЕРОГЕННОЙ ФРАКЦИИ ХОЛЕСТЕРИНА

В.В. Кузьменко¹, А.С. Аникин², А.Ю. Горнов²

¹ИГМАПО – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СОРАН
kw7@mail.ru, anikin@icc.ru, gornov@icc.ru

Воздействие на патологические механизмы развития атеросклероза предполагает коррекцию нарушений липидного обмена [1]; при этом выбор лекарственных препаратов и схемы лечения определяется выраженностью выявленных нарушений [2]. Ожидается, что результаты лабораторного обследования должны максимально точно отражать изменения в организме пациента. Однако, в большинстве случаев, при выборе методов лабораторной диагностики специалисты стремятся достичь баланса между точностью используемых методов и их себестоимостью. Для удешевления обследования вместо прямого измерения концентрации интересующего аналита применяется расчетный метод, косвенно оценивающий его содержание (см., напр., [3]). В случае, если лаборатория вынуждена применять расчетные методики, рассчитанные показатели должны быть максимально близкими к результатам, получаемым в ходе непосредственных измерений.

Перед нами стояла задача разработать математическую модель, предназначенную для повышения точности расчета фракции холестерина липопротеинов низкой плотности. Для построения моделей использованы результаты лабораторного обследования пациентов, у которых в сыворотке крови были измерены концентрации триглицеридов и различных фракций холестерина. Эффективность моделей косвенно оценивалась путем сравнения систематических и случайных ошибок при расчетах, выполненных на этих моделях, относительно значений, измеренных на анализаторе. Для повышения точности расчетной методики, была применена технология создания статических моделей на основе оператора Шепарда [4,5]; проверка качества полученной модели проводилась с использованием метода комитетов. Алгоритмы, составляющие основу предложенной методики, реализованы на языке C/C++ и функционируют под управлением ОС семейств Windows и Linux.

На первом этапе для уменьшения количества расчетов в ходе оценки принципиальной возможности использования метода Шепарда были проведены вычислительные эксперименты на тестовой выборке, состоящей из 212 наблюдений. По результатам проведенных вычислений получены следующие параметры относительной погрешности: среднее арифметическое относительной погрешности вычисления 3,94% и дисперсия 452,23. Средняя погрешность вычислений оказалась значительно меньше, чем при использовании расчетной методики Фридвальда [3], применяемого повсеместно в медицинских лабораториях. К сожалению, данные результаты нельзя было считать удовлетворительными, поскольку имела место значительная дисперсия, которая характеризовалась наличием точек с чрезмерно высокой погрешностью. Количество таких элементов невелико, но их присутствие резко снижало возможность практической применимости созданной модели.

По опыту предыдущих работ было принято решение о проведении т.н. «горизонтальной чистки», заключающейся в целенаправленном удалении элементов выборки, которые вносят наибольший «шум»; выполнение данной операции до непосредственного построения модели позволяет в ряде случаев существенно повысить её адекватность. Максимальное количество удаляемых при «чистке» элементов выбиралось из «правила 95%» («правило 2-х сигм») - т.е. модель строилась из предположения, что у большинства пациентов проявляются общие закономерности и взаимосвязи, а те элементы, которые мы удаляем (около 5%), представляют собой

отдельную группу, которую необходимо рассматривать более подробно и создавать другую модель с учетом ее особенностей. При количестве пациентов 212 максимально допустимое число удаляемых точек выборки составило всего 10 наблюдений. Анализ результатов тестирования, полученных на рассматриваемой выборке, дает возможность утверждать, что проведение процедуры «чистки» позволило значительно, в 3-4 раза снизить и среднее арифметическое, и дисперсию погрешности модели. Тем не менее, проведенные вычислительные эксперименты позволили предположить целесообразность проведения расчетов на выборке с большим количеством наблюдений.

Дальнейшее моделирование было проведено на полной доступной нам выборке из 4384 наблюдений. На этом этапе при тестировании моделей и реализации процедуры их «чистки» уже потребовались значительные вычислительные ресурсы. Кроме того, подверглась проверке также и гипотеза о том, что уменьшение погрешности возможно путем разделения исходной выборки на несколько специализированных частей с последующим построением моделей на каждой из них. Первый рассмотренный вариант такого решения состоял в разбиении всех пациентов на 2 группы - мужчин и женщин. Для всех моделей было произведено тестирование их качества с последующей «чисткой»; границей «чисток» был выбран 1% от общего количества элементов - использовалось «правило 3-х сигм».

Проведенные многовариантные вычислительные эксперименты показали принципиальную работоспособность исследованных подходов. Подтверждено, что при выполнении расчетов на модели, построенной на основе метода Шепарда, проведение операции «чистки» исходной выборки способно значительно повысить качество моделей. Гипотеза о целесообразности разделения выборки на части и построения на них независимых моделей также частично подтверждается вычислительным экспериментом. Выделение женщин в отдельную модель сразу позволило на порядок снизить дисперсию погрешности. Отдельная модель для мужчин, напротив, имеет гораздо худшие показатели, чем модель женщин и общая модель пациентов. Тем не менее, при проведении повторной процедуры «чистки» ее характеристики так же оказалось возможным привести в допустимые диапазоны.

Протестированные модели позволили значительно, в несколько раз, уменьшить погрешности расчетов концентрации холестерина липопротеинов низкой плотности в сравнении с расчетной методикой [3], применяемой в клинических лабораториях, и могут служить основой для методик практического использования.

1. Mahmood S.S., Levy D., Vasan R.S., Wang T.J. The framingham heart study and the epidemiology of cardiovascular disease: a historical perspective // *Lancet*. - 2014 - V.383. Pp. 999-1008.
2. Кудинов В.А. Роль фосфолипидных мицелл в усилении обратного транспорта холестерина: Диссертация на соискание ученой степени к.б.н. // М.: НИИ биомедицинской химии, 2019. 110 с. https://ibmc.msk.ru/content/thesisDocs/KudinovVA_diss.pdf.
3. Friedewald W.T., Levy R.I., Fredrickson D.S. Estimation of the Concentration of Low-Density Lipoprotein Cholesterol in Plasma, Without Use of the Preparative Ultracentrifuge // *Clinical Chemistry*. 1972. Vol. 18., № 6. Pp. 499-502.
4. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proc. of the 23 ACM National Conference*, ACM Press. 1968. Pp. 517-524.
5. Caira R., Dell'Accio F. Shepard-Bernoulli operators // *Mathematics of computation*. 2007. V. 76, № 257. Pp. 299-321.

ИНТЕРАКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ

С.Г. Куклин¹, А.С. Аникин²

¹Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования - филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
sergeik61@yandex.ru, anikin@icc.ru

В докладе обсуждается продолжение выполняемых авторами работ (см. [1]) по созданию высокоинформативных персонифицированных методик анализа данных, получаемых с применением стандартной непрерывной процедуры суточной регистрации ЭКГ. Изучаемая проблема оказалась, к сожалению, достаточно сложной и пока не допускает использования стандартных алгоритмических подходов (см., напр., [2]). В связи с этим на данном этапе принято решение попытаться создать интерактивную технологию, позволяющую эксперту-кардиологу в «ручном режиме» получать тонкие оценки состояния пациента на основе, как алгоритмов анализа данных, так и методик визуального анализа временных рядов кардиоинтервалов. В качестве базовой инструментальной среды была выбрана Anaconda, кросс-платформенный дистрибутив языка программирования Python 3. Реализация графического интерфейса пользователя выполнена с использованием GUI-библиотек PySide2 и QCustomPlot, а также пакетов NumPy и Pandas. Работоспособность реализованного программного кода проверена на актуальных 64-битных операционных системах семейств Windows 10 и GNU/Linux.

К настоящему времени выполнена реализация следующих компонентов: модуль импорта данных из стандартного холтеровского формата; модуль экспорта результатов анализа в Microsoft Excel; блок графического отображения исходных и фильтрованных временных рядов; алгоритм поиска несущих информацию фрагментов; алгоритм оценки параметров и метрик сердечного ритма в выделенных фрагментах; технология интерактивной коррекции границ фрагментов; средства координации и визуализации данных в различных окнах и масштабах и другие. Пример пользовательского интерфейса представлен на рисунке. Реализованный вариант предложенной технологии прошел первичную апробацию в среде специалистов и получил положительные оценки.

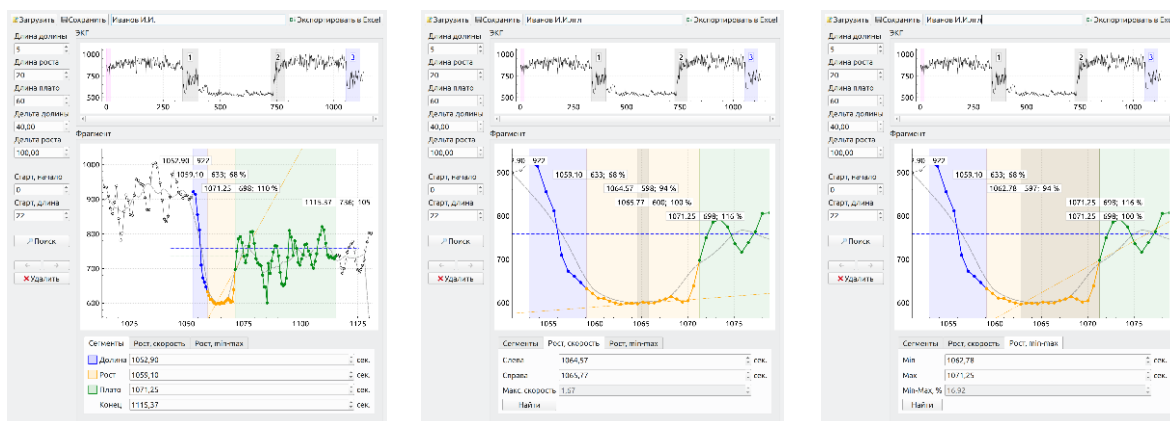


Рис. 1. Пользовательский интерфейс технологии анализа данных холтеровского мониторинга.

1. Куклин С.Г., Горнов А.Ю. Новая версия программного комплекса анализа данных холтеровского мониторинга // Материалы конференции "Ляпуновские чтения" (Иркутск, 5–9 декабря 2022). С. 88.

2. Шелехова Ю.В., Храмцова Н.А., Онучина Е.В., Куклин С.Г. Динамики вариабельности сердечного ритма у мужчин работоспособного возраста, страдающих язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки, ассоциированной и неассоциированной с инфекцией *Helicobacter Pylori* // ЭНИ Забайкальский мед. вестник. 2015, № 2. С. 13–16.

КРИТЕРИЙ ОБОБЩЕННОЙ ВНУТРЕННЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ ФОРМАЦИЙ

А.В. Лакеев

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
lakeyev@icc.ru

Получены необходимые и достаточные условия для выполнимости некоторого свойства, являющегося обобщением понятия внутренней устойчивости формации, динамика движения которой описывается нелинейными дифференциальными уравнениями.

1. Введение.

Определение 1 [1-4]. Будем говорить, что задана формация из l взаимосвязанных объектов, если:

1) задан ориентированный граф $G = (V, E)$ без кратных дуг и петель с множеством вершин $V = \{1, \dots, l\}$ и множеством дуг $E \subseteq V \times V$, называемый в дальнейшем графом формаций. При этом вершины графа отождествляются с движущимися объектами формации, а дуги указывают на наличие взаимосвязей между некоторыми из них. Если $(i, j) \in E$, то i -ый объект называется ведомым, а j -ый объект – ведущим (дуга $(i, j) \in E$ считаем ориентированным от i к j);

2) динамика движения i -го объекта задается нелинейным дифференциальным уравнением с управлением

$$\dot{x}_i = f_i(t, x_i, u_i), \quad x_i \in R^n, u_i \in R^m, \quad t \in T = R_0^1 = [0, +\infty) \text{ - время}; \quad (1)$$

3) каждой дуге $(i, j) \in E$ сопоставлен вектор $d_{i,j} \in R^n$, задающий требуемое взаимное расположение (в идеале) i -го и j -го объектов относительно друг друга, при этом в идеале хотелось бы иметь соотношение $x_i + d_{i,j} = x_j$.

Будем обозначать $L_i = \{j \in V \mid (i, j) \in E\}$ – множество ведущих для i -го объекта и V_0 – множество лидеров формации, $V_0 \subseteq V$.

Пространством состояний для всей формации будет множество $X = (R^n)^l = \{x = (x_1, \dots, x_l) \mid x_i \in R^n, i = 1, \dots, l\}$.

Пусть $U = (R^m)^{T \times X}$ – множество всех функций $u(t, x)$ из $T \times X$ в R^m и для всех $i \in V$ заданы некоторые множества $U_i \subseteq U$ (U_i – множество допустимых управлений для i -го объекта) такие, что выполняется следующее условие:

- а) для любых $u_1 \in U_1, \dots, u_l \in U_l$ и $x_0 = (x_{01}, \dots, x_{0l}) \in X$ существует единственное решение задачи Коши $x(t, x_0, u)$

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(t, x_i, u_i(t, x)), \\ x_i(0) = x_{0i}, \quad i \in V, \end{cases} \quad (2)$$

продолжимое на T ;

- б) если $i \in V_0$, то $u_i(t, x) \equiv \mathbf{0} \in U_i$ (функция тождественно равная нулю допустима для лидеров).

Если $(i, j) \in E$, то через $z_{i,j}(x) = x_j - x_i - d_{i,j}$ обозначим отклонение (ошибку) от идеального состояния между i -ым и j -ым объектами, а если $(i, j) \notin E$, то положим $z_{i,j}(x) \equiv \mathbf{0}$ и $z(x) = (z_{i,j}(x)) \in (R^n)^{l \times l}$ – полная матрица ошибок.

Для оценки величины отклонений используем стандартные классы функций [5, 7]:

• \mathcal{K} – класс функций Хана: $\gamma \in \mathcal{K}$ если $\gamma: [0, +\infty) \rightarrow [0, +\infty)$ – непрерывная, строго возрастающая, $\gamma(0)=0$; $\gamma \in \mathcal{K}_\infty$, если $\lim_{t \rightarrow \infty} \gamma(t) = +\infty$;

• функции класса \mathcal{KL} : $\beta \in \mathcal{KL}$, если $\beta: [0, +\infty) \times [0, +\infty) \rightarrow [0, +\infty)$, $\beta(\cdot, t) \in \mathcal{K}$ при фиксированном t , $\beta(a, \cdot)$ строго убывающая (по t), $\beta(a, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$ и фиксированном $a \in R_+^1 = (0, +\infty)$, $\beta(a, t)$ непрерывна, $\beta(0, t) \equiv 0$.

Определение 2 [1, 2]. Формация называется внутренне устойчивой (или кратко (ВУ)), если существуют функции $\gamma_i \in \mathcal{K}$, $i \in V_0$ и функция $\beta \in \mathcal{KL}$ такие, что для любых управлений $u_i \in U_i$, $i \in V_0$ найдутся управления $u_j \in U_j$, $j \in V \setminus V_0$ такие, что при любых начальных значениях $x_{0i} \in R^n$, $i \in V$ и любых $t \geq 0$ выполняется оценка

$$\|z(t, x_0)\| \leq \beta(\|z(0, x_0)\|, t) + \sum_{i \in V_0} \gamma_i(\sup_{\tau \in [0, t]} \|u_i[\tau]\|), \quad (3)$$

где $z(t, x_0) = z(x(t, x_0, u))$ – полная матрица ошибок, полученная на решениях уравнений (2) при заданных управлениях $u_i \in U_i$ и заданных начальных значениях $x_i(0) = x_{0i} \in R^n$, $i \in V$, $u_i[\tau] = u_i(\tau, x(\tau, x_0, u))$.

Здесь и всюду в дальнейшем нормы векторов и матриц считаются евклидовыми.

Однако уже в работах [3, 4] (и в обзоре [5]) вместо полной матрицы ошибок $z(x)$ используется вектор $e(x) = (e_1(x), \dots, e_l(x))$, где $e_i(x)$ некоторая усредненная ошибка движения i -го объекта которая задается формулой $e_i(x) = \sum_{j \in L_i} S_{i,j}(x_j - d_{i,j}) - x_i$ и $S_{i,j}$ -

проекторы (т.е. линейные операторы из R^n в R^n удовлетворяющие соотношению $S_{i,j}^2 = S_{i,j}$).

Очевидно, что в обоих случаях для модуля ошибки можно выбрать число q , линейное отображение $D: X \rightarrow R^q$ и вектор $d \in R^q$ так, что при этом выполняется равенство $\|z(x)\| = \|Dx - d\|$ или $\|e(x)\| = \|Dx - d\|$.

Поэтому далее считаем, что нам **заданы** линейное отображение $D: X \rightarrow R^q$ и вектор $d \in R^q$. Множество решение системы линейных уравнений $Dx = d$ (возможно пустое) будем обозначать $\Omega = \Omega(D, d) = \{(x_1, \dots, x_l) \mid Dx - d = \mathbf{0}\}$.

Определение 3. 1) Формация называется обобщенно внутренне устойчивой (или кратко (ОВУ)), если существуют функции $\gamma_i \in \mathcal{K}$, $i \in V_0$ и функция $\beta \in \mathcal{KL}$ такие, что для любых управлений $u_i \in U_i$, $i \in V_0$ найдутся управления $u_j \in U_j$, $j \in V \setminus V_0$ такие, что при любых начальных значениях $x_{0i} \in R^n$, $i \in V$ и любых $t \geq 0$ выполняется оценка

$$\|Dx(t, x_0, u) - d\| \leq \beta(\|Dx_0 - d\|, t) + \sum_{i \in V_0} \gamma_i(\sup_{\tau \in [0, t]} \|u_i[\tau]\|), \quad (4)$$

где $x(t, x_0, u)$ решения задачи Коши (2) при заданных управлениях $u_i \in U_i$ и заданных начальных значениях $x_i(0) = x_{0i} \in R^n$, $i \in V$, а $u_i[\tau] = u_i(\tau, x(\tau, x_0, u))$, $i \in V_0$.

2) Если при этом найдутся управления $u_j \in U_j$, $j \in V \setminus V_0$ не зависящие от $u_i \in U_i$, $i \in V_0$ (т.е. одни и те же для любых $u_i \in U_i$, $i \in V_0$), то будем говорить, что для формации выполняется свойство (ОВУ)₁.

3) Если найдутся управления $u_j \in U_j$, $j \in V \setminus V_0$ при нулевых управлениях лидеров, т.е. $u_i(t, x) \equiv \mathbf{0} \in U_i$ для всех $i \in V_0$ (при этом в неравенстве (4) второе слагаемое

тождественно равно нулю), то будем говорить, что для формации выполняется свойство $(OBY)_0$.

Очевидно, что $(OBY)_1 \Rightarrow (OBY) \Rightarrow (OBY)_0$.

Теорема 1. Если для формации выполняется свойство $(OBY)_0$, то множество $\Omega = \{(x_1, \dots, x_l) \mid Dx - d = \mathbf{0}\} \neq \emptyset$, т.е. существует хотя бы одно решение системы линейных уравнений $Dx = d$ и, кроме того, если управления $u_i^0(t, x)$ для объектов с номерами i из $V \setminus V_0$ обеспечивают это свойство, т.е. для решения $x^0(t, x_0)$ задачи Коши

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(t, x_i, \mathbf{0}) = f_i^0(t, x_i), & i \in V_0, \\ \dot{x}_i = f_i(t, x_i, u_i^0(t, x)) = f_i^0(t, x), & i \in V \setminus V_0, \end{cases} \quad x^0(0, x_0) = x_0, \quad (5)$$

выполняется следующее неравенство

$$\|Dx^0(t, x_0) - d\| \leq \beta(\|Dx_0 - d\|, t), \quad (6)$$

с некоторой функцией $\beta \in \mathcal{KL}$, то Ω инвариантно относительно $x^0(t, x_0)$ (т.е. если $x_0 \in \Omega$, то $x^0(t, x_0) \in \Omega$ при всех $t \in T = R_0^1 = [0, +\infty)$).

Определим также стандартным способом расстояние от вектора $x \in X$ до множества $\Omega \neq \emptyset$, полагая $|x|_\Omega = \rho(x) = \rho(x, \Omega) = \inf_{y \in \Omega} \|x - y\|$. Тогда верно следующее утверждение.

Предложение 1. Если $\Omega \neq \emptyset$, то для любого $x \in X$ выполняются неравенства

$$\|Ax - d\| \leq \|A\|_2 \cdot |x|_\Omega, \quad |x|_\Omega \leq \|A^+\|_2 \cdot \|Ax - d\|, \quad (7)$$

где $\|A\|_2 = \sup_{\|x\|=1} \|Ax\|$ — операторная (матричная) норма, A^+ — псевдообратная для A .

Таким образом, функции $|x|_\Omega$ и $\|Ax - d\|$ — эквивалентны и неравенство (6) эквивалентно следующему

$$|x^0(t, x_0)|_\Omega \leq \beta_1(|x_0|_\Omega, t), \quad (8)$$

где $\beta_1(a, t) = \|A^+\|_2 \beta(\|A\|_2 a, t) \in \mathcal{KL}$. Кроме того, из неравенства (5) (или (8)) очевидно следует, что множество Ω , инвариантно относительно решений системы (5), то из предложений 1 – 3 получает следующее утверждение.

Теорема 2. Свойство $(OBY)_0$ выполняется тогда и только тогда, когда

- 1) существует решение системы линейных уравнений $Dx = d$, т.е. $\Omega \neq \emptyset$;
- 2) для объектов с номерами i из $V \setminus V_0$ существуют управления $u_i^0(t, x) \in U_i$ и функция $\beta_1(a, t) \in \mathcal{KL}$ такие, что выполняется неравенство (8) для решений задачи Коши системы (5) и, в частности, множество Ω должно быть инвариантно относительно решений этой системы.

Замечание 1. Известно, что неравенство (8) с функцией $\beta_1 \in \mathcal{KL}$ эквивалентно глобальной асимптотической устойчивости не пустого инвариантного множества Ω [5]. Поэтому свойство $(OBY)_0$ — это стабилизируемость множества Ω при нулевых управлениях лидеров.

Из теоремы 2 и предложения 1 получаем следующее утверждение.

Теорема 3. Свойство $(OBY)_1$ выполняется тогда и только тогда, когда

- 1) существует решение системы линейных уравнений $Dx = d$, т.е. $\Omega \neq \emptyset$;
- 2) существуют функции $\gamma_i \in \mathcal{K}$, $i \in V_0$, функция $\beta \in \mathcal{KL}$ и управления $u_j(t, x) \in U_j$ для объектов с номерами j из $V \setminus V_0$ такие, что для любых управления $u_i(t, x) \in U_i$, $i \in V_0$, и решений задачи Коши системы (2) выполняется следующее неравенство

$$\|x(t, x_0, u)\|_{\Omega} \leq \beta(\|x_0\|_{\Omega}, t) + \sum_{i \in V_0} \gamma_i(\sup_{\tau \in [0, t]} \|u_i[\tau]\|), \quad (9)$$

где $x(t, x_0, u)$ решения задачи Коши (2) при заданных управлениях $u_i \in U_i$ и заданных начальных значениях $x_i(0) = x_{0i} \in R^n, i \in V$, а $u_i[\tau] = u_i(\tau, x(\tau, x_0, u)), i \in V_0$.

Замечание 2. Из теоремы 3 получаем, что свойство $(OBY)_1$ означает возможность выбрать управления лидеров так, что относительно остальных управлений выполняется достаточно хорошо изученное свойство устойчивости от входа к состоянию (УВС) по отношению к множеству $\Omega \neq \emptyset$ (вообще говоря, не компактному) [6].

Замечание 3. Для исследования глобальной асимптотической устойчивости не пустого инвариантного множества Ω и УВС по отношению к множеству $\Omega \neq \emptyset$ применим метод функций Ляпунова) [5, 6]. При этом для некоторых классов систем показано, что соответствующие теоремы дают необходимые и достаточные условия. Например, для глобальной асимптотической устойчивости не пустого инвариантного множества Ω решений автономной гладкой системы $\dot{x} = F(x)$ необходимо и достаточно существования гладкой функции Ляпунова $V : X \rightarrow [0, +\infty)$ такой, что выполняются следующие условия:

$$\alpha_1(\|x\|_{\Omega}) \leq V(x) \leq \alpha_2(\|x\|_{\Omega}), \quad (10)$$

$$\nabla V(x) \cdot F(x) \leq -\alpha_3(\|x\|_{\Omega}), \quad (11)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in \mathcal{K}_{\infty}$, а для УВС по отношению к множеству $\Omega \neq \emptyset$ системы $\dot{x} = F(x, u)$ необходимо и достаточно существования гладкой функции Ляпунова $V : X \rightarrow [0, +\infty)$ такой, что выполняются условие (10) и следующее условие:

$$\nabla V(x) \cdot F(x, u) \leq -\alpha_3(\|x\|_{\Omega}) + \alpha(\|u\|),$$

где $\alpha \in \mathcal{K}$.

1. Tanner H. G., Pappas G. J. Formation input-to-state stability // Proc. 15th IFAC World Congr. Autom. Control. Barcelona, 2002. P. 1512-1517.
2. Tanner H.G., Kumar V., Pappas G.J. Stability properties of interconnected vehicles // Proc. 15th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems. South Bend, Indiana, 2002. P. 1-12, paper number 4615-2. [CD-ROM].
3. Tanner H.G., Pappas G.J., Kumar V. Input-to-state Stability on Formation Graphs // Proc. 41st IEEE Conference on Decision and Control. Las Vegas, NV, 2002. P. 2439-2444.
4. Tanner H.G., Pappas G.J., Kumar V. Leader-to-formation stability // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2004. V. 20. No. 3. P. 443-455.
5. Sontag E.D., Lin Y. Stabilization with respect to noncompact sets : Lyapunov characterization and effect of bounded inputs // Proc. NOLCOS'92. Bordeaux, France, 1992.
6. Дашковский С. Н., Ефимов Д. В., Сонгаг Э. Д. Устойчивость от входа к состоянию и смежные свойства систем // АиТ. 2011. № 8. С. 3-40.
7. Халил Х. К. Нелинейные системы. М.: РХД, 2009.

ОЦЕНИВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ, ВЫСОТЫ ПОДЪЁМА И ПЛАВУЧЕСТИ ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ ТЭЦ ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ *

А.А. Леженин, В.Ф. Рапута, Р.А. Амикишиева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
lezhenin@ommfao.sccc.ru

Наблюдения за дымовыми шлейфами от труб предприятий создают возможности изучения особенностей их распространения и определения характеристик активной фазы подъёма [1]. Спутниковая информация является существенным дополнительным источником исследования этих процессов [2, 3]. Моделирование переноса антропогенных примесей на акваторию озера Байкал и окружающие территории является актуальной задачей. Тепловые электростанции, работающие на угле, относятся к значимым источникам атмосферного загрязнения. Высоты труб ТЭЦ достигают нескольких сотен метров, а их выбросы влияют на обширные территории [4, 5]. Для моделирования атмосферного загрязнения требуется разнообразная информация о тепловых и динамических параметрах этих источников, актуальных метеорологических условиях [6, 7]. Предметом исследования являются дымовые шлейфы от высотных труб: Ново-Иркутской ТЭЦ, Гусиноозёрской ГРЭС, расположенных недалеко от оз. Байкала. Высокотемпературные выбросы газоздушных смесей от труб ТЭЦ происходят на высотах пограничного слоя атмосферы.

На рис. 1 приведены фрагменты спутниковых снимков окрестностей Ново-Иркутской ТЭЦ и Гусиноозёрской ГРЭС. Информация получена с сайта Сибирского центра ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «ПЛАНЕТА» (<http://www.rcpod.ru>).

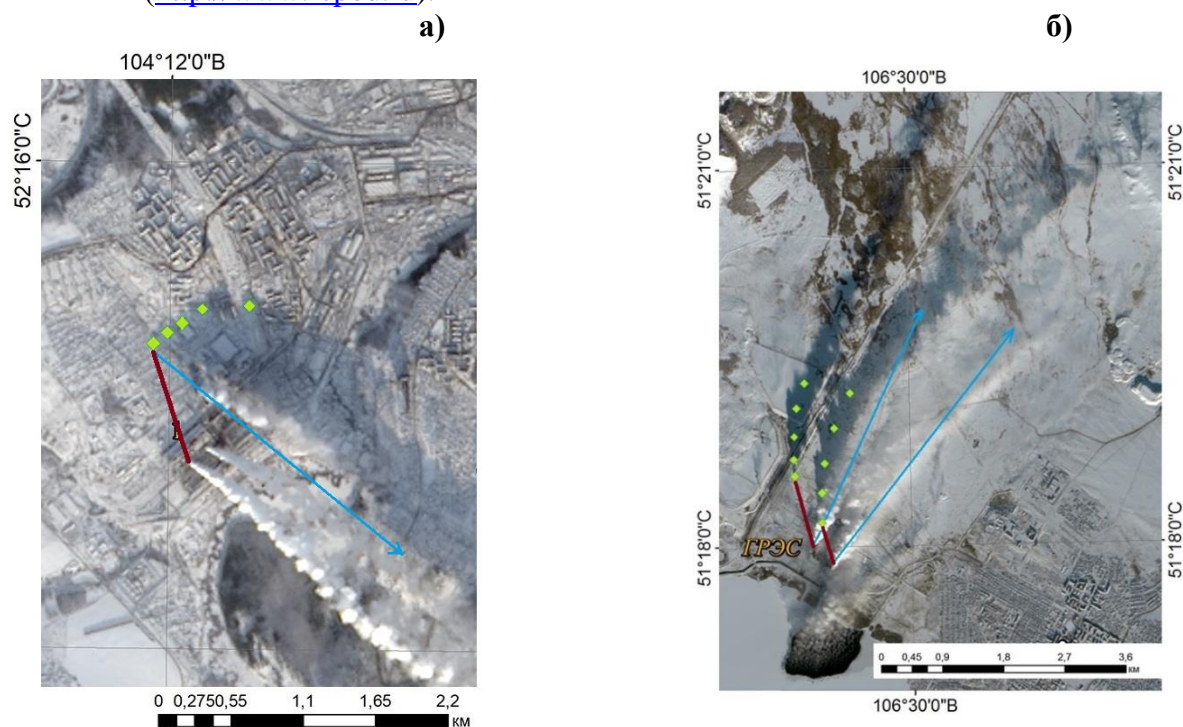


Рис. 1. Фрагменты спутниковых снимков с ИСЗ «Landsat-8» окрестностей Ново-Иркутской ТЭЦ 18.01.2019 г. 03:58 UTC (а) и Гусиноозёрской ГРЭС 06.12.2019 г. 03:47 UTC (б)

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования, грант 075-15-2020-787.

На рис. 1 отображены дымовые шлейфы и их тени на поверхности земли. На снимках синими линиями указаны направления пассивного переноса примесей. Зелёными ромбиками помечены проекции осей шлейфов на земную поверхность. Красным цветом выделены тени труб на поверхности земли. Для анализа метеорологических условий привлекались данные аэрологического зондирования станций Ангарск (индекс ВМО 30715) и Чита (индекс ВМО 30758).

На основе методов теории размерности и подобия установлена связь [8] между высотой подъёма z дымового факела над устьем трубы и его горизонтальным смещением x в поле ветра

$$z = C l^{1/3} x^{2/3} \quad , \quad (1)$$

$$l = \frac{F}{u^3} \quad , \quad (2)$$

$$F = g w_s r^2 (1 - T_a/T_c) \quad , \quad (3)$$

где l – масштаб длины (м), F – параметр силы плавучести ($\text{м}^4/\text{с}^3$), u – средняя скорость ветра в слое распространения примеси (м/с); g – ускорение свободного падения ($\text{м}/\text{с}^2$); w_s – скорость дымовой смеси на выходе из трубы (м/с); r – радиус трубы (м); T_c – температура смеси ($^\circ\text{К}$); T_a – температура окружающего воздуха ($^\circ\text{К}$), C – константа, которая определяется по экспериментальным данным.

Если значение параметра плавучести F неизвестно, то введя обозначение $A = C l^{1/3}$, приходим к соотношению вида

$$z = A x^{2/3} \quad . \quad (4)$$

В этом случае параметр A можно определить методом наименьших квадратов по наблюдениям траекторий дымовых шлейфов. Оценка неизвестного параметра A состоит в определении условия минимума следующего функционала

$$f(A) = \sum_{n=1}^N [z_n - A x_n^{2/3}]^2 \quad , \quad (5)$$

где x_n , z_n – измеренные координаты точек на оси дымового шлейфа, $n = 1, \dots, N$.

Исходя из соотношений (4), (5), методом наименьших квадратов были получены оценки параметров A для трёх рассматриваемых шлейфов, представленных на рис. 1. Для дымового шлейфа Ново-Иркутской ТЭЦ оценка параметра A составила 0,63. Для шлейфов Гусиноозёрской ГРЭС значение A равно 0,62 (труба 330 м), A равно 0,73 (труба 190 м). На рис. 2 приведены восстановленные численно по данным измерений траектории дымовых шлейфов от труб Гусиноозёрской ГРЭС.

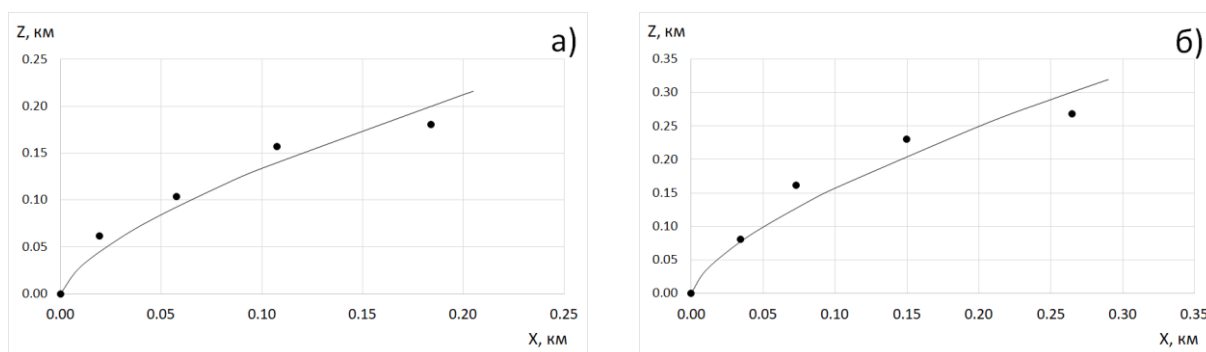


Рис. 2. Восстановленные по зависимости (4) и спутниковому снимку (рис. 1б) траектории дымовых шлейфов от труб Гусиноозёрской ГРЭС: 330 м (а) и 190 м (б)

Из анализа рис. 2 вытекает вполне удовлетворительное соответствие положений выбранных точек на осях шлейфов и их траекториям, рассчитанных по зависимости (4).

Следует отметить, что для разновысоких труб Гусиноозёрской ГРЭС подъём шлейфов заметно различается. Для более высокой трубы он составил 180 метров, а для трубы пониже подъём от устья достиг 270 метров. В данном случае это происходит из-за существенно большей скорости выхода из неё дымовой смеси.

В работах [9, 10] предложены методы расчёта высот подъёма и потоков плавучести дымовых струй в атмосфере. В табл. 1 для рассматриваемых труб ТЭЦ приведены результаты расчётов этих характеристик. Косвенные оценки этих же параметров выполнены с использованием спутниковых снимков (рис. 1).

Таблица 1

Оценки параметров дымовых шлейфов от высотных труб ТЭЦ

Название ТЭЦ, дата снимка	u , м/с	T_a , °С	Расчёт Δh , м	Оценка $\widehat{\Delta h}$, м	Расчет F , м ⁴ /с ³	Оценка \widehat{F} , м ⁴ /с ³
Ново-Иркутская ТЭЦ (труба 250 м), 18.01.2019 г.	8	- 11	264	280	784	866
Гусиноозёрская ГРЭС (труба 330 м), 06.12.2019 г.	8	- 15	223	180	591	415
Гусиноозёрская ГРЭС (труба 190 м), 06.12.2019 г.	7	- 16,5	348	270	994	652

Результаты, приведённые в табл. 1, показывают вполне удовлетворительное согласие полученных оценок дополнительных высот подъёма и параметров плавучести с прямыми расчётами этих характеристик.

Проведённое исследование показало эффективность использования предложенных методов оценивания по спутниковой информации траекторий и характеристик подъёма дымовых смесей от высотных труб. Эти методы базируются на фундаментальном «законе 2/3», вытекающим из теории размерности и подобия. Используемые соотношения применимы для температурной стратификации атмосферы, близкой к нейтральной в слое распространения выбросов. В этом случае вполне обеспечены адекватные описания активной фазы подъема дымовых струй. В зимних условиях на высотах дымовых выбросов атмосферная стратификация, как правило, близка к нейтральной. При проведении численного анализа спутниковые снимки дымовых шлейфов от рассматриваемых ТЭЦ и информация со станций аэрологического зондирования является весьма существенной.

Учитывая, что дымовые трубы ТЭЦ являются весьма дорогостоящим оборудованием, нарушение режимов их эксплуатации может привести к значимому экологическому ущербу [11]. Осуществление контроля параметров плавучести дымовых смесей и принятие решений по оптимизации тепловых и динамических характеристик выбросов из труб ТЭЦ возможно на основе косвенного определения дополнительных высот подъёма шлейфов с использованием спутниковой информации.

1. Федосов А.А., Чичирова Н.Д., Шарифуллин А.Ш. Моделирование начального подъема выбросов тепловых электрических станций. 5. Совместный расчет динамического и теплового подъема // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2003. № 5–6. С. 14–20.
2. Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Егоров В.В., Стальная М.В. Использование данных ИСЗ Landsat для определения концентрации загрязнителей в шлейфах от продувки газовых скважин на основании модели источника // Исследование Земли из космоса. 2014. № 2. С. 55–66.
3. Sofiev M., Ermakova T., Vankevich R. Evaluation of the smoke-injection height from wild-land fires using remote-sensing data // Atmos. Chem. Phys. 2012. № 12. P. 1995–2006.

4. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Макухин В.Л., Ходжер Т.В., Чипанина Е.В. Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 60-65.
5. Obolkin V., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Netsvetaeva O., Khodzher T. Sulfur and Nitrogen Oxides in the Atmosphere of Lake Baikal: Sources, Automatic Monitoring, and Environmental Risks // Atmosphere. 2021. Т. 12. 1348.
6. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей. Под ред. Ф.Т.М. Ньистада и Х. Ван Допа. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985.
7. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991.
8. Briggs G.A. A Plume Rise Model Compared with Observations // Journal of the Air Pollution Control Association. 1965. V. 15, № 9. P. 433-438.
9. Ванкевич Р.Е., Ермакова Т.С., Софиев М.А. Сравнение результатов вычисления высоты подъема струи дыма от лесных пожаров по полуэмпирическим формулам и одномерной модели BUOYANT // Ученые записки. 2011. № 19. С. 61-70.
10. Рапута В. Ф., Леженин А. А. Оценка динамических и тепловых характеристик подъема дымового факела по спутниковой информации // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 7. С. 530-534.
11. Мирсалихов К.М., Грибков А.М., Чичирова Н.Д. Аналитический обзор методик выбора оптимальных параметров дымовых труб // Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 1. С. 131-145.

НЕКОТОРЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

Т.А. Леоненко, М.А. Новиков

Иркутский государственный университет

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

nma@icc.ru

В докладе рассматривается нелинейная механическая автономная консервативная система, задающая движение твердого тела вокруг неподвижной точки [1]. Уравнения движения описываются системой дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} A\dot{p} = (B - C)qr + Mg(y_0\gamma_3 - z_0\gamma_2), & \dot{\gamma}_1 = r\gamma_2 - q\gamma_3, \\ B\dot{q} = (C - A)rp + Mg(z_0\gamma_1 - x_0\gamma_3), & \dot{\gamma}_2 = p\gamma_3 - r\gamma_1, \\ C\dot{r} = (A - B)pq + Mg(x_0\gamma_2 - y_0\gamma_1), & \dot{\gamma}_3 = q\gamma_1 - p\gamma_2. \end{cases}$$

В общем случае существует три общих интеграла движения [1]:

$$V_0 = Ap^2 + Bq^2 + Cr^2 - 2m(x_0\gamma_1 + y_0\gamma_2 + z_0\gamma_3) = const, \quad V_1 = Ap\gamma_1 + Bq\gamma_2 + Cr\gamma_3 = const, \quad ,$$

$$V_2 = \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2 = 1.$$

При определенных значениях моментов инерции и координат центра масс дополнительно могут существовать первые интегралы. Здесь рассматриваются частные интегралы Стеклова-Бобылева, одним из которых приводится $V_3 = Ag\gamma_1^2 + 2(A - B)q_0^2\gamma_2 = const$, имеющий место при $x_0 = 0 = z_0$, $A \neq B$, $r = 0$.

Отыскание стационарных движений проводится известным методом Рауса-Ляпунова [2], который опирается на нахождение экстремума одного из первых интегралов движения при выполнении других. По известной теореме Лагранжа для этого составляется связка интегралов $K(x, \lambda) = V_0 - \lambda_1 V_1 - \lambda_2 V_2 - \lambda_3 V_3$, а для другого частного интеграла $r = 0$ просто выполняется подстановка.

В промежуточной задаче нахождения решений уравнений стационарности рассматриваются два способа:

- 1) подстановка $r = 0$ в формальные уравнения стационарности,
- 2) составление уравнений стационарности после подстановки $r = 0$.

Для второго способа алгебраических уравнений возникает меньше.

Обсуждению подлежат стационарные движения, получаемые из получаемых здесь разных решений уравнений стационарности.

1. Голубев В.В. Лекции по интегрированию уравнений движения тяжелого твердого тела около неподвижной точки. М.: ГИТТЛ, 1953.
2. Ляпунов А.М. О постоянных винтовых движениях твердого тела в жидкости// Сборник сочинений. Т. 1, М.: Изд -во АН СССР, 1954. С. 276 – 319.

СПИНОВЫЕ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ ФЕРМИОННЫХ СИСТЕМ

В. П. Ломов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
lomov.vl@icc.ru

В квантовой механике [1, 2] состояния частиц с полуцелым спином (фермионы) подчиняются уравнению Паули

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi, \quad \hat{H} = \frac{1}{2m} \left(\hat{\mathbf{p}} - \frac{q}{c} \hat{\mathbf{A}} \right)^2 + U + q\Phi - \frac{q\hbar}{2mc} \boldsymbol{\sigma} \mathbf{H},$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ — матрицы Паули. Спиновые проекционные операторы

$$\Sigma(\mathbf{s}) = \frac{1}{2} (1 + \mathbf{s}\boldsymbol{\sigma}), \quad \mathbf{s}^2 = 1, \quad (1)$$

коммутируют с оператором Гамильтона \hat{H}

$$[\hat{H}, \Sigma(\mathbf{s})] = 0 \quad (2)$$

поэтому являются интегралами движения в стационарных состояниях.

Однако, как известно, квантовая механика не является фундаментальной теорией, поскольку не учитывает релятивистские эффекты. С другой стороны, в релятивистской теории [2, 3] с самого начала работают со свободными состояниями. В наивном подходе [2, 4] вводятся два энергетических оператора

$$A^\pm = \frac{1}{2} \left(1 \pm \frac{\hat{p}}{m} \right), \quad \hat{p} \equiv p_\mu \gamma^\mu \quad (3)$$

и два спиновых

$$\Sigma(s) = \frac{1}{2} (1 + \gamma^5 \hat{s}), \quad \hat{s} = s_\mu \gamma^\mu, \quad s^2 \equiv s_\mu s^\mu = -1, \quad (sp) = 0, \quad (4)$$

которые коммутируют между собой

$$[A^\pm, \Sigma(s)] = 0, \quad (5)$$

что представляет собой аналог соотношения (2). Аналогичные результаты получаются и в систематическом подходе [5].

Учёт взаимодействия между фермионами или взаимодействие фермионов с движущейся средой приводит к изменению проекционных операторов (3) и (4). В работах [6–8] было показано что энергетические проекционных операторы — решение задачи на собственные значения обратного пропагатора S :

$$S\Pi_k = \lambda_k \Pi_k, \quad (6)$$

где λ_k — собственные значения.

Обратный пропагатор, как и проекторы Π_k разлагаются по базису

$$S(p) = \sum_M S_M \mathcal{P}_M, \quad \Pi = \sum_M A_M \mathcal{P}_M,$$

собственные значения — решения характеристического уравнения

$$|(S_2 - \lambda)S_3^{-1}(S_1 - \lambda) - S_4| = 0.$$

Базисные элементы строятся из -матриц и 4-импульса

$$\mathcal{P}_{1/2} = \frac{1}{2} \left(1 \pm \frac{\hat{p}}{W} \right), \quad \mathcal{P}_{3/4} = \mathcal{P}_{1/2} \gamma^5, \quad W = \sqrt{p^2} > 0.$$

Если мы рассматриваем систему из n взаимодействующих фермионов, то обратный пропагатор $S(p)$ представляет собой «двойную» матрицу: коэффициенты разложения S_K будут матрицами $n \times n$, как и операторы \mathcal{P} . Собственных значений будет $2n$, как и собственных проекторов Π_k . Непосредственно проверяется, что они удовлетворяют равенству

$$\sum_k \Pi_k = 1.$$

Однако, здесь не хватает спиновых степеней свободы для каждого фермиона. В работе [6] было показано, что спиновый проектор можно выбрать в таком виде

$$\Sigma(s) = \frac{1}{2}(1 + \gamma^5 \hat{s}\hat{n}), \quad n_\mu = p_\mu/W, \quad \hat{n} = n_\mu \gamma^\mu,$$

коммутирующий с проекционными операторами (обобщение соотношения (5))

$$[\Pi_k, \Sigma(s)] = 0.$$

В случае движения фермиона в движущейся среде появляется ещё один 4-вектор — 4-вектор скорости среды u_μ . С его помощью строится 4-вектор z_μ со свойствами идентичными вектору s_μ , так что для фермиона, распространяющегося в движущейся среде, оператор спина будет равен

$$\Sigma(z) = \frac{1}{2}(1 + \gamma^5 \hat{z}\hat{n}),$$

также коммутирующий со своими проекционными операторами.

Таким образом, квантовомеханические проекционные операторы (1) в релятивистской теории для свободных состояний заменяются на операторы (4), но для взаимодействующих полей эта формула нуждается в корректировке. Мы видим, что спиновые проекционные операторы должны строиться как коммутирующие с проекционными операторами Π_k , являющиеся решениями задачи на собственные значения (6).а

1. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. — 7-е изд., стер. изд. — СПб. : Издательство «Лань», 2004. — С. 672.
2. Бьёркен Д. Д., Дрелл С. Д. Релятивистская квантовая механика. — М. : Наука, 1978. — Т. 1. — С. 296. — Пер. с англ.
3. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. — 4-е изд., испр. изд. — М. : Наука, 1984. — С. 600.
4. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. — М. : Мир, 1984. — Т. 1. — С. 448. — Пер. с англ.
5. Новожилов Ю. В. Введение в теорию элементарных частиц. — М. : Наука, 1972. — С. 472.
6. Kaloshin A. E., Lomov V. P. Mixing of fermions and spectral representation of propagator // Int. J. Mod. Phys. — 2016. — Vol. A31. — P. 1650031. — 1501.06337.
7. Kaloshin A. E., Voronin D. M. Neutrino propagation in media and axis of complete polarization // Eur. Phys. J. C. — 2019. — Vol. 79, no. 2. — P. 153. — 1808.05514.
8. Dolzhikov D. A., Kaloshin A. E., Lomov V. P. Fermion propagator diagonalization and eigenvalue problem // Mod. Phys. Lett. A. — 2022. — Vol. 37, no. 14. — P. 2250084. — 2109.06470.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖЕСТКОЙ ЦВЕТОЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ С КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМОЙ В РАМКАХ ГАМИЛЬТОНОВА ПОДХОДА

Ю.А. Марков¹, М.А. Маркова^{1,2}, Н.Ю. Марков^{1,2}

¹Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

²Иркутский государственный университет

markov@icc.ru, markova@icc.ru, NYumarkov@gmail.com

В данной работе проведено обобщение классического гамильтонового формализма, представленного в [1,2] с целью описания процессов взаимодействия коллективных возбуждений кварк-глюонной плазмы (КГП), подчиняющихся бозе-статистике, с высокоэнергетической цветозаряженной частицей, распространяющейся в КГП.

Для решения поставленной задачи получены специальные канонические преобразования в виде функционального разложения по нормальной бозонной переменной c_k^a и переменной Q^a , описывающей цветовую степень свободы жесткой частицы:

$$\begin{aligned} a_k^a &= c_k^a + F_k Q^a + \int dk_1 \left[\tilde{V}_{k,k_1}^{(1)a a_1 a_2} c_{k_1}^{*a_1} Q^{a_2} + \tilde{V}_{k,k_1}^{(2)a a_1 a_2} c_{k_1}^{a_1} Q^{a_2} \right] + \\ &+ \int dk_1 dk_2 \left[V_{k,k_1,k_2}^{(1)a a_1 a_2} c_{k_1}^{a_1} c_{k_2}^{a_2} + V_{k,k_1,k_2}^{(2)a a_1 a_2} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{a_2} + V_{k,k_1,k_2}^{(3)a a_1 a_2} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{*a_2} \right] + \\ &+ \int dk_1 dk_2 \left[W_{k,k_1,k_2}^{(1)aa_1a_2a_3} c_{k_1}^{a_1} c_{k_2}^{a_2} Q^{a_3} + W_{k,k_1,k_2}^{(2)aa_1a_2a_3} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{a_2} Q^{a_3} + W_{k,k_1,k_2}^{(3)aa_1a_2a_3} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{*a_2} Q^{a_3} \right] + \\ &\quad + \dots, \\ Q^a &= Q^a + \int dk_1 \left[M_{k_1}^{a a_1 a_2} c_{k_1}^{a_1} Q^{a_2} + M_{k_1}^{*a a_1 a_2} c_{k_1}^{*a_1} Q^{a_2} \right] + \\ &+ \int dk_1 dk_2 \left[M_{k_1,k_2}^{(1)a a_1 a_2 a_3} c_{k_1}^{a_1} c_{k_2}^{a_2} Q^{a_3} + M_{k_1,k_2}^{(2)a a_1 a_2 a_3} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{a_2} Q^{a_3} + M_{k_1,k_2}^{*(1)a a_1 a_2 a_3} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{*a_2} Q^{a_3} \right] + \\ &\quad + \dots. \end{aligned}$$

Полученные преобразования позволили исключить “несущественный” гамильтониан третьего порядка по взаимодействию $H^{(3)}$ и получить явный вид эффективного гамильтониана четвертого порядка $\mathcal{H}^{(4)}$, который описывает упругое рассеяние плазмона на жесткой цветозаряженной частице:

$$\mathcal{H}^{(4)} = i \int dk_1 dk_2 \mathcal{T}_{k_1,k_2}^{a a_1 a_2} c_{k_1}^{*a_1} c_{k_2}^{a_2} Q^a.$$

Здесь *полная эффективная амплитуда* $\mathcal{T}_{k_1,k_2}^{a a_1 a_2}$ представлена в виде суммы двух вкладов:

$$\mathcal{T}_{k_1,k_2}^{a a_1 a_2} = -i \left[\omega_{k_1}^l - \omega_{k_2}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \right] \tilde{V}_{k_1,k_2}^{(2)a_1 a_2 a} + \tilde{T}_{k_1,k_2}^{(2)a_1 a_2 a},$$

где, в свою очередь, эффективная амплитуда $\tilde{T}_{k_1,k_2}^{(2)a_1 a_2 a}$ имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{k_1,k_2}^{(2)a_1 a_2 a} &= T_{k_1,k_2}^{(2)a_1 a_2 a} + \\ &+ f^{a_1 a_2 a} \left\{ \frac{\phi_{k_1}^* \phi_{k_2}}{\omega_{k_2}^l - \mathbf{v} \cdot \mathbf{k}_2} + 2i \left(\frac{\mathcal{V}_{k_1,k_2,k_1-k_2} \phi_{k_1-k_2}^*}{\omega_{k_1-k_2}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)} - \frac{\mathcal{V}_{k_2,k_1,k_2-k_1} \phi_{k_2-k_1}^*}{\omega_{k_2-k_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1)} \right) \right\}. \end{aligned}$$

Здесь ω_k^l – частота собственных продольных колебаний КГП с волновым вектором \mathbf{k} . Первый член в правой части $\mathcal{T}_{k_1,k_2}^{a a_1 a_2}$ имеет резонансный фактор

$$\Delta\omega_{k_1,k_2} \equiv \omega_{k_1}^l - \omega_{k_2}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2),$$

который фактически является следствием законов сохранения импульса и энергии в исследуемом процессе рассеяния. Если это условие резонанса выполняется точно, то вкладом этого члена в эффективный гамильтониан можно полностью пренебречь. На

рисунке 1 дана диаграммная интерпретация различных членов в фигурных скобках в эффективной амплитуде $\tilde{T}_{k_1, k_2}^{(2) a_1 a_2 a}$.

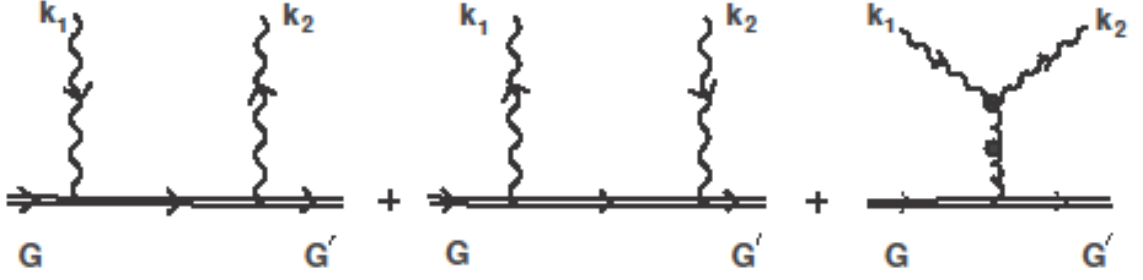


Рис. 1. Эффективная амплитуда $\tilde{T}_{k_1, k_2}^{(2) a_1 a_2 a}$ для процесса упругого рассеяния плазмона на жесткой цветной частице. Черный кружок обозначает НТЛ-ресуммирование, а двойная линия – жесткую частицу

Если ансамбль взаимодействующих бозе-возбуждений при низком уровне нелинейности имеет случайные фазы, то его можно описать статистически, введя бозонную корреляционную функцию:

$$\langle c_k^{*a} c_{k'}^{a'} \rangle = \mathcal{N}_k^{aa'} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}'),$$

где $\mathcal{N}_k^{aa'}$ – плотность числа плазмонов, которая является нетривиальной матрицей в некотором эффективном цветовом пространстве.

Были выписаны уравнения Гамильтона для бозонных нормальных переменных c_k^a , $c_k^{*a'}$ и цветного заряда Q^a . Для случая непрерывных сред в качестве определения скобки Ли-Пуассона было выбрано выражение:

$$\{F, G\}_{LPB} = \int d\mathbf{k}' \left\{ \frac{\delta F}{\delta a_{\mathbf{k}'}^c} \frac{\delta G}{\delta a_{\mathbf{k}'}^{*c}} - \frac{\delta F}{\delta a_{\mathbf{k}'}^{*c}} \frac{\delta G}{\delta a_{\mathbf{k}'}^c} \right\} + \frac{\delta F}{\delta Q^a} \frac{\delta G}{\delta Q^b} f^{abc} Q^c.$$

Первый член в правой части – это стандартная каноническая скобка, а f^{abc} – антисимметричные структурные константы алгебры Ли $su(N)$. На основе уравнений Гамильтона было получено матричное кинетическое уравнение для функции $\mathcal{N}_k^{aa'}$:

$$\frac{\partial \mathcal{N}_k^{aa'}}{\partial t} = -i \left\{ \mathcal{T}_{k,k} (\mathcal{N}_k T^e)^{aa'} - \mathcal{T}_{k,k}^* (T^e \mathcal{N}_k)^{aa'} \right\} \langle Q^e \rangle - \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{k_1, k_2}|^2 \times \\ \times \left\{ \frac{(\mathcal{N}_k T^{d'} \mathcal{N}_{k_1} T^d)^{aa'} f^{dd'e} \langle Q^e \rangle + i \left[(\mathcal{N}_k T^e T^d)^{aa'} - (T^e \mathcal{N}_{k_1} T^d)^{aa'} \right] \langle Q^d \rangle \langle Q^e \rangle}{\Delta\omega_{k_1, k_2} + i0} \right. \\ \left. - \frac{(T^{d'} \mathcal{N}_{k_1} T^d \mathcal{N}_k)^{aa'} f^{dd'e} \langle Q^e \rangle + i \left[(T^e T^d \mathcal{N}_k)^{aa'} - (T^e \mathcal{N}_{k_1} T^d)^{aa'} \right] \langle Q^d \rangle \langle Q^e \rangle}{\Delta\omega_{k_1, k_2} - i0} \right\},$$

где $(T^a)^{bc} \equiv -i f^{abc}$ – генераторы алгебры Ли $su(N_c)$ в присоединенном представлении. Далее была предложена следующая цветовая декомпозиция матричной функции:

$$\mathcal{N}_k^{aa'} = \delta^{aa'} N_k^l + (T^c)^{aa'} \langle Q^c \rangle W_k^l$$

и с помощью проектирования на бесцветный и цветовой каналы определены соответствующие кинетические уравнения для скалярных бесцветной и цветной частей плотности числа плазмонов, т.е. для N_k^l и W_k^l :

$$d^A \frac{\partial N_k^l}{\partial t} = 2N_c q_2(t) (\text{Im } \mathcal{T}_{k,k}) W_k^l - N_c q_2(t) \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{k, k_1}|^2 \times$$

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ (N_{\mathbf{k}}^l - N_{\mathbf{k}_1}^l) - \frac{1}{2} N_c (W_{\mathbf{k}}^l N_{\mathbf{k}_1}^l - N_{\mathbf{k}}^l W_{\mathbf{k}_1}^l) \right\} (2\pi) \delta(\omega_{\mathbf{k}}^l - \omega_{\mathbf{k}_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}_1)), \\
N_c \frac{\partial(\langle Q^s \rangle W_{\mathbf{k}}^l)}{\partial t} &= 2N_c (\text{Im } \mathcal{T}_{\mathbf{k},\mathbf{k}}) N_{\mathbf{k}}^l \langle Q^s \rangle - \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{\mathbf{k},\mathbf{k}_1}|^2 \left\{ 2 \delta^{sd} \delta^{ce} + \frac{1}{4} N d^{sd\lambda} d^{ce\lambda} \right\} \times \\
& \times (W_{\mathbf{k}}^l - W_{\mathbf{k}_1}^l) \langle Q^c \rangle \langle Q^d \rangle \langle Q^e \rangle (2\pi) \delta(\omega_{\mathbf{k}}^l - \omega_{\mathbf{k}_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}_1)) + \\
& + \frac{1}{2} N_c^2 \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{\mathbf{k},\mathbf{k}_1}|^2 N_{\mathbf{k}}^l N_{\mathbf{k}_1}^l \langle Q^s \rangle (2\pi) \delta(\omega_{\mathbf{k}}^l - \omega_{\mathbf{k}_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}_1)).
\end{aligned}$$

Здесь введено обозначение для бесцветной квадратичной комбинации усредненного цветного заряда $q_2(t) \equiv \langle Q^e \rangle \langle Q^e \rangle$. Коэффициент $d^A \equiv N_c^2 - 1$ в левой части является инвариантом для группы $SU(N_c)$, d^{abc} – симметричные структурные константы алгебры Ли $su(N_c)$.

Данная система кинетических уравнений была дополнена уравнением на среднее значение цветного заряда $\langle Q^a \rangle$, которое следует из соответствующего уравнения Гамильтона и имеет вид

$$\frac{d\langle Q^a \rangle}{dt} = \frac{1}{2} A(t) \langle Q^a \rangle, \quad \langle Q^a \rangle|_{t=t_0} = Q_0^a,$$

где Q_0^a – некоторый фиксированный (неслучайный) вектор цветного заряда, которым обладала высокоэнергичная частица в начальный момент времени, а функция $A(t)$ определена выражением:

$$A(t) = N_c \int d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 |\mathcal{T}_{\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2}|^2 N_{\mathbf{k}_1}^l N_{\mathbf{k}_2}^l (2\pi) \delta(\omega_{\mathbf{k}_1}^l - \omega_{\mathbf{k}_2}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)).$$

1. Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю., Гитман Д.М. Гамильтонов формализм для бозе-возбуждений в плазме с неабелевым типом взаимодействия // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2020. – Т. 157. – Вып. 2. – С. 327–341.
2. Markov Yu.A., Markova M.A., Markov N.Yu. Hamiltonian formalism for Fermi excitations in a plasma with a non-Abelian interaction // Int. J. Mod. Phys. A. – 2023. – V. 38. – P. 2350015(77).
3. Hakim R. Introduction to relativistic statistical mechanics: classical and quantum. – Singapore: World Scientific Publishing Co., 2011, 538 pp.
4. Haber H.E. Useful relations among the generators in the defining and adjoint representations of $SU(N)$ // SciPost Phys. Lect. Notes. – 2021. – V. 21. – P. 1–11.

ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ САМОСОГЛАСОВАННОЙ СИСТЕМЫ
КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ДВУХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ
БЕСКОНЕЧНО УЗКИХ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ

Ю.А. Марков¹, М.А. Маркова^{1,2}, Н.Ю. Марков^{1,2}

¹Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

²Иркутский государственный университет

markov@icc.ru, markova@icc.ru, NYumarkov@gmail.com

Целью данной работы является анализ самосогласованной системы кинетических уравнений бозе-газового типа, учитывающей изменение во времени мягких возбуждений неабелевой плазмы при взаимодействии с внешней высокоэнергичной цветозаряженной частицей. На основе этих уравнений рассмотрена модельная задача эволюции двух взаимодействующих бесконечно узких волновых пакетов. Получена система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, определяющая динамику взаимодействия бесцветной N_k^l и цветовой W_k^l компонент плотности числа коллективных бозонных возбуждений. Построено точное решение данной системы в параметрической форме.

Выпишем исходную систему интегро-дифференциальных уравнений на скалярные плотности числа плазмонов N_k^l и W_k^l , полученную в [1]:

$$\begin{aligned} d_A \frac{\partial N_k^l}{\partial t} &= 2q_2(t)N_c (\text{Im } \mathcal{T}_{k,k})W_k^l - q_2(t)N_c \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{k,k_1}|^2 \times \\ &\times \left\{ (N_k^l - N_{k_1}^l) - \frac{1}{2}N_c (W_k^l N_{k_1}^l - N_k^l W_{k_1}^l) \right\} (2\pi) \delta(\omega_k^l - \omega_{k_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}_1)), \\ \frac{\partial W_k^l}{\partial t} &= -\frac{1}{2}A(t)W_k^l + 2(\text{Im } \mathcal{T}_{k,k})N_k^l - \\ &- \int d\mathbf{k}_1 |\mathcal{T}_{k,k_1}|^2 \left\{ \rho q_2(t)(W_k^l - W_{k_1}^l) - \frac{1}{2}N_c N_k^l N_{k_1}^l \right\} (2\pi) \delta(\omega_k^l - \omega_{k_1}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}_1)), \end{aligned}$$

где ω_k^l – частота собственных продольно-поляризованных бозе-возбуждений, \mathcal{T}_{k,k_1} – амплитуда упругого рассеяния плазмона на жесткой цветозаряженной частице; функции $q_2(t)$ и $A(t)$ определяются, соответственно, выражениями: $q_2(t) \equiv \langle Q^a(t) Q^a(t) \rangle$ (Q^a – цветной заряд жесткой частицы),

$$A(t) \equiv N_c \int d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 |\mathcal{T}_{k_1,k_2}|^2 N_{k_1}^l N_{k_2}^l (2\pi) \delta(\omega_{k_1}^l - \omega_{k_2}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)).$$

Для получения некоторого представления о поведении решения системы кинетических уравнений была рассмотрена модельная задача взаимодействия двух бесконечно узких волновых пакетов с характерными волновыми векторами \mathbf{k}_0 и \mathbf{k}'_0 . Представим скалярные плотности числа плазмонов N_k^l и W_k^l в следующем виде:

$$\begin{aligned} N_k^l(t) &= N_1(t)\delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}_0) + N_2(t)\delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}'_0), \\ W_k^l(t) &= W_1(t)\delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}_0) + W_2(t)\delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}'_0), \end{aligned}$$

при этом считаем, что $\mathbf{k}_0 \neq \mathbf{k}'_0$. Подставим N_k^l и W_k^l в левую и правую части кинетических уравнений. В итоге получаем систему из четырех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1(t)}{dt} &= A_{13}W_1 - \frac{N_c}{d_A}q_2(t)B(N_1W_2 - N_2W_1), \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= A_{24}W_2 + \frac{N_c}{d_A}q_2(t)B(N_1W_2 - N_2W_1), \\ \frac{dW_1(t)}{dt} &= A_{31}N_1 - \frac{1}{2}A(t)W_1 + BN_1N_2, \quad \frac{dW_2(t)}{dt} = A_{42}N_2 - \frac{1}{2}A(t)W_2 + BN_1N_2. \end{aligned}$$

Матричные элементы $A_{ij}, i, j = 1, \dots, 4$, определяются следующими выражениями:

$$A_{31} = 2(\text{Im } \mathcal{T}_{\mathbf{k}_0, \mathbf{k}_0}), \quad A_{13} = \frac{N_c}{d_A} q_2(t) A_{31}, \quad A_{42} = 2(\text{Im } \mathcal{T}_{\mathbf{k}'_0, \mathbf{k}'_0}), \quad A_{24} = \frac{N_c}{d_A} q_2(t) A_{42},$$

а коэффициент B имеет вид:

$$B = \frac{1}{2} N_c q_2(t) |\mathcal{T}_{\mathbf{k}'_0, \mathbf{k}'_0}|^2 (2\pi) \delta(\omega_{\mathbf{k}_0}^l - \omega_{\mathbf{k}'_0}^l - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{k}_0 - \mathbf{k}'_0)).$$

С целью дальнейшего упрощения проанализируем полученную систему. Матричные элементы A_{13} , A_{24} , A_{31} и A_{42} перед линейными членами в правых частях пропорциональны коэффициентам $\text{Im } \mathcal{T}_{\mathbf{k}_0, \mathbf{k}_0}(\mathbf{v})$ и $\text{Im } \mathcal{T}_{\mathbf{k}'_0, \mathbf{k}'_0}(\mathbf{v})$, которые связаны с бесстолкновительным затуханием Ландау мягких глюонных колебаний. Однако, как известно, затухание Ландау кинематически запрещено в горячей глюонной плазме, поэтому эти матричные элементы можно считать равными нулю: $A_{13} = A_{24} = A_{31} = A_{42} = 0$.

Далее рассмотрим члены последних двух уравнений, содержащие функцию $A(t)$. В силу своего определения эта функция квадратична по бесцветной плотности числа плазмонов, и поэтому члены $A(t)W_1$ и $A(t)W_2$ имеют третий порядок. При построении кинетических уравнений мы ограничились линейными и квадратичными вкладками по плотности числа плазмонов. По этой причине, в пределах принятой точности, в последних двух уравнениях следует отбросить члены с функцией $A(t)$, а в первых двух уравнениях полагать функцию $q_2(t)$ равной ее начальному значению, т.е. $q_2(t) \cong q_2(t_0) \equiv q_2^0$. Учитывая все вышесказанное, систему четырех уравнений можно свести к системе двух уравнений, которая в терминах новых переменных принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dy(t)}{dt} = x(C_1 - x), \\ \frac{dx(t)}{dt} = \beta[x(C_2 - y) + y(C_1 - x)], \end{cases}$$

где C_1 и C_2 – некоторые константы. Для краткости мы обозначили $\beta \equiv Nq_2^0/d_A$ и перешли к новым обозначениям искомым функций: $y \equiv W_1, x \equiv N_1$. В системе мы избавились от параметра B , переопределив формально время $t \rightarrow t/B$. Очевидно, что эта система имеет две стационарные точки, одна из которых тривиальна: $x = y = 0$, а вторая определяется как $x = C_1, y = C_2$.

Далее в силу автономности правых частей данную систему можно свести к одному уравнению, определяющему y как функцию x . В стандартных обозначениях [2] это уравнение имеет вид

$$[g_1(x)y + g_0(x)] \frac{dy}{dx} = f_0(x),$$

где

$$g_0(x) \equiv -C_2x, \quad g_1(x) \equiv 2x - C_1, \quad f_0(x) \equiv \frac{1}{\beta}x(x - C_1).$$

Последнее уравнение относится к классу уравнений Абеля второго рода. Приведем его к "нормальной" форме. Для этой цели произведем замену неизвестной функции, а затем замену аргумента функции

$$w = y + \frac{g_0(x)}{g_1(x)},$$

$$\xi = \int F_1(x) dx = -\frac{1}{2} \frac{C_1 C_2}{2x - C_1}, \quad \text{или} \quad x = -\frac{1}{2} C_1 - \frac{1}{4\xi} C_1 C_2,$$

что позволит привести исследуемое уравнение каноническому виду:

$$w \frac{dw}{d\xi} = w + F(\xi), \quad \text{где} \quad F(\xi) = \frac{C_1^2}{8\beta} \left(\frac{1}{\xi} - \frac{C_2^2}{4\xi^3} \right).$$

Для последнего уравнения при определенном соотношении между параметрами C_1 и C_2 , а именно при $C_2^2 = C_1^2/2\beta$ существует точное решение в параметрической форме (уравнение 1.3.7. в [2]):

$$\xi = \frac{a}{\tau}(\tau - \ln|1 + \tau| - C)^{1/2},$$

$$w = a \left[\frac{1 + \tau}{\tau} (\tau - \ln|1 + \tau| - C)^{1/2} - \frac{1}{2} \tau (\tau - \ln|1 + \tau| - C)^{-1/2} \right],$$

где τ – параметр, C – произвольная постоянная и $a^2 = C_1^2/4\beta$. Возвращаясь к исходной функции y и ее аргументу x , определим точное решение уравнения на функцию y :

$$x = x(\tau, C) = \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{4a}C_1C_2 \frac{\tau}{f(\tau)},$$

$$y = y(\tau, C) = a \left[\frac{1 + \tau}{\tau} f(\tau) - \frac{1}{2} \frac{\tau}{f(\tau)} \right] + \frac{C_2x}{2x - C_1}.$$

Здесь введено обозначение $f(\tau) \equiv (\tau - \ln|1 + \tau| - C)^{1/2}$. Решение исходной динамической системы определяется формулами:

$$x = x(\tau, C), \quad y = y(\tau, C), \quad t = t(\tau, C, \tilde{C}) = -\frac{2a}{C_1^2} \int \frac{d\tau}{(1 + \tau)f(\tau)} + \tilde{C}.$$

Здесь \tilde{C} – еще одна произвольная константа. Последнее соотношение определяет неявную зависимость параметра τ от времени t : $\tau = \tau(t, C, \tilde{C})$, что тем самым позволяет, используя точные решения $x(\tau, C)$ и $y(\tau, C)$, восстановить зависимость x и y и, следовательно исходных функций N_1, N_2, W_1 и W_2 , от времени t .

1. Markov Yu.A., Markova M.A., Markov N.Yu. Hamiltonian formalism for Bose excitations in a plasma with a non-Abelian interaction I: plasmon – hard particle scattering // e-print ArXiv of Cornell University Library: hep-th/2307.15390v1, 57 pp.
2. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по нелинейным дифференциальным уравнениям: Приложения в механике, точные решения. – М: Наука, 1993, 464 с.

ЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТНЫХ АБСТРАКЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЗАДАЧАХ СУПЕРВИЗОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНО- СОБЫТИЙНЫМИ СИСТЕМАМИ

А.В. Давыдов, Н.В. Нагул

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
artem@icc.ru, sapling@icc.ru

Как следует из последних работ по теории супервизорного управления (ТСУ) дискретно-событийными системами (ДСС) [1, 2], главным трендом в развитии ТСУ становится стремление к ее эффективному применению к управлению большими модульными системами, в том числе роботами и робототехническими комплексами. При этом неизбежно столкновение с традиционными проблемами ТСУ, остающимися нерешенными несмотря на усилия многочисленных исследователей. Прежде всего, это проблема экспоненциального роста размерности конечных автоматов как промежуточных структур, возникающих при применении существующих алгоритмов ТСУ. Для решения этой проблемы активно используются различные подходы и архитектуры управления в рамках ТСУ, например, локализация управления, т.е. процедура построения набора локальных супервизоров, совместное функционирование которых эквивалентна работе монолитного супервизора. Новые свойства языков спецификаций, такие как относительная наблюдаемость, определяют класс задач, для которых оказывается возможным построение решения. Помимо локализации, развиваются другие подходы, снижающие вычислительную сложность построения супервизорного управления, например, основанные на иерархии супервизоров и декомпозиции системы. В последнем случае возникает проблема выбора наилучшего соответствия между подсистемами и модулями спецификации.

Одним из широко применяемых способов преодоления проблемы большой размерности является применение автоматных абстракции, когда часть событий системы исключается из рассмотрения при условии эквивалентности исходной и редуцированной структур. Рациональный выбор событий, подлежащих исключению, остается нерешенной задачей, и зависит от рассматриваемой эквивалентности. Одна из широко применяемых эквивалентностей - бисимуляция, или такая поведенческая эквивалентность, которая означает, что после применения редукции каждая цепочка событий имеет такое же будущее продолжение, что и в исходной системе. Для построения автоматных абстракций предложено применить оригинальный метод автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ) [3]. Разработаны общие принципы построения ПОФ для проверки редуцированных моделей на удовлетворение требований бисимуляции и маркированной бисимуляции, а также ряда других известных автоматных абстракций. Подход будет применен к построению децентрализованного супервизора для управления группой наземных роботов, что позволит обеспечить масштабируемость системы управления. События нижнего уровня управления являются предметом абстрагирования для супервизора верхнего уровня при сохранении эквивалентности поведения системы, что позволяет существенно сократить вычислительные затраты на построение управления.

1. Lafortune, S. Discrete event systems: modeling, observation, and control. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. 2019, V. 2. P. 141-159.
2. Cassandras, C., Lafortune, S. Introduction to discrete event systems; Springer Cham, 2021.
3. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000.

АЭРОЗОЛЬНО-РАМАНОВСКИЕ ЛИДАРЫ СЕРИИ «ЛОЗА», ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСОТНОЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД БАЙКАЛОМ

С.В. Насонов, Ю.С. Балин, М.Г. Клемашева, Г.П. Коханенко,
М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
nsvtsk@iao.ru

В современных вопросах атмосферных исследований все более широко развиваются методы лазерного дистанционного зондирования, способствующие решению обширного спектра задач, в том числе обнаружение источников загрязнения атмосферы и контроль трансграничного переноса аэрозоля. На основе лидарных методов осуществляется бесконтактный мониторинг протяженных районов, в широком интервале высот с высоким временным и пространственным разрешением. В исследованиях оптических и микрофизических характеристик аэрозоля масштабы проведения необходимых измерений могут изменяться от локальных наблюдений в одной точке (с помощью стационарных или передвижных мобильных установок) [1–4], до изучения процессов крупномасштабного переноса атмосферных примесей (самолетные или спутниковые наблюдения) [5, 6].

Исследования вертикальной структуры аэрозоля в нижней тропосфере над озером Байкал регулярно проводятся авторами работы с использованием лидаров серии «ЛОЗА», разработанных в Институте оптики атмосферы СО РАН. На протяжении нескольких лет наземные измерения осуществляются с помощью многочастотного мобильного аэрозольно-рамановского лидара «ЛОЗА-М2» [7], в юго-восточной части акватории озера Байкал ($51,84^\circ$ с.ш. и $106,06^\circ$ в.д.), на стационаре «Боярский» Института физического материаловедения СО РАН (рис. 1). В 2018 г. для проведения исследований в сложных корабельных экспедиционных условиях был создан мобильный аэрозольно-рамановский поляризационный лидар «ЛОЗА-А2» [8]. С этого же года с его использованием, как одного из основных инструментов для изучения состояния атмосферы, начали проводиться комплексные исследования на научно-исследовательских судах Лимнологического института СО РАН.

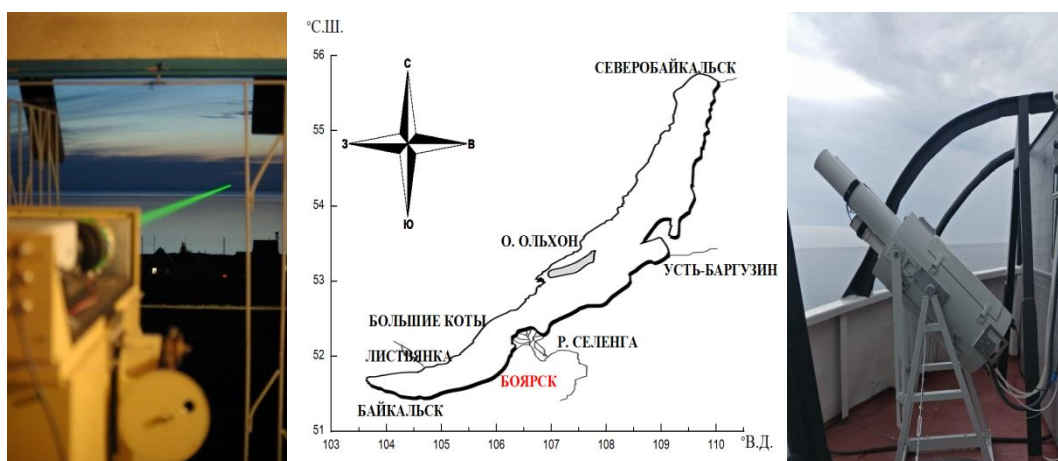


Рис. 1. Внешний вид многочастотного мобильного аэрозольно-рамановского лидара «ЛОЗА-М2» (слева) и «ЛОЗА-А2» (справа), а также карта озера Байкал с местом расположения стационара ИФМ СО РАН в п. Боярьск (по центру)

Оба лидара имеют общие принципы построения. Важным требованием для данных систем является долговременное сохранение оптических юстировок при

транспортировках и использовании в сложных экспедиционных условиях. Поэтому все основные узлы приемо-передатчиков лидаров установлены по обеим сторонам единой жесткой платформы, представляющей собой металлическую раму. Снаружи вся конструкция защищается от неблагоприятных воздействий окружающей среды специальными термо- и влагозащитными корпусами, что также важно для круглосуточной работы в различных погодных условиях. В качестве передатчика используются хорошо зарекомендовавшие себя Nd:YAG лазеры фирмы LOTIS (Беларусь) с двумя длинами волн импульсного излучения 532 нм и 1064 нм. Обратнорассеяное излучение в аналоговом режиме работы систем регистрации принимается на длине волны 532 нм с помощью фотоэлектронных умножителей (Hamamatsu Photonics, Япония) [9], а на длине волны 1064 нм используется разработанный в ИОА СО РАН фотоприемный модуль на основе лавинного фотодиода С30956Е-ТС (PerkinElementer, США) [10]. В темное время суток регистрируется сигнал спонтанного комбинационного рассеяния на молекулах атмосферного азота в режиме счета фотонов на длине волны 607 нм. В лидаре «ЛЮЗА-А2» на длине волны 532 нм реализована возможность поляризационных измерений, за счет использования в приемной части этого канала призмы Волластона. В таблице 1 приведены основные технические характеристики описанных выше приборов.

Таблица 1. Технические характеристики лидаров, используемых в атмосферных исследованиях на Байкале

Параметр	Лидар «ЛЮЗА-М2»	Лидар «ЛЮЗА-А2»
Тип лазера	Nd: YAG (LOTIS LS-2135)	Nd: YAG (LOTIS LS-2131M)
Длина волны излучения	532 нм, 1064 нм	532 нм, 1064 нм
Приемные каналы	532 нм, 1064 нм, 607 нм	532 нм, 532 [⊥] нм, 1064 нм, 607 нм
Детекторы	ФЭУ [10], фотомодуль с ЛФД [11]	ФЭУ [10], фотомодуль с ЛФД [11]
Телескоп	2 (для ближней и дальней зон)	2 (для ближней и дальней зон)
Поле зрения		1÷10 мрад
Частота импульсов излучения	10 Гц	20 Гц
Энергия в импульсе	170 мДж и 340 мДж	120 мДж и 240 мДж
Высотный диапазон	100 м÷15000 м	100 м÷12000 м
Пространственное разрешение	1,5 м	1,2 м

Пример получаемых на основе лидарных данных изображений пространственно-временной структуры аэрозоля приведен на рисунке 2. Цветовая шкала в правой части рисунка соответствует величине сигналов обратного рассеяния, скорректированных на квадрат расстояния, для длины волны излучения $\lambda=532$ нм. Пространственное разрешение составляет 1,2 м, временное – 1,6 сек.

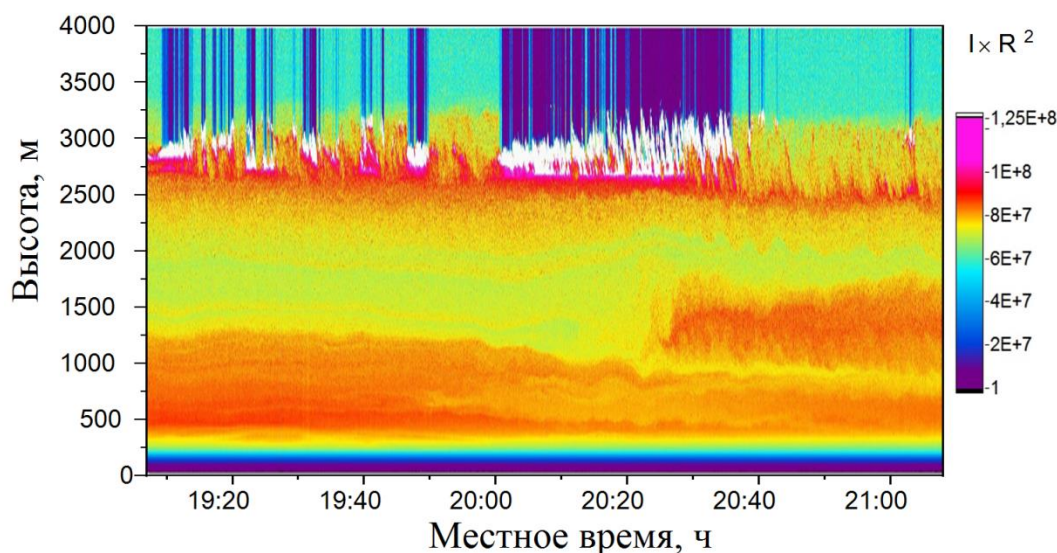


Рис. 2. Пример пространственно-временной структуры аэрозоля в атмосфере над Байкалом, наблюдаемой 11 августа 2023 г. с помощью лидара «ЛОЗА-А2» расположенном на стационаре «Боярский» (51,84° с.ш., 106,06° в.д.)

На основе анализа полученных лидарных данных, совместно с привлечением доступной информации о метеопараметрах атмосферы, происходит выявление особенностей формирования пространственно-временной структуры аэрозоля над Байкалом, механизмов и условий их переноса. Оптические характеристики аэрозоля восстанавливаются из лидарных сигналов на основе известных методов и алгоритмов [11, 12].

Разработанные лидары используются преимущественно независимо, в разное время и в разных точках на Байкале. Для изучения процессов переноса аэрозольных примесей атмосферы над границей вода-суша проводятся синхронные измерения одновременно двумя лидарами, когда один из них располагается на корабле, на расстоянии менее 1 км от побережья рядом со стационаром Боярский, а второй на суше. На основе корреляционного анализа полученных данных оценивается время переноса атмосферных аэрозольных неоднородностей между точками наблюдений лидаров на разных высотах над горной котловиной [13].

В ходе проведенных регулярных ежегодных экспедиционных исследований были получены новые данные об особенностях вертикальной структуры атмосферного аэрозоля в летний период над озером Байкал, как в фоновых условиях, так и в периоды экстремальных природных ситуаций, связанных с интенсивными лесными пожарами в Сибири [14]. По результатам анализа данных было выявлено, что в фоновых условиях в нижней тропосфере до высот 2000 м над Байкалом структура аэрозоля очень часто представляет собой некоторое устойчивое высотное разделение на ряд слоев, толщиной от десятков до сотен метров. Причем из-за относительно холодной водной поверхности озера может отсутствовать слой перемешивания и по мере дневного прогрева воздуха не происходит подъема аэрозоля в вышележащие слои. Также показано различие в пространственно-временной структуре дымовых аэрозольных шлейфов от локальных лесных пожаров в пределах акватории озера, от случаев, когда источники примесей расположены на значительном удалении.

Результаты ежегодных лидарных исследований атмосферы над озером Байкал в летний период, в виде изображений пространственно-временных картин распределения аэрозоля совместно с метеоданными во время наблюдений, доступны на сайте Института оптики атмосферы [15].

Авторы благодарят сотрудников Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск) и Института физического материаловедения СО РАН (г. Улан-Удэ), за помощь в организации и проведении экспедиций на озеро Байкал, а также за предоставление материально-технической базы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант 075-15-2020-787).

1. Razenkov I.A., Eloranta E.W., Hedrick J.P., Holz R.E., Kuehn R.E., Garcia J.P. A High spectral resolution lidar designed for unattended operation in the Arctic // 21st International Laser Radar Conference, July 8–12, 2002. Quebec, Canada. P. 57.
2. Dieudonné E., Chazette P., Marnas F., Totems J., and Shang X. Lidar profiling of aerosol optical properties from Paris to Lake Baikal (Siberia) // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015. V. 15. №9. PP. 50075026.
3. Murayama T., Sugimoto N., Uno I., Kinoshita K., Aoki K., Hagiwara N., Liu Z., Matsui I., Sakai T., Shibata T., Arao K., Sohn B.J., Won J.G., Yoon S.C., Li T., Zhou J., Hu H., Abo M., Iokibe K., Koga R., Iwasaka Y. Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in East Asia // *Journal of Geophysical Research*. 2001. V. 106. P. 18345–18359.
4. Bösenberg J., Ansmann A., Baldasano J.M., Balis D., Böckmann C., Calpini B., Chaikovsky A., Flamant P., Hågård A., Mitev V., Papayannis A., Pelon J., Resendes D., Schneider J., Spinelli N., Trickl T., Vaughan G., Visconti G., Wiegner M. EARLINET: A European aerosol research lidar network // *Advances in Laser Remote Sensing* / A. Dabas, C. Loth, J. Pelon (eds.). Paris: Editions de L'Ecole Polytechnique. 2001. P. 155–158.
5. Winker D. M., Tackett J. L., Getzewich B. J., Liu Z., Vaughan M. A., and Rogers R. R. The global 3D distribution of tropospheric aerosols as characterized by CALIOP // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. Vol. 13. №6. PP. 3345–3361.
6. Belan, B. D., Ancellet, G., Andreeva, I. S., and etc. Integrated airborne investigation of the air composition over the Russian Sector of the Arctic // *Atmos. Meas. Tech*. 2022. V. 15. PP. 3941–3967.
7. Balin Yu.S., Bairashin G.S., Kokhanenko G.P., Penner I.E. and Samoilova S.V. LOSA-M2 aerosol Raman lidar // *Quantum Electronics*. 2011. V. 41, N 10. P. 945.
8. Nasonov S., Balin Yu., Klemasheva M., Kokhanenko G., Novoselov M., Penner I., Samoilova S. and Khodzher T. Mobile aerosol Raman polarizing lidar LOSA-A2 for atmospheric sounding // *Atmosphere*. 2020. V. 11, N 1032. P. 1–12.
9. URL: <https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/pmt/pmt-module/current-output-type/H11526-20.html>. (последний доступ 03.11.2023 г.).
10. Слесарь А.С., Чайковский А.П., Иванов А.П., Денисов С.В., Король М.М., Осипенко Ф.П., Балин Ю.С., Коханенко Г.П., Пеннер И.Э. Фотоприемные модули для лидарных станций в сети CIS-LiNet // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 26. № 12. С. 1073–1081.
11. Samoilova S.V., Balin Yu.S., Kokhanenko G.P., Penner I.E. Investigations of the vertical distribution of troposphere aerosol layers based on the data of multifrequency raman lidar sensing. Part I. Method of optical parameter retrieval // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2009. V.22. Pp.302–315.
12. Samoilova S.V. Simultaneous reconstruction of the complex refractive index and the particle size distribution function from lidar measurements: testing the developed algorithms // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2019. V.32. Pp. 628–642.
13. Насонов С.В., Балин Ю.С., Клемашева М.Г., Коханенко Г.П., Насонова А.С., Новоселов М.М., Пеннер И.Э. Синхронные лидарные наблюдения пространственно-временной структуры атмосферного аэрозоля в прибрежной зоне озера Байкал // *Оптика атмосферы и океана*. 2023. Т. 36. №9. С. 725–732.
14. Nasonov S, Balin Y, Klemasheva M, Kokhanenko G, Novoselov M, Penner I. Study of Atmospheric Aerosol in the Baikal Mountain Basin with Shipborne and Ground-Based Lidars // *Remote sensing*. 2023. 15(15):3816.
15. URL: <https://loza.iao.ru/Data/baikal/>. (последний доступ 03.11.2023 г.).

КАРТИРОВАНИЕ РИСКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА RANDOM FOREST

О.А. Николайчук, Ю.В. Пестова, Н.О. Дородных

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
yupest@gmail.com

В лесах Сибири ежегодно возникает от 4,5 до 27 тысяч пожаров, которые охватывают площади от 3,5 до 18 миллионов гектаров и наносят значительный экономический и экологический ущерб [1]. Эффективный мониторинг и прогнозирование их развития является основой для принятия решений по снижению риска и смягчению последствий данного природного явления. Для решения задачи картирования рисков используются различные методы и инструменты, основанные на машинном обучении, методах принятия решений, нечеткой логике и др.

В докладе рассмотрены основные этапы решения задачи картирования риска лесных пожаров с использованием метода машинного обучения Random Forest (RF). Метод включает ряд этапов: выбор (обоснование) факторов, влияющих на возникновение лесного пожара, сбор данных о пожарах и факторах для заданной территории (класс «наличие пожара»), генерация данных, для формирования класса «отсутствие пожара» с учетом пространственных и временных критериев, подбор параметров метода RF (использование рекомендаций из литературных источников), применение метода RF, возможно изменение параметров метода, анализ точности решения задачи, оценка риска, визуализация результатов применения метода, анализ результатов применения метода в зависимости о сезонности и территориальности пожара. Основными результатами исследования являются: модель факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров, которая обеспечивает компактное представление информации о погодных условиях, типе растительности и инфраструктуре региона в отношении возможного риска лесного пожара; расширенная база данных, содержащая более детальную информацию о лесных пожарах в Иркутской области за период с 2017 по 2020 год; карты рисков лесных пожаров и оценка точности применения предлагаемого метода.

Исходными данными для решения задачи являются: набор данных о лесных кварталах с их характеристикой типов лесорастительных зон; информация о погодных условиях территории на прогнозируемую дату и классов пожарной опасности по погодным условиям; набор исторических данных о пожарах за рассматриваемый период с указанием лесного квартала, зоны лесосеменного районирования, лесорастительной зоны, класса пожарной опасности лесного участка, расстояний до ближайших дорог и населенных пунктов, плотность населения, метеоусловий – температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, направление и скорость ветра, количество выпавших осадков, наличие гроз, снежность зимы и др. Результатом исследования является оценка вероятности возникновения пожара на территориях лесных кварталов - не вероятно, наименее вероятно, маловероятно, вероятно, наиболее вероятно. Апробация подхода проводилась для территории Иркутской области. Результаты оценки точности решения задачи показали, что применение метода Random Forest можно рассматривать как один из методов ансамблевого подхода для более точного прогнозирования риска лесных пожаров.

1. Moskvichev V.V., Postnikova U.S., Taseiko O.V. Information system for monitoring and managing the risks of development of Siberia and the Arctic regions. Reliability: Theory and Applications. 2022. Т. 17. P. 124–131.
2. Breiman L. Random forests. Mach. Learn. 2001. Т. 45. P. 5–23.

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЁТА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИДСТУ СО РАН

И.Е. Новоселов, В.С. Ведерников
Иркутский государственный университет путей сообщения
ilya.novoselov.ilya@mail.ru, vlad.vedernikov.95@mail.ru

Оценка эффективности деятельности научного работника сложная задача. Положительный результат исследований не гарантирован, заранее рассчитать и запланировать его тоже невозможно. В различных областях науки значительная часть работ нередко оказывается неэффективной, а результаты экспериментов – неудачными. При этом в результате всех научных исследований появляются знания, которые, как правило, излагаются в научных статьях.

Для оценки эффективности деятельности научных организаций Министерством науки и высшего образования Российской Федерации разработана методика качественного показателя государственного задания [1]. Методика определяет способ расчета значения качественного показателя, характеризующего публикационную деятельность научных организаций. Т.е. основным критерием оценки эффективности деятельности научных организаций в целом является количество и качество публикаций сотрудников этих организаций. Минобрнауки РФ, а также Российская академия наук требуют предоставления количественных показателей публикации организации с различной периодичностью в разнообразных разрезах: по видам публикаций, базам индексации изданий, научным направлениям, в привязке к проектам. Такое разнообразие отчетных форм требует применения разных алгоритмов расчета и в случае неавтоматизированной обработки приводит к большим временным затратам. Анализ публикационной активности научных сотрудников необходим также внутри научных организаций для реализации процедур аттестации, проведения конкурсов на научные должности, расчета надбавок и премий сотрудникам.

В работе рассматриваются вопросы развития информационной системы учета научной деятельности ИДСТУ СО РАН [2,3], созданной на базе CMS October. Система обеспечивает сбор данных о публикациях сотрудников института, с учетом показателей изданий в известных библиографических базах (Web of Science, Scopus), их поиск по заданным критериям (ФИО, подразделение, тип публикации, индексация), представление, а также расчет показателей публикационной активности сотрудников за заданный период. В результате работ 2023 года в системе доработан раздел "Поиск публикаций" (Рис.1): добавлены новые параметры сортировки и изменён шаблон вывода описания публикаций. Добавлена возможность учета у публикаций квартилей изданий по базе Scopus и уровней Белого Списка. Публикациям с типом «труды конференции» реализована возможность указания докладчика. Доработан раздел «Проекты», появилась возможность привязки к проектам публикаций и участников проекта. Выше перечисленные доработки системы позволили реализовать генерацию форм в формате MS Word для конкурса на должности научных работников ИДСТУ СО РАН. Был выполнен разбор DOCX-формат, обработана его структура и написаны собственные инструменты для автоматической генерации DOCX-документов на основе xml с возможностью подгрузки информации в них из баз данных.

Главная **Поиск** Статистика Структура Телефоны Проекты Отчеты Мой профиль **Выйти**

Поиск публикаций

От года До года

Индексация

Проект

Тип публикации

Подразделение

Сотрудник

Если указан сотрудник, то подразделение не учитывается

Параметр сортировки

Автор

Название

Год

Тип публикации

Журнал

Параметр сортировки

Возрастание

Убывание

Рис.1 – Раздел Поиск публикаций

1. Методика расчета качественного показателя государственного задания «Комплексный балл публикационной результативности» для научных организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (25.08.2020)
2. Ветров А.А., Фереферов Е.С. Автоматизированная система учета научной деятельности сотрудников учреждения, подведомственного ФАНО России // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 21-23 ноября 2016г.). 2016. С. 14.
3. Ветров А.А., Фереферов Е.С. Развитие информационной системы учета научной деятельности // Материалы конф. «Ляпуновские чтения», 5-8 декабря 2017 г.. 2017. С. 9.

СОЗДАНИЕ СЕРВИСА ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАНЯТОСТИ АУДИТОРИЙ И СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА МЕРОПРИЯТИЙ

И.Е. Новоселов, В.С. Ведерников
Иркутский государственный университет путей сообщения
ilya.novoselov.ilya@mail.ru, vlad.vedernikov.95@mail.ru

В научных организациях периодически проходят массовые мероприятия, такие как совещания, семинары, заседания ученого и диссертационного совета, лекции и занятия для аспирантов, конференции, которые требуют больших помещений (залов, аудиторий). Несмотря на то, что такие мероприятия не являются регулярными, администрации учреждения необходимо планировать проведение мероприятий, чтобы избежать накладок.

В работе представлены результаты разработки системы для планирования занятости аудиторий и составления списка мероприятий в ИДСТУ СО РАН. Система реализована в виде web-сайта, который даёт возможность подавать заявки на проведение мероприятий в определенных аудиториях (бронировать) и наглядно представлять план массовых мероприятий в институте в целом. Для разработки клиентской части web-приложения были выбраны технологии html, css, js. Для реализации серверной части связка из node.js, mySQL, Nginx и Ubuntu 20.04. Важным требованием была возможность встраивания плана мероприятий на другие сайты в виде подгружаемого модуля.

В системе на данный момент реализовано 3 роли: Посетитель, Пользователь и Администратор. Посетитель может открывать и просматривать карточки мероприятий (дата и время, тема, автор, тип мероприятия, описание, дополнительные материалы) и, если это какое-то большое мероприятие, по типу конференции, то также просматривать детали (вложенные мероприятия). Следующая роль – пользователь. Он, кроме возможностей посетителя, может подать заявку на бронирование мероприятий (рис.1). Составить план, добавить вложенные мероприятия по необходимости и отправить запрос на подтверждение бронирования аудитории администратору. Администратор имеет все возможности пользователя, а также он может изменять, одобрять и удалять заявки. При одобрении он также может сменить характеристики мероприятия, как вложенного, так и основного, и остальные параметры. Также администратор одобряет заявки на создание новых пользователей в системе.

Бронирование залов

Номер зала*: Зал ученого совета (к. 407)

Дата проведения*: 01.12.2023

Время начала*: 08:00

Время окончания: ---:--

Тип мероприятия*: Семинар

Название мероприятия*:

Спикер:

Описание мероприятия:

ФИО ответственного: Фереферов Евгений Сергеевич

Телефон: 88005553535

Вложенные мероприятия: + добавить вложенное мероприятие

Забронировать

Рис. 1 – Карточка подачи заявки на проведение мероприятия в аудитории

С целью получить возможность более гибкой настройки системы был разработан ряд авторских архитектурных решений. Разработанный сервер имеет возможность обрабатывать большой поток данных и запросов в параллельном режиме за счёт создания дочерних процессов (Worker) с распределением нагрузки на ядра процессора и не заставляя пользователей ждать долгого ответа от web-сервиса. Создана собственная система авторизации на основе jwt (json web token) с возможностью сессионного посещения сайта. Также имеется весь базовый функционал обработки запросов и их визуализация.

Разработанная система может быть внедрена в любых организациях, в помещениях которых требуется планировать проведение массовых мероприятий.

АНАЛИЗ ИЕРАРХИИ ЗАГОЛОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ*

В.В. Парамонов, А.О. Шигаров

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

slv@icc.ru, shigarov@icc.ru

Электронные таблицы являются распространенным способом представления множества однотипных данных. Они повсеместно используются для хранения и представления статистической и финансовой информации, различных научных наблюдений и т.п. Такой способ представления понятен и достаточно прост в использовании, поскольку не требует наличия дополнительных знаний и специальных навыков для работы на базовом уровне. В сети Интернет, в том числе и в открытом доступе, циркулирует огромное количество электронных таблиц, представленных в формате Excel и содержащих ценную информацию из различных предметных областей [1, 2]. Извлечение и последующая интеграция данных из электронных таблиц является очень важной частью современной бизнес — аналитики. Последние исследования демонстрируют, что только в США более 55 миллионов пользователей работают с электронными таблицами в формате Excel из них более половины используют электронные таблицы для ведения бизнеса [3]. Это позволяет сказать, что Excel является одним из наиболее популярных форматов электронных таблиц.

Одной из составляющих электронной таблицы является заголовок. Он представляет собой множество ячеек, непосредственно описывающих столбцы таблицы. В большинстве случаев исходя из названия столбцов можно сделать предположения о типе данных и предметной области. Заголовки могут иметь как плоскую, так и иерархическую структуру. Под иерархической структурой будем понимать многоуровневую форму организации ячеек, со строгой соотнесённостью ячеек нижнего уровня (потомков) ячейкам верхнего уровня (предкам). Ячейки C_1 , C_2 образуют иерархическую пару образуют иерархическую пару $H=(C_1, C_2)$, если C_1 является предком, а ячейка C_2 — потомком. Автоматизированный анализ иерархии ячеек заголовка способствует дальнейшему более качественному пониманию таблиц.

Научная проблема идентификации иерархии в заголовке таблицы является актуальной. Существует множество научных работ, посвященных анализу как функций ячеек таблиц, так и их структуры [1, 4]. Анализ структуры заголовка и установление иерархии ячеек базируются как на применении эвристических методов, так и методов машинного обучения. В данном исследовании применены эвристические методы для нахождения иерархических пар в заголовках таблиц. В качестве данных был использован набор Troy200¹ содержащий реальные статистические данные, описывающие социальные, политические и экономические условия в Соединенных Штатах Америки.

Задача идентификации ячеек в заголовке и, как следствие, анализ их иерархической структуры осложняется тем, что визуальная структура заголовка (то, как заголовок видит человек и как интерпретирует его ячейки) может значительно отличаться от физической структуры (то, как организованы ячейки для машинной обработки). Визуально мы можем однозначно определить соответствие границ ячеек заголовка столбцу (столбцам). Однако на самом деле одна ячейка на визуальном уровне может состоять из нескольких физических.

*Результаты получены в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Методы и технологии облачной сервис — ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно — управляемого подхода и машинного обучения» (номер гос. регистрации 121030500071 — 2).

¹ http://tc11.cvc.uab.es/datasets/Troy_200_1

В работе [5] было продемонстрировано, что физическую структуру заголовка таблицы можно привести в соответствии с визуальной. Для этого был разработан и применен эвристический алгоритм HeadRecog, позволяющий объединить ячейки, не содержащих данные с ячейками, содержащими данные. Решение об объединении принимается по результатам анализа взаимного расположения ячеек, их содержимого, а также стилового оформления. В результате проведенной трансформации ячейки заголовка, за исключением разделителей, состоят лишь из ячеек, содержащих данные (текст, числа и т.п.). В данной работе установление иерархии ячеек основывается на анализе заголовка, полученного в результате применения HeadRecog [5].

В результате анализа таблиц в наборе данных Troy200 было отмечено ряд особенностей для ячеек заголовка. Если заголовок имеет иерархическую структуру, то ячейки предки находятся выше уровня ячеек потомков. Ячейки потомки не выходят за вертикальные границы ячеек родителей (верхнего) уровня. Возможные «перерезы» в заголовке встречаются в порядке 7% таблиц и не участвуют в формировании иерархий. В 100% случаях они располагаются в нижних ячейках заголовка. На визуальном, а после трансформации и на физическом уровне заголовках отсутствуют ячейки, не содержащие данных.

С учетом обозначенных свойств поиск иерархических пар начинается с левой верхней ячейки заголовка. Поиск проводится сверху вниз. Каждая ячейка на нижеследующем уровне является дочерней по отношению к ячейке верхнего уровня. Как только достигается нижняя граница заголовка начинается поиск ячеек слева направо для данного уровня. При этом вертикальные границы ячейки предка являются ограничивающими для ячеек потомков. В данной модели один предок может иметь множество потомков. При движении вправо — текущая ячейка является потомком, а ячейка на верхнем уровне — предком. После того как достигнута правая граница, задаваемая ячейкой — предком, поднимаемся на уровень выше и рассматриваем возможность сдвига вправо. Повторяем действия до тех пор пока не будет достигнута самая правая верхняя ячейка заголовка и не рассмотрены все её иерархические связи. Иллюстративно работа данного алгоритма представлена на рис.1.

2006					
1	Feature				
2	Unit indicator	5	(Percent)		
Plan provisions:					
	Benefits based on earnings	53	56	43	73
	Early retirement benefits available	82	82	89	94

Рис. 1 Пример таблицы с иерархическим заголовком

Номера в ячейках обозначают последовательность, в которой обрабатываются ячейки. Так, операция анализа заголовка начинается с ячейки 1, считаем её текущей, добавляем её координаты в стек. Ячейка 2 имеет левую и правую границы эквивалентные ячейке 1, поэтому считаем, что 2 — перерезом, запоминаем позицию его верхней грани. Извлекаем значение координат из стека, рассматриваем ячейку справа — ячейка 3, заносим её координаты в стек. Смотрим нижнюю ячейку (4), заносим её координаты в стек. Переход на ячейку 5 невозможен, т.к. её верхняя граница соответствует границе разделителя, а также левая и правая границы ячейки выходят за границы ячейки 4. Спуск вниз невозможен. Из стека извлекаются координаты ячейки, просматриваются координаты на вершине стека — данная пара (3, 4) является иерархией. Переходим вправо. Текущая ячейка 6, заносим её координаты в стек. Спуск вниз невозможен в силу

того, что ячейка 5 является перерезом. Из извлеченных с вершины стека координат и находящихся после этого значений на вершине стека образуем иерархическую пару. Подобные действия выполняются для ячеек 7, 8. В случае ячейки 8 — перемещение вправо тоже невозможно, т.к. правая сторона ячейки совпадает с правой стороной ячейки верхнего уровня. Поэтому извлекаем из стека хранящееся значение (координаты ячейки 3), смотрим возможность перехода вправо, однако переход невозможен т.к. достигнута правая граница заголовка таблицы. Таким образом, по результатам анализа будут сформированы следующие иерархические пары: $H_1=(3, 4)$; $H_2=(3, 6)$; $H_3=(3, 7)$; $H_4=(3, 8)$. Числа пары предок — потомок обозначают номера ячеек в соответствии с рис. 1.

Ввиду того, что ячейки заголовка могут состоять из объединения ячеек по вертикали и горизонтали выходными данными является множество пар, каждая из которых содержит координаты левой, верхней, правой и нижней границ ячеек.

Продемонстрированный в работе подход к анализу иерархии ячеек заголовка электронных таблиц и определения иерархических пар. Это позволяет повысить качество данных, а также сгенерировать дополнительную информацию, способствующую снижению трудоёмкости процесса понимания таблиц.

1. Koci E., Thiele M., Romeor O., Lehner W. Table Identification and Reconstruction in Spreadsheets / *Advanced Information Systems Engineering*. 2017, pages 527-541.
2. Kappelman L., Thompson J., McLean E. Converging End — User and Corporate Computing / *Commun. ACM*. 1993. Vol. 36 N 12. p. 79-92.
3. Zhang Y., Lv X., Dong H., Dou W., Han S., Zhang D., Wei J., Ye D. Semantic table structure identification in spreadsheets / *Proceedings of the 30th ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis, ISSTA 2021, Association for Computing Machinery*. 2021. p. 283 — 295.
4. Adelfio M., Samet H. Schema extraction for tabular data on the web / *Proceedings of the VLDB Endowment* 6 (2013) 421-432.
5. Paramonov V., Shigarov A., Vetrova V., Mikhailov A. Heuristic Algorithm for Recovering a Physical Structure of Spreadsheet Header // *Advances in Intelligent Systems and Computing: Proc. of 40th Anniversary Intern. Conf. on Information Systems Architecture and Technology (ISAT 2019; Wrocław, Poland; 15-17 September 2019)*. 2020. Vol. 1050. pp. 140-149.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ПРОЕКЦИОННОЙ (ПРОСТРАНСТВЕННОЙ) ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

П. П. Паткина, А. Г. Балахчи
Иркутский государственный университет
patkinapp@gmail.com

Проекционная дополненная реальность также известная как пространственная дополненная реальность (SAR – Spatial Augmented Reality), представляет собой тип дополненной реальности, который для наложения цифрового контента на физические объекты или поверхности в реальном мире использует один или несколько проекторов. С ростом технологических возможностей, последние годы SAR находит применение во все больших сферах, таких как производство [1], психотерапия [2], медицина [3] и наука [4].

В то время, как для наложения цифрового контента можно использовать мобильные устройства или VR-очки, преимущество SAR состоит в том, что SAR не требует для взаимодействия носимых устройств. Вместо этого, для реализации необходимы проекторы (для непосредственного проецирования изображений), программы (для взаимодействия с объектами) и камера (для считывания окружения и текущего состояния изображения). Для получения более качественных результатов можно также использовать калибровочные устройства (для корректного отображения проецируемого изображения), медиасерверы (для хранения воспроизводимой информации) и объекты реального мира (для создания необходимой среды).

Также, для увеличения быстродействия и корректности работы SAR можно использовать методы машинного обучения, в частности глубокое обучение. Как пример использования нейронных сетей в AR можно привести отслеживание маркерного изображения (target image), относительно которого и будет отображаться виртуальный объект. Изначально во многих случаях применяли подход, использующий для определения и отслеживания объекта какие-либо точки интереса и их трансформацию относительно заданного значения (feature-based tracking). Однако, как показывает практика [5], нейронные сети справляются с задачей гораздо более качественно.

В представленном проекте для распознавания объектов поверх проекции используется частный случай преобразования Хафа (для нахождения кругов); калибровка изображения производится с помощью маркеров ArUco и последующей трансформации перспективы с использованием полученных углов; для избавления от шумов на исходном изображении используется размытие по Гауссу.

1. Michalos G., Karagiannis P., Makris S., Tokçalar Ö., Chryssolouris G. Augmented Reality (AR) Applications for Supporting Human-robot Interactive Cooperation // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 41. – P. 370–375.
2. De Luca V, Gatto C, Liaci S, Corchia L, Chiarello S, Faggiano F, Sumerano G, De Paolis LT. Virtual Reality and Spatial Augmented Reality for Social Inclusion // *The “Includiamoci” Project*. – 2023. – № 14(1) – p. 38.
3. Uruthiralingam, U., Rea, P.M. Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education – A Systematic Review // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – Springer, Cham, 2020. – Vol. 1235.
4. Akgul O., Penekli H. I., Genc Y. Applying Deep Learning in Augmented Reality Tracking // 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS). – 2016. – P. 47-54

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ И ОПЕРАТОРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ*

А.В. Пененко, М.К. Емельянов, Е.В. Русин, Э.В. Цыбенкова, В.К. Шаблык
Институт вычислительно математики и математической геофизики СО РАН
aleks@ommgp.sccc.ru

Гибридные подходы, сочетающие машинное обучение с традиционными методами к решению обратных задач, выглядят многообещающим направлением дальнейшего развития алгоритмов обратного моделирования. В работе предлагается подход к идентификации источника выбросов по данным измерений для моделей адвекции-диффузии-реакции, который сочетает идентификацию распределённого источника общего вида и его последующее уточнение (Рис. 1).

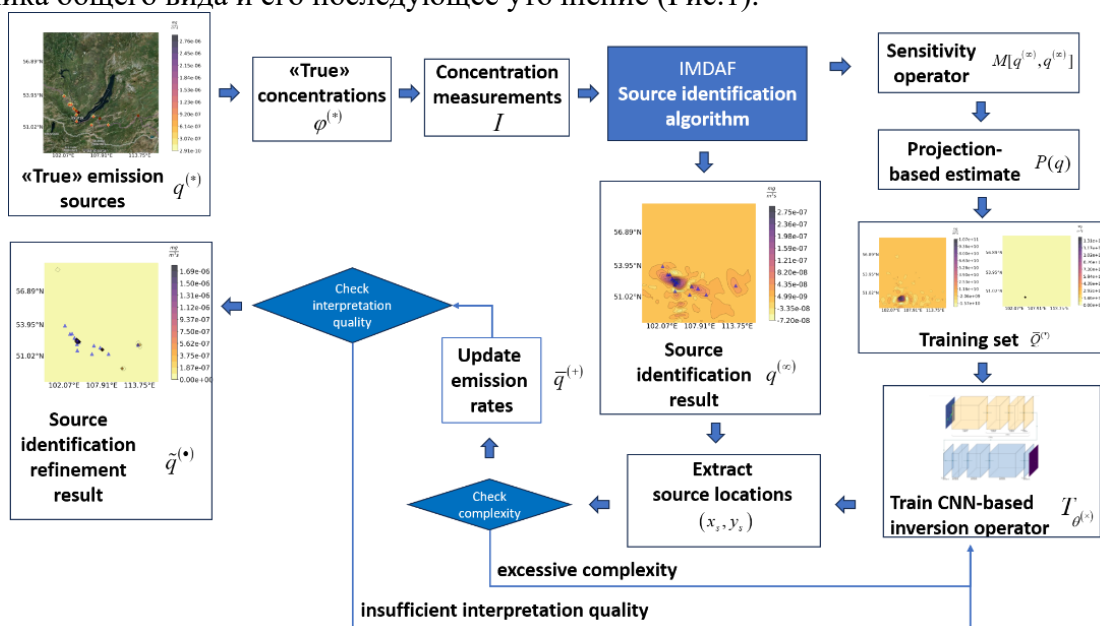


Рис.1 Схема алгоритма

Идентификация источника выбросов по данным измерений осуществляется с помощью алгоритма, основанного на операторе чувствительности и ансамблях решений сопряжённых уравнений [1,2]. Уточнение выполняется путем включения априорной информации о неизвестных источниках: распределенный источник выбросов общего типа, идентифицированный на первом этапе, преобразуется в локализованный источник, состоящий из множества точечных источников. Этап уточнения состоит из двух этапов: локализации точечных источников и оценки интенсивности выбросов. Локализация выполняется с использованием методов глубокого обучения для сверточных нейронных сетей; обучающая выборка генерируется с использованием оператора чувствительности, полученного на этапе идентификации источниках [3]. Оценка интенсивности осуществляется с помощью решения задачи квадратичного программирования при заданных расположениях точечных источников.

* Работа выполнена при поддержке гранта № 075-15-2020-787 в форме субсидии на крупный научный проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект "Основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки на Байкальской природной территории").

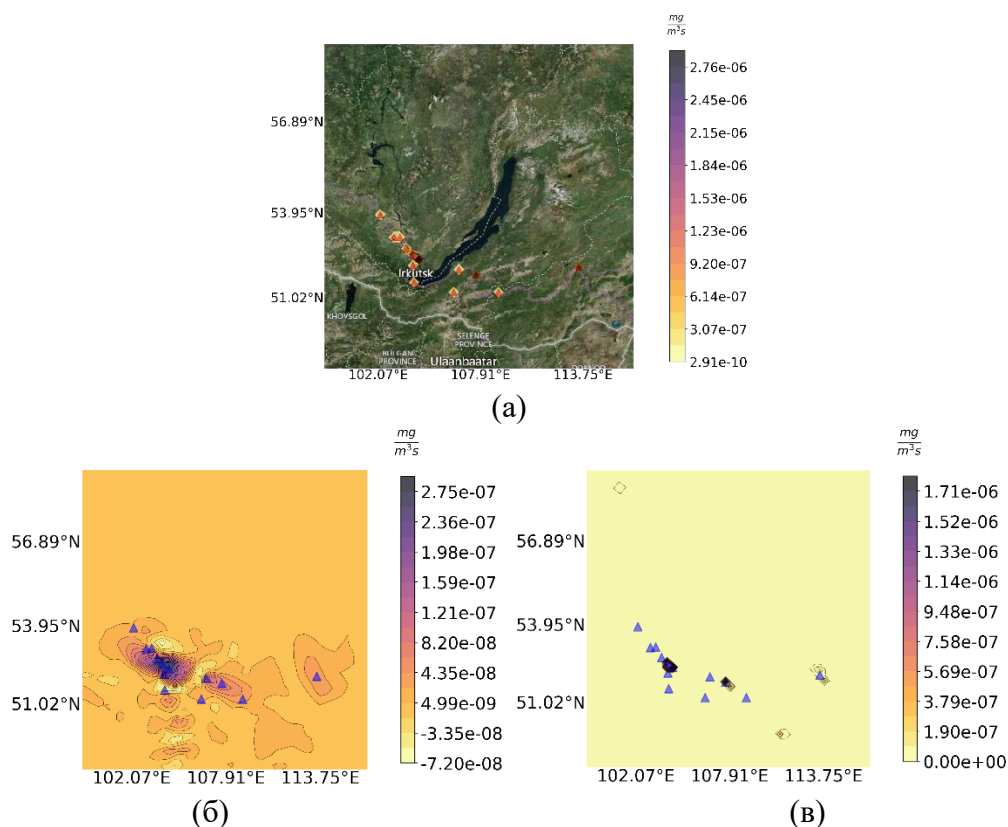


Рис.2. «Реальная» функция распределения источников (а), результат восстановления распределённого источника по данным типа изображения поля концентрации (б), результат уточнения решения гибридным алгоритмом.

Алгоритм был протестирован в региональных сценариях идентификации источников выбросов по данным дистанционного зондирования для региона озера Байкал и позволил уточнить результаты идентификации Рис.2.

1. Penenko A. et al. Sensitivity Operator Framework for Analyzing Heterogeneous Air Quality Monitoring Systems // Atmosphere. MDPI AG, 2021. vol. 12, № 12. p. 16971 p. doi: 10.3390/atmos12121697
2. Penenko A., Rusin E. Parallel Implementation of a Sensitivity Operator-Based Source Identification Algorithm for Distributed Memory Computers // Mathematics. MDPI AG, 2022. vol. 10, № 23. p. 45221 p. doi: 10.3390/math10234522
3. Penenko A., Emelyanov M., Tsybenova E. Deep Learning-based Refinement of the Emission Source Identification Results // 2023 19th International Asian School-Seminar on Optimization Problems of Complex Systems (OPCS). IEEE, 2023. doi: 10.1109/opcs59592.2023.10275758

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ТУРИСТИЧЕСКИХ МЕСТАХ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА ИЗ ПОСТОВ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ*

И.А. Поддубный¹, Ю.В. Пестова², О.А. Николайчук²

¹Иркутский государственный университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

poddubnyyiv@yandex.ru

В Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года отмечено, что для роста конкурентоспособности и раскрытия потенциала туристского продукта необходимо обеспечить повышение доступности актуальных отраслевых данных со стороны участников туристского рынка. При этом в социальных сетях информация появляется быстрее, чем в официальных источниках. Поскольку многие туристы свободно делятся своими впечатлениями о посещаемых местах в тематических группах социальных сетей, то накапливается большое количество информации, на основе которой можно сформировать набор характеристик выбранного места, выявить экологические проблемы и другие интересные факты. Также на основе этих данных можно составлять интересные маршруты для туристов и своевременно уведомлять органы надзора о возникающих проблемах. Современные информационные технологии позволяют осуществить сбор подобной информации и ее комплексное представление через выделение популярных мест, определения эмоциональной окраски, поиска различных семантических связей и выделения фактов. При этом такой набор характеристик может быть развернут во времени, отражая ежегодные или сезонные изменения. Для извлечения информации из текста используются методы машинного обучения, в частности, методы из области обработки естественных языков.

Целью работы является создание программной системы сбора информации из постов социальных сетей для последующего использования в рамках информационной технологии мониторинга сферы туризма территории Иркутской области, прилегающей к Байкалу.

Источниками данных являются открытые группы ВКонтакте «Байкал» (<https://vk.com/public12377>), «БАЙКАЛ» (<https://vk.com/public125254886>), «Байкал удивительный» (<https://vk.com/public211781315>), «Мой Байкал | Экология» (<https://vk.com/mbaikal>), «Байкал для каждого» (<https://vk.com/plannerbaikal>). Предобработка текстов постов групп проводится с помощью регулярных выражений и Google Translate API. Обработка постов осуществляется рядом этапов: токенизации, POS-теггинга, лемманизации, синтаксического анализа и выделения именованных сущностей. Для реализации данных этапов используется конвейер предобученных нейросетевых модулей пакета stanza [1]. Алгоритм, реализованный с помощью stanza, позволяет выделить категории именованных сущностей, в том числе предмет исследования – локации (топонимы) рассматриваемой территории. Для определения координат локаций используется модуль геокодер georandas совместно с Nominatim. Далее для определения принадлежности координат локации полигону Иркутской области используется метод трассировки луча с учетом числа пересечений.

Таким образом, получены локации, информация о которых представлена в виде csv-файла: набор топонимов с координатами по Иркутской области; записи постов ВКонтакте с датой и временем публикации, размеченные топонимами.

В процессе семантического анализа также выделяются связанные с местом категории, характеризующие его, для выявления проблем территории, ее флоры и фауны и т.п., которые могут быть проанализированы в динамике (по дате публикаций). Для

* Работа поддержана РФФ, проект 23-28-00844.

этого исходный текст разбивается на более простые предложения, где идет речь только об одной локации. Далее выполняется анализ тональности высказываний о найденных местах, для чего используется модуль Dostoyevsky со словарем на основе данных RuSentiment [3].

В результате разработан программный модуль и получены наборы данных локаций (рис.1) по частоте упоминаний пользователями, их семантическая связь с набором характеристик: позитивными и негативными, отслеживаемыми в динамике, что позволит использовать полученные результаты для создания туристического профиля территории и осуществления ее мониторинга.

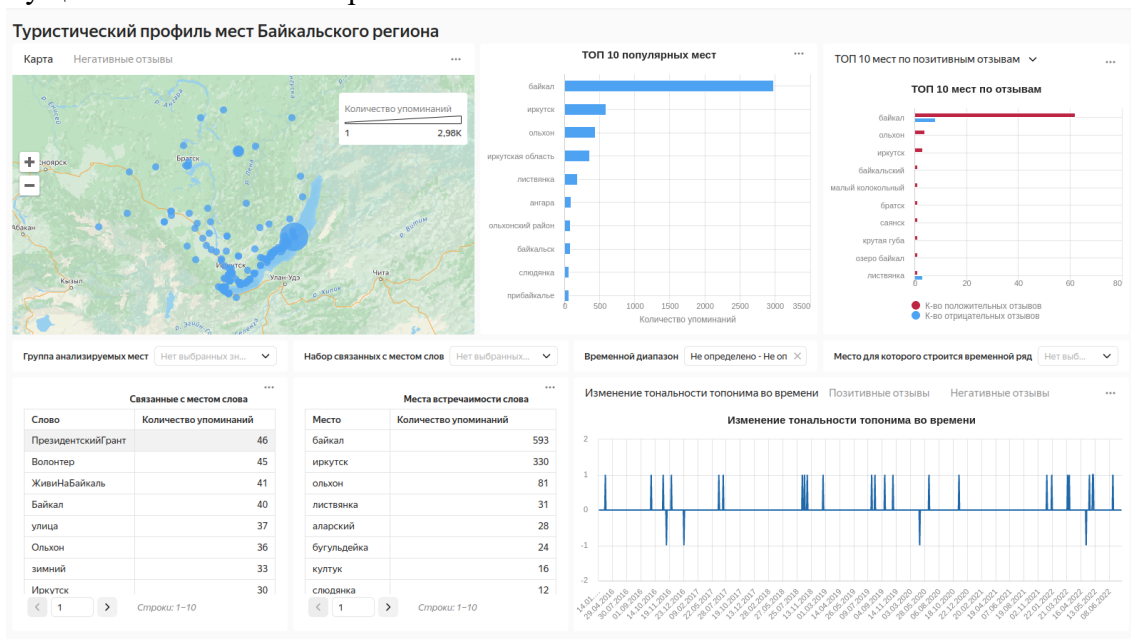


Рис.1 Фрагмент информационной панели, отображающей набор локаций

1. Qi P., Zhang Y., Zhang Y., Bolton J., D. Manning C. Stanza: A Python Natural Language Processing Toolkit for Many Human Languages. In Association for Computational Linguistics (ACL) System Demonstrations. 2020.
2. Kuratov Y., Arkhipov M. Adaptation of Deep Bidirectional Multilingual Transformers for Russian Language. 2019. arXiv preprint arXiv:1905.07213.
3. Rogers A., Romanov A., Rumshisky A., Volkova S., Gronas M., Gribov A.. RuSentiment: An Enriched Sentiment Analysis Dataset for Social Media in Russian // Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics. 2018. P. 755–763.

1/N_c ПОПРАВКИ В НЕЛОКАЛЬНОЙ КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ*

А.Е. Раджабов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
aradzh@icc.ru

Простейший Лагранжиан нелокальной модели имеет вид [1,2]

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{free} + \mathcal{L}_{S,PS}, \quad \mathcal{L}_{free} = \bar{q}(x)(i\hat{\partial} - m_c)q(x)$$

$$\mathcal{L}_{S,PS} = \frac{G_1}{2} [J_S^a(x)J_S^a(x) + J_{PS}^a(x)J_{PS}^a(x)],$$

где m_c – матрица токовых масс кварков с диагональными элементами $m_c^u = m_c^d$, G_1 – четырех-кварковая константа связи. Нелокальные кварковые токи имеют вид

$$J_M^a(x) = \int d^4x_1 d^4x_2 f(x_1)f(x_2)\bar{q}(x-x_1)\Gamma_M^a q(x+x_2),$$

спин-флейворные матрицы для различных каналов $\Gamma_S^a = \tau^a$, $\Gamma_{PS}^a = i\gamma_5\tau^a$, τ^a – матрицы Паули и $\tau^0 = 1$. Спонтанное нарушение симметрии приводит к появлению динамической массы кварка, зависящей от импульса, которая в приближении среднего поля имеет вид

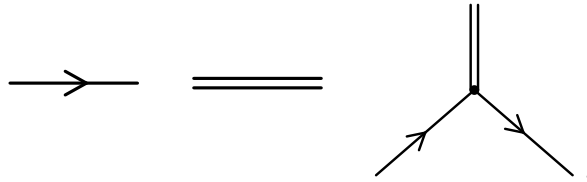
$$m(p) = m_c + G_1 \frac{8N_c}{(2\pi)^4} \int d_E^4k \frac{f(k)m(k)}{k^2 + m^2(k)}.$$

На диаграммном уровне появление динамической массы соответствует пересуммированию бесконечной серии диаграмм, описываемых уравнениями Дайсона-Швингера для кварка и Бете-Солпитера для мезонов. Включение поправок более высокого порядка затруднено тем, как сохранить калибровочную и киральную симметрии взаимодействий. Одним из возможных вариантов вычислений [3,4] является рассмотрение поправок основываясь на учете $1/N_c$ индексов для диаграмм и вычисления наблюдаемых в виде формального разложения

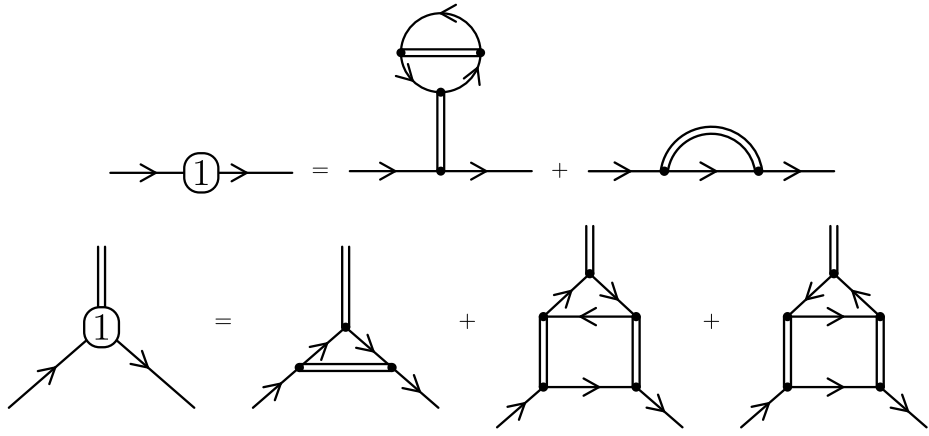
$$X = \sum_i \left(\frac{1}{N_c}\right)^i X_i,$$

где сумма начинается с результата, полученного в приближении среднего поля, при вычислении диаграмм используются пропагаторы кварков и мезонов лидирующего порядка, а правила счета индексов диаграмм связаны с тем, что каждая кварковая петля дает фактор $(N_c)^1$, а мезонный пропагатор $(N_c)^{-1}$. Обозначения для пропагатора кварка, мезона и мезон-кварковой вершины взаимодействия лидирующего порядка есть:

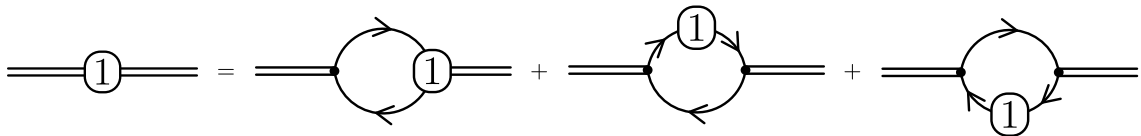
* Результаты получены в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту "Аналитические и численные методы математической физики в задачах томографии, квантовой теории поля и механики жидкости и газа" (№ гос регистрации: 121041300058-1).



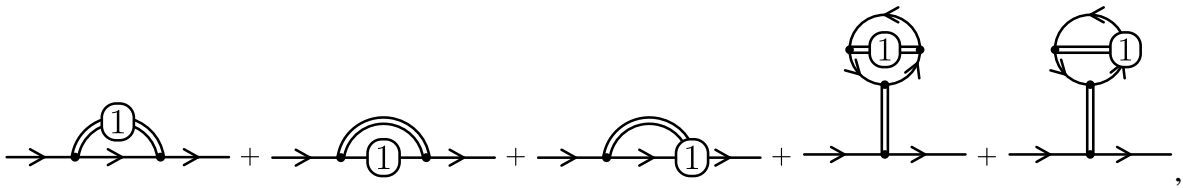
$1/N_c$ поправки первого порядка к пропагатору кварка и мезон-кварковой вершине имеют вид:



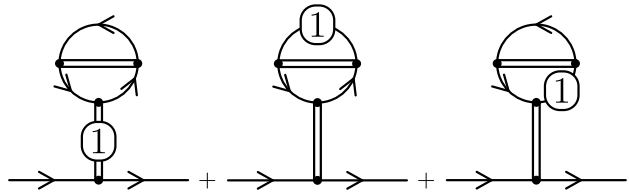
а поправки к пропагатору мезона (7 диаграмм) можно представить в компактном виде



Поправка более высокого порядка $1/N_c$ разложения для кваркового пропагатора состоит из 27 диаграмм и может быть представлена как в виде вкладов, учитываемых полностью



а также вкладов учитываемых частично



в которых часть диаграмм должна быть отброшена для исключения двойного счёта, поскольку в вычислениях должны учитываться только топологически разные диаграммы.

1. Волков М.К., Раджабов А.Е. Модель Намбу-Иона-Лазинио и ее развитие // УФН. – 2006 - Т. 176. С. 569-580.

2. Plant R. S., Birse M. C. Meson properties in an extended nonlocal NJL model // Nucl.Phys. - 1998. - Vol. A628. - P. 607-644.
3. Plant R. S., Birse M. C. Mesonic fluctuations in a nonlocal NJL model // Nucl.Phys. - 2002. - Vol. A703. - P. 717-744.
4. Radzhabov A.E., Blaschke, D., Buballa, M., Volkov, M.K. // Nonlocal PNJL model beyond mean field and the QCD phase transition // Phys. Rev. - 2011. - Vol. D83. - P. 116004.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ*

В.Ф. Рапута, А.А. Леженин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
raputa@sscc.ru

Для адекватной оценки состояния загрязнения атмосферы городов необходимо совместное использование экспериментальных данных и методов численного анализа процессов переноса и диффузии примесей. Эти исследования создают возможности для развития и оптимизации систем мониторинга состояния загрязнения атмосферного воздуха, почвенного, растительного покрова, водных объектов. Выявленные закономерности пространственно-временного распределения полей концентраций примесей позволяют проводить разработку эффективных мероприятий по снижению негативного воздействия загрязнений на окружающую среду.

При расчете средней концентрации примеси в приземном слое атмосферы определяющее значение имеют часто встречающиеся метеорологические условия. К ним относятся так называемые нормальные метеоусловия, для которых используется степенная аппроксимация скорости ветра $u(z)$ и коэффициента вертикального турбулентного обмена k_z [1, 2]

$$u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n, \quad k_z = k_1 \frac{z}{z_1}, \quad (1)$$

где u_1 и k_1 - значения u и k_z при $z = z_1$.

Согласно принципу суперпозиции, поле концентрации от множества точечных источников представляется в виде [3]

$$\bar{C}(x, y) = A \cdot \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{R_i^2} G(\varphi_i) \iint_{\omega} p(u_1, k_1) f(u_1, k_1, R_i, H_i) dk_1 du_1, \quad (2)$$

где $A = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1+n)k_1\varphi_0}}$, $R_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2$,

$$\varphi_i = \arctg \frac{y - y_i}{x - x_i}, \quad f(u_1, k_1, R_i, H_i) = e^{-\frac{u_1 H_i^{1+n}}{k_1(1+n)^2 R_i}},$$

N - количество источников примеси в рассматриваемой области, $G(\varphi)$ - приземная роза ветров, Q_i , H_i - мощности и высоты источников, $p(k_1, u_1)$ - совместная плотность вероятности u_1 и k_1 за период усреднения, ω - область реального изменения u_1 и k_1 , (x_i, y_i) - координаты точечных источников, φ_0 - дисперсия скорости ветра.

Следует отметить, что при малых значениях высот H_i , $i = 1, \dots, N$, функция

$$f(u_1, k_1, R_i, H_i) \approx 1 \quad (3)$$

на сравнительно небольших удалениях от источников примеси.

С учётом (2) из (3) следует, что

$$\bar{C}(x, y) \approx A \cdot \iint_{\omega} p(u_1, k_1) dk_1 du_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{R_i^2} G(\varphi_i). \quad (4)$$

Анализ соотношения (4) показывает, что в данном случае суммарное поле концентрации на большей территории города по сути определяется лишь горизонтальным расположением и эмиссией источников. Для имеющего место комплекса метеорологических условий за длительный период времени \bar{T} в предположении стационарности источников соотношение (4) указывает на

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования, грант 075-15-2020-787.

возникновение определённых количественных связей между концентрациями примесей в различных точках территории города.

Одним из методов численного контроля результатов измерений на сети наблюдений является анализ статистических связей между измерениями на постах Росгидромета [4, 5]. При этом предполагается стационарность источников эмиссии в течении месяца. На рис. 1 приведены попарные корреляционные зависимости между значениями среднемесячных концентраций бенз(а)пирена (БП): на постах № 1, № 2 г. Улан-Удэ и между городами Селенгинск (пост № 1), Улан-Удэ (пост № 2) в 2019, 2020 гг.

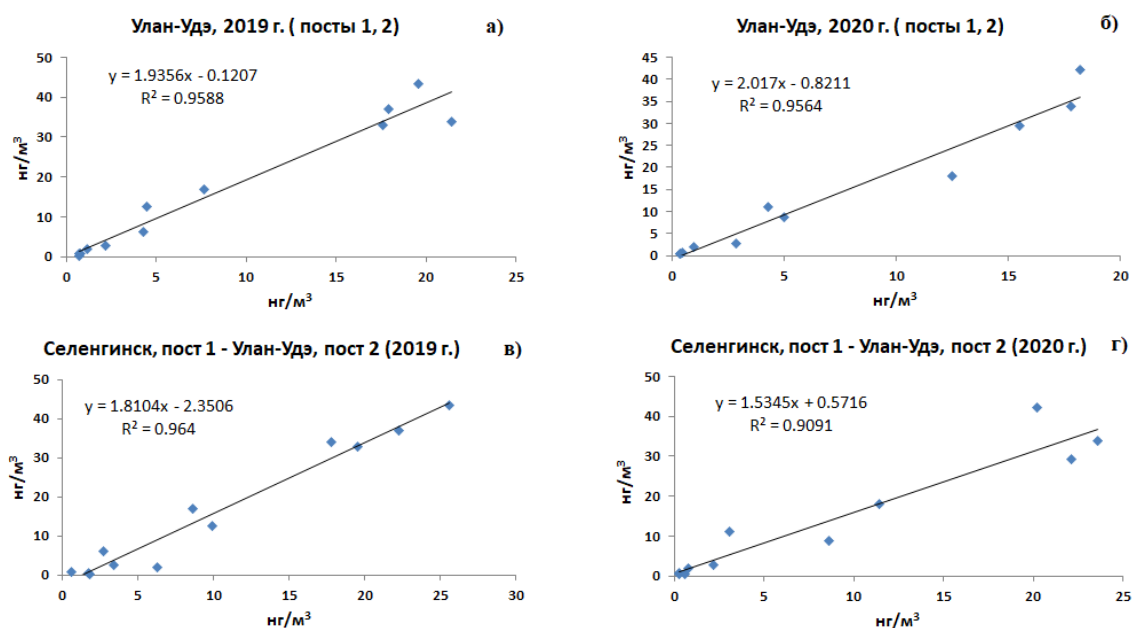


Рис. 1. Попарные корреляционные зависимости между данными измерений БП на постах городов Улан-Удэ, Селенгинск в 2019, 2020 гг.

Из анализа рис. 1 вытекает наличие достаточно высокого уровня связей между измерениями БП на постах гг. Улан-Удэ и Селенгинска. За исключением рис. 1в линии регрессии проходят достаточно близко от начала координат. В случае рис. 1в (2019 г.) заметное отклонение линии регрессии от начала координат может быть связано с причинами систематического характера. Например, были некоторые нарушения в регламентах проведения пробоотбора. Значительное расстояние между гг. Улан-Удэ и Селенгинском обеспечивает полное несовпадение источников эмиссии БП, определяющих поля концентраций в этих городах, и как следствие, причиной таких высоких корреляций (рис. 1в, рис. 1г) являются сходные метеорологические условия.

На рис. 2 представлены результаты исследований статистических связей между среднемесячной повторяемостью штилевых условий с концентрациями БП на постах г. Читы.

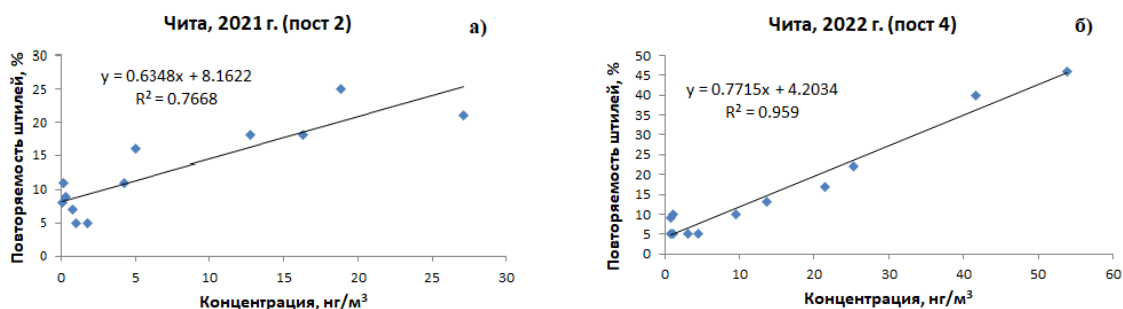


Рис. 2. Корреляционные зависимости между месячными измерениями БП на постах № 2 и № 4 г. Читы и штилевыми условиями (%) в 2021, 2022 гг.

Анализ рис. 2. показывает высокий уровень связей между концентрациями БП на рассматриваемых постах города и повторяемостями штилей на МС Читы. Пересечение линий регрессии с осью ординат на представленных рис. 2а, 2б происходит заметно выше начала координат. Это указывает на слабую связь измеряемых концентраций БП на постах в случае достаточно низких повторяемостей штилей. Как правило, такая ситуация реализуется в тёплые месяцы. В эти периоды времени на рис. 2 фиксируется эффект расползания значений концентраций БП вдоль оси ординат.

Сравнение измерений БП (рис. 1), проведенных на постах указывает возможность численного восстановления пропусков наблюдений на посту (метод 1). Также, согласно рис. 2, восполнить недостающие данные можно по повторяемости штилей (метод 2). На рис. 3 приведены результаты численного восстановления пропусков наблюдений в сентябре – декабре 2022 г. на постах г. Читы обоими методами.

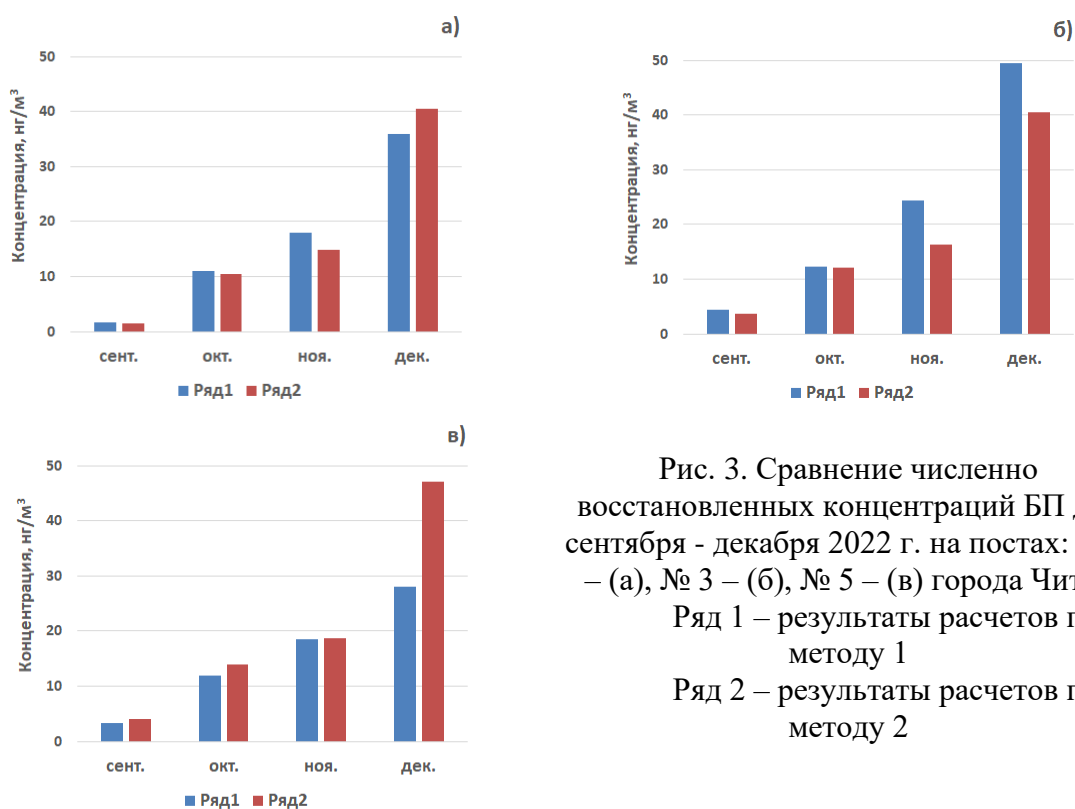


Рис. 3. Сравнение численно восстановленных концентраций БП для сентября - декабря 2022 г. на постах: № 2 – (а), № 3 – (б), № 5 – (в) города Читы.
Ряд 1 – результаты расчетов по методу 1
Ряд 2 – результаты расчетов по методу 2

Рис. 3а и 3б демонстрируют вполне удовлетворительные уровни согласия восстановленных пропусков измерений предложенными методами для сентября –

декабря 2022 г. на постах № 2, № 3 г. Читы. На рис. 3в проявилось заметное расхождение между восстановленными пропусками на посту № 5 лишь для декабря месяца.

Предлагаемые подходы основаны на предположении относительной стационарности эмиссии источников примеси на территориях рассматриваемых городов Забайкалья. Также предполагалось, что суммарное поле концентрации БП формируется множеством невысоких источников, что привело к получению ряда асимптотических соотношений, обосновывающих проводимые сравнения. Полученные корреляционные связи позволяют проводить контроль результатов измерений концентраций БП, численно восстанавливать пропуски в наблюдениях на постах Росгидромета.

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
2. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
3. Генихович Е.Л., Берлянд М.Е., Грачёва И.Г., Елисеев В.С., Зив А.Д., Оникул Р.И., Филатова Е.Н., Хуршудян Л.Г., Чичерин С.С., Яковлева Е.А. Оперативная модель расчёта концентраций, осреднённых за длительный период // Труды ГГО. 1998. Вып. 549. С. 11-31.
4. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
5. Рапута В.Ф., Леженин А.А., Сурнин В.А., Корунов А.О. Анализ данных наблюдений длительного загрязнения атмосферы города Иркутска // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 4, № 1. С.136-142.

О СВОЙСТВАХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ СОМОС-4

А.К. Свинин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
svinin@icc.ru

Мы рассматриваем квадратичное уравнение вида

$$t_n t_{n+4} = \alpha t_{n+1} t_{n+3} + \beta t_{n+2}^2 \quad (1)$$

на функцию $t(n) = t_n$ одного дискретного переменного. Соотношение (1), которое, очевидно, можно рассматривать как рекуррентное соотношение, в литературе называют уравнением Сомос-4. О приложениях этого уравнения в алгебраической комбинаторике, теории кластерных алгебр, геометрии, теоретической физике можно найти, например, в статьях [1], [2], [4].

Любая последовательность $(t_n)_{n \in \mathbb{Z}}$, удовлетворяющая рекуррентному соотношению (1), определяется коэффициентами (α, β) и начальными данными (t_0, t_1, t_2, t_3) . Следующие результаты справедливы при условии, что $\alpha\beta \neq 0$ и $t_0 t_1 t_2 t_3 \neq 0$. Последовательность (t_n) , удовлетворяющую (1) и указанным условиям, будем называть общей Сомос-4 последовательностью. Важно то, что в этом случае определен первый интеграл

$$H = \frac{t_n t_{n+3}}{t_{n+1} t_{n+2}} + \alpha \frac{t_{n+1}^2}{t_n t_{n+2}} + \alpha \frac{t_{n+2}^2}{t_{n+1} t_{n+3}} + \beta \frac{t_{n+1} t_{n+2}}{t_n t_{n+3}}.$$

Определение 1. Для общей Сомос-4 последовательности определяется сопутствующая эллиптическая последовательность $(W_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ (companion elliptic sequence) следующим образом. Пусть $W_0 = 0, W_1 = 1, W_2 = \sqrt{\alpha}, W_3 = -\beta$. Остальные члены этой последовательности определяются рекуррентным соотношением

$$W_n W_{n+4} = W_2^2 W_{n+1} W_{n+3} - W_1 W_3 W_{n+2}^2. \quad (2)$$

Из этого соотношения, в частности, следует свойство антисимметричности:

$$W_{-n} = -W_n.$$

Утверждение 1. [5], [6] Любая последовательность $(T_n)_{n \in \mathbb{Z}}$, удовлетворяющая линейному рекуррентному соотношению

$$T_{n+2} = P T_{n+1} - Q T_n \quad (3)$$

является Сомос-4 последовательностью с коэффициентами $\alpha = P^2/Q$ и $\beta = (Q - P^2)/Q$ и начальными данными $(t_0, t_1, t_2, t_3) = (T_0, T_1, -T_0 Q + T_1 P, -T_0 Q P + T_1 (P^2 - Q))$. При этом, сопутствующая эллиптическая последовательность имеет вид $W_n = D_n / Q^{(n-1)/2}$, где $(D_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ – это последовательность многочленов Люка $D_n = D_n(P, Q)$, определяемых в сторону положительных n , рекуррентным соотношением (3) при условии, что $D_0 = 0$ и $D_1 = 1$. В свою очередь, для отрицательных n , эта последовательность формально определяется соотношением $Q^n D_{-n} = -D_n$. Следующее тождество на последовательность многочленов Люка является обобщением тождества Вайды для чисел Фибоначчи: $F_n F_{n+p+q} - F_{n+p} F_{n+q} = (-1)^n F_p F_q$.

Утверждение 2. Последовательность (D_n) удовлетворяет тождеству Вайды

$$D_n D_{n+p+q} - D_{n+p} D_{n+q} = Q^n D_p D_q. \quad (4)$$

для любых $(p, q, n) \in \mathbb{Z}^3$.

Основываясь на тождестве (4) и используя некоторые вспомогательные утверждения, мы доказали следующую теорему.

Теорема 1. [6] Любая линейная последовательность второго порядка (T_n) удовлетворяет тождеству

$$W_{q-p} W_{N-q-p} T_n T_{n+N} = W_q W_{N-q} T_{n+p} T_{n+N-p} - W_p W_{N-p} T_{n+q} T_{n+N-q}$$

для любых $(N, p, q, n) \in \mathbb{Z}^4$.

Основываясь на Теореме 1, мы предположили, а потом доказали следующее утверждение.

Теорема 2. [6] Общая Сомос-4 последовательность (t_n) удовлетворяет тождеству

$$W_{q-p}W_{N-q-p}t_n t_{n+N} = W_q W_{N-q} t_{n+p} t_{n+N-p} - W_p W_{N-p} t_{n+q} t_{n+N-q}$$

для любых $(N, p, q, n) \in \mathbb{Z}^4$.

Определение 2. Соотношение

$$t_n t_{n+N} = \bar{\alpha} t_{n+p} t_{n+N-p} + \bar{\beta} t_{n+q} t_{n+N-q}$$

с некоторыми параметрами $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$ называется уравнением Гейла-Робинсона. Без ограничения общности можно считать, что $1 \leq p < q \leq \lfloor N/2 \rfloor$ для $N \geq 4$.

Из Теоремы 2 следует, что общая Сомос-4 последовательность удовлетворяет уравнению Гейла-Робинсона любого порядка $N \geq 5$. При этом параметры $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ выражаются через члены сопутствующей эллиптической последовательности по формулам

$$\bar{\alpha} = \frac{W_q W_{N-q}}{W_{q-p} W_{N-q-p}}, \quad \bar{\beta} = \frac{W_p W_{N-p}}{W_{q-p} W_{N-q-p}}.$$

Заметим, что Теорема 2 является обобщением теоремы ван дер Пуртена-Сворт из работы [3]. В свою очередь, из этой теоремы можно вывести следующее утверждение.

Теорема 3. [6] Для общей Сомос-4 последовательности (t_n) определим ее подпоследовательность $(t_n^{d,r})$ формулой $t_n^{d,r} = t_{dn+r}$, с фиксированными целыми $d \geq 2$ и $r = 0, \dots, d-1$. Любая такая подпоследовательность является Сомос-4 последовательностью с подходящими коэффициентами α_d и β_d соответствующего уравнения зависящими от d , но не от r .

Работа выполнена в рамках базового проекта 121041300058-1.

1. Buchholz R.H., Rathbun R.L. An infinite set of Heron triangles with two rational medians // Amer. Math. Monthly. 1997. V. 104. P. 107–115.
2. Fordy A.P., March B.R. Cluster mutation-periodic quivers and associated Laurent sequences// J. Algebr. Comb. 2011. V. 34. P. 19–66.
3. van der Poorten A.J., and Swart C.S. Recurrence relations for elliptic sequences: every Somos 4 is a Somos k// Bull. London Math. Soc. 2006. V. 38. P. 546–554.
4. Stanley R.P. Recent developments in algebraic combinatorics// Israel J. Math. 2004. V. 143. P. 317–339.
5. Svinin A.K. On solutions for some class of integrable difference equations// J. Differ. Equ. Appl. 2021. V. 27. P. 1734–1750.
6. Svinin A.K. Somos-4 equation and related equations// Adv. Appl. Math. 2024. V. 153. 102609.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ЦЕПОЧКИ ВОЛЬТЕРРА

А.К. Свинин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
svinin@icc.ru

Рассмотрим дифференциально-разностное уравнение первого порядка

$$\frac{\partial V_n}{\partial x} = V_n(V_{n+1} - V_{n-1}). \quad (1)$$

В литературе это уравнение называют цепочкой Вольтерра. В работе [1] уравнение (1) возникло при изучении «тонкой структуры ленгмюровских колебаний в плазме». В работе [2] это уравнение было проинтегрировано методом обратной задачи рассеяния. В дальнейшем, в работе [3] было показано, что это уравнение находится в списке подобных ему уравнений, обладающих обобщенными симметриями достаточно высокого порядка, а точнее бесконечным набором обобщенных симметрий. В работе [5] было показано, что цепочка Вольтерра и соответствующая иерархия обобщенных симметрий может быть получена подходящим ограничением интегрируемой системы, представляющей бесконечную цепочку иерархий Кадомцева-Петвиашвили.

Лемма. Пусть последовательность функций $(\tau_n(x))_{n \in \mathbb{Z}}$ удовлетворяет дифференциально-разностному уравнению

$$\tau_n \frac{\partial \tau_{n+1}}{\partial x} - \tau_{n+1} \frac{\partial \tau_n}{\partial x} = \tau_{n-1} \tau_{n+2}, \quad (2)$$

тогда последовательность функций $(V_n(x))_{n \in \mathbb{Z}}$, где $V_n = \tau_n \tau_{n+3} / (\tau_{n+1} \tau_{n+2})$, удовлетворяет уравнению (1). Уравнение (2), является билинейной формой цепочки Вольтерра (1).

Пусть $(T_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ – любая последовательность, удовлетворяющая линейному рекуррентному соотношению второго порядка

$$T_{n+2} = PT_{n+1} - QT_n$$

Теорема 1. [7] Пусть функция $B = B(x)$ является решением уравнения Рикатти

$$B' = \frac{P}{Q} B(B - P) + P. \quad (3)$$

с условием $B(0) = 0$, где (P, Q) – пара вещественных или комплексных параметров. Тогда последовательность функций $(\tau_n(x))$, определяемых как

$$\tau_n(x) = (T_n - T_{n-1}B(x))e^{nx}$$

дает решение билинейного уравнения (2). При этом, как нетрудно убедиться, $\tau_n(0) = T_n$. В силу вышеприведенной леммы, получаем следующую теорему.

Теорема 2. [7] Последовательность функций $(V_n(x))$, определяемых формулой

$$V_n(x) = \frac{(T_n - T_{n-1}B(x))(T_{n+3} - T_{n+2}B(x))}{(T_{n+1} - T_nB(x))(T_{n+2} - T_{n+1}B(x))}$$

является решением задачи Коши для цепочки Вольтерра (1) с начальным условием

$$V_n(0) = \frac{T_n T_{n+3}}{T_{n+1} T_{n+2}}.$$

Определим новые переменные

$$A = -\frac{P}{Q}B, z = -\frac{P^2}{Q}x, q = \frac{Q}{P^2}.$$

В этих переменных уравнение Рикатти (3) преобразуется к виду

$$\frac{dA}{dz} = 1 + A + qA^2. \quad (4)$$

С другой стороны, из онлайн-энциклопедии целочисленных последовательностей (OEIS) мы можем узнать, что уравнение Рикатти (4) определяет порождающую функцию $A(q, z)$ для числового треугольника $(a_{n,j})$ (A101280), где $n \geq 1$ и $0 \leq j \leq \lfloor (n-1)/2 \rfloor$. Таким образом, имеем следующее утверждение.

Утверждение. Решение уравнения Рикатти (4) записывается в виде

$$A(q, z) = \sum_{n \geq 1} \left(\sum_{j=0}^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor} a_{n,j} q^j \right) \frac{z^n}{n!}.$$

Числа $(a_{n,j})$ обладают следующим свойством. Пусть $A_n(x) = \sum_{j=0}^{n-1} E_{n,j} x^j$, – многочлен Эйлера [4], где коэффициенты $(E_{n,j})$ являются числами Эйлера первого рода [4]. Как известно, многочлен Эйлера можно записать в следующей «конденсированной» форме:

$$A_n(x) = \sum_{j=0}^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor} a_{n,j} x^j (1+x)^{n-1-2j}.$$

Работа выполнена в рамках базового проекта 121041300058-1.

1. Захаров В.Е., Мушер С.Л., Рубенчик А.М. О нелинейной стадии параметрического возбуждения волн в плазме// Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 19. С. 249–253.
2. Манаков С.-В. Полная интегрируемость и стохастизация дискретных динамических систем// ЖЭТФ. 1975. Т. 67. С. 543–555.
3. Ямилов Р.И. О классификации дискретных эволюционных уравнений// УМН. 1983. Т. 38. С. 155–156.
4. Euler L. Remarques sur un beau rapport entre les series des puissances tant directes que reciproques // Memoires de l'academie des sciences de Berlin. 1768. P. 83–106.
5. Svinin A.K. On some classes of discrete polynomials and ordinary difference equations// J. Phys. A: Math. Theor. 2014. V. 47. 155201.
6. Svinin A.K. On solutions for some class of integrable difference equations// J. Differ. Equ. Appl. 2021. V. 27. P. 1734–1750.
7. Svinin A.K. Somos-4 equation and related equations// Adv. Appl. Math. 2024. V. 153. 102609.

ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ К-СРЕДНИХ В ЗАДАЧАХ КЛАСТЕРИЗАЦИИ С РАССТОЯНИЕМ МАХАЛАНОВИСА

И.А. Семакин¹, Т.В. Груздева²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
semakini@inbox.ru, gruzdeva@icc.ru

Рассматривается задача кластеризации, возникающая в области анализа и сбора данных. Исследуется эффективность алгоритмов k-средних [1, 2] на двух моделях кластеризации с поиском центров кластеров (center-based clustering).

Первая модель является базовой, в ней расстояния между элементами данных и ближайшими центрами кластеров вычисляются с использованием квадрата евклидова расстояния между двумя точками, образованного функцией $F(x) = \|x\|^2$. Вторая модель задачи о k-средних обобщает базовую и в качестве меры близости точек использует квадрат расстояния Махаланобиса, порожденного выпуклой квадратичной формой $F(x) = \frac{1}{2} \langle x, Mx \rangle$. Расстояние Махаланобиса позволяет учитывать корреляции между данными и инвариантно к масштабу.

Таким образом, задача кластеризации, может быть сформулирована в виде следующей оптимизационной задачи:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m x_{ij} \langle (y^i - a^j), M(y^i - a^j) \rangle \downarrow \min_{(y,x)} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, m; \quad (2)$$

где переменные x_{ij} отвечают за принадлежность элемента данных j к кластеру i , переменные y^i определяют расположение центров кластеров, a^j – элементы данных, M – матрица ковариации. Кроме того, ограничения (2) гарантируют, что каждый элемент данных будет соотнесен ровно к одному кластеру. При $M = I$ получаем базовую постановку задачи о k-средних.

Построение матрицы ковариации M осуществляется поэтапно:

1) формируется матрица A , столбцы которой соответствуют элементам данных, и конструируется матрица $C = \frac{1}{m} AA^T$;

2) формируется матрица L , строки которой – собственные векторы матрицы C ;

3) наконец, матрица ковариации элементов данных формируется как $M = LCL^T$.

Был проведен вычислительный эксперимент на тестовых наборах данных из базы UCI MLR [3], в котором сравнивалась эффективность алгоритмов k-means [1] и k-means++ [2] с использованием в качестве меры близости точек расстояний Евклида и Махаланобиса. Качество кластеризации оценивалось как по значению целевой функции (1), так и с помощью параметров кластеризации: точность (precision), чувствительность (recall), полнота (F-measure).

1. Lloyd, S.: Least squares quantization in PCM. IEEE Trans. Inf. Theory 28(2), 129-137 (1982).
2. Arthur, D., Vassilvitskii, S.: K-means++: The advantages of careful seeding. In: Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. pp. 1027-1035. SODA '07, SIAM, Philadelphia (2007)
3. UC Irvine Machine Learning Repository, <https://archive.ics.uci.edu/>

НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КЛАСТЕРЫ ГУПТЫ РАЗМЕРНОСТЕЙ ОТ 1000 ДО 1100 АТОМОВ

П.С. Сороковиков

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
pavel@sorokovikov.ru

Возрастающая с каждым днем производительность вычислительных систем дает возможность численного исследования различных содержательных задач глобальной оптимизации больших размерностей. Одной из таких задач является поиск низкоэнергетических состояний атомно-молекулярных кластеров, сводящийся к минимизации потенциальных функций – специальных моделей (см., напр., [1]). Типичный представитель указанного класса задач – потенциал Гупты [2], часто использующийся в расчетах свойств нанокластеров таких металлов, как цинк, кадмий, свинец, натрий и других.

В работе рассматривается задача поиска цинковых кластеров Гупты сверхбольших размерностей (от 1000 до 1100 атомов). Постановка задачи имеет следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[A \sum_{j \neq i} \exp \left[-p \left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right] - \sqrt{\sum_{j \neq i} \exp \left[-2q \left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right) \right]} \right] \rightarrow \min,$$

$$r_{ij} = \sqrt{\left(x_{3(i-1)+1} - x_{3(j-1)+1} \right)^2 + \left(x_{3(i-1)+2} - x_{3(j-1)+2} \right)^2 + \left(x_{3(i-1)+3} - x_{3(j-1)+3} \right)^2}.$$

Здесь N – количество атомов; $A = 0.1477$, $p = 9.689$, $q = 4.602$, $r_0 = 1.0$ – специальные параметры. Потенциальная функция является невыпуклой, имеет огромное количество локальных оптимумов, чрезвычайно быстро растущее в зависимости от размерности. К настоящему времени опубликованы результаты расчетов для кластеров Гупты из 3–125 (в базе данных [1]), 126–156 атомов (в статье автора и А.С. Аникина [3]). В данной работе с помощью алгоритмического и программного обеспечения, представленного в [3], выполнены системные численные расчеты нахождения низкопотенциальных состояний кластеров существенно больших размерностей (1000–1100 атомов). В табл. 1 приведены наилучшие найденные значения целевой функции при указанных размерностях. Модифицированный алгоритм MSBH («Monotonic Sequence Basin-Hopping») и квазиньютоновский метод L-BFGS применялись в качестве методов глобального и локального поиска соответственно [3].

Сравнительный анализ результатов численных экспериментов не выявил резких отклонений от наблюдаемой закономерности между найденными значениями потенциальной функции и числом атомов. Автору неизвестно о других попытках решения задачи для указанных размерностей.

Таблица 1. Наилучшие найденные значения потенциальной функции

N	Значение
1000	-1348.558410283
1010	-1360.966877096
1020	-1374.326979101
1030	-1389.157734306
1040	-1401.817725396
1050	-1415.482970466
1060	-1428.123259985
1070	-1441.912303785
1080	-1455.839102625
1090	-1469.074670291
1100	-1482.238525141

1. The Cambridge Energy Landscape Database. URL: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>.
2. Gupta R.P. Lattice relaxation at a metal surface // Physical Review B. 1981. Vol. 23, No. 12. P. 6265–6270.
3. Sorokovikov P., Anikin A. Computational techniques for investigating low-potential Gupta clusters of extremely large dimensions // Mathematics and its Applications in New Computer Systems. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 424. P. 407–414.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ «АЛГОРИТМА КУКУШКИ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ*

П.С. Сороковиков

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
pavel@sorokovikov.ru

Задача поиска глобального оптимума многоэкстремальной целевой функции продолжает оставаться одной из наиболее сложных в теории оптимизации и в практических приложениях. К настоящему времени специалистами предложено большое количество поисковых алгоритмов нелокальной оптимизации различного типа [1], каждый из которых имеет свои вычислительные характеристики. Одними из таких алгоритмов являются «биоинспирированные» метаэвристики (см., напр., [2–4]), рост популярности которых связан с увеличением мощностей вычислительной техники и необходимостью решения многоэкстремальных задач оптимизации большой размерности.

«Алгоритм кукушки» (Cuckoo Search Algorithm, CSA) [5] предложен X.S. Yang, S. Deb в Кембриджском университете (Великобритания), представляет собой алгоритм, инспирированный поведением кукушек в процессе вынужденного гнездового паразитирования, в ходе которого кукушки подкладывают свои яйца в гнезда чужих птиц своего или другого вида. Если птица обнаружит в гнезде чужие яйца, то она может вступить в конфликт с кукушкой, либо выбросив ее яйца, либо покинув гнездо и построив новое в другом месте. Целью процесса поиска является замещение плохих гнезд более подходящими для кукушки. Работа посвящена исследованию свойств алгоритма CSA путем проведения многовариантных численных экспериментов на тестовых задачах.

Рассматривается проблема поиска глобального минимума невыпуклой функции с параллелепипедными ограничениями:

$$f(x) \rightarrow \min, x \in B, B = \{x \mid x = (x_1, x_2, \dots, x_n), \alpha_i \leq x_i \leq \beta_i, i = \overline{1, n}\}.$$

В качестве тестовых примеров рассмотрены многоэкстремальные задачи, некоторые из которых представлены ниже. Размерность тестовых задач составляла 100 переменных.

1. Функция Растригина (Rastrigin function):

$$f(x) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cdot \cos(2\pi x_i)), B = [-5.12, 5.12]^n.$$

2. Функция Гриванка (Griewank function):

$$f(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^2}{4000} \right) - \prod_{i=1}^n \cos \left(\frac{x_i}{\sqrt{i}} \right), B = [-600.0, 600.0]^n.$$

3. Функция Саломона (Salomon function):

$$f(x) = 1 - \cos \left(2\pi \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \right) + 0.1 \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}, B = [-100.0, 100.0]^n.$$

Точка и значение глобального минимума в указанных задачах: $x_i^* = 0.0, f^* = 0.0$.

Численное исследование алгоритма CSA производилось в сравнении с метаэвристическими алгоритмами оптимизации по принципу «учитель-ученик» (Teaching-Learning-Based Optimization, TLBO) [6], опыления цветков (Flower Pollination

* Работа выполнена за счет субсидии Минобрнауки России в рамках проекта «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями» (№^о гос. регистрации: 121041300060-4).

Algorithm, FPA) [7], роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) [8] и другими. Алгоритмы были реализованы в единых программных стандартах на языке С (GCC \ MinGW). Идентичные условия тестирования были обеспечены для алгоритмов, каждый из которых запускался 50 раз из равномерно распределенных в области определения функции начальных популяций из 10 поисковых агентов. Единым критерием остановки для всех алгоритмов являлось превышение 10^4 обращений к оракулу нулевого порядка.

На рис. 1 приведены результаты численного сравнения алгоритмов в виде коробчатых диаграмм. По оси ординат отложены усредненные значения функции по всей популяции. В табл. 1 представлена статистика по запускам: минимальное, максимальное и среднее значения целевой функции, стандартное отклонение. Выполненные вычислительные эксперименты продемонстрировали конкурентоспособность алгоритма CSA, по крайней мере, для вышеописанных условий.

Таблица 1. Обобщенные результаты тестирования алгоритмов

Алгоритм	Минимальное значение			Максимальное значение		
	Rastrigin	Griewank	Salomon	Rastrigin	Griewank	Salomon
CSA	683.3173	165.7194	17.9706	1016.688	252.5575	23.3859
TLBO	399.5344	142.9838	15.5558	960.5646	335.3688	23.9375
FPA	707.2599	227.9059	15.7101	935.6094	467.7887	23.9032
PSO	800.6267	237.7336	15.5999	1046.2	464.7423	22.0999
Алгоритм	Среднее значение			Стандартное отклонение		
	Rastrigin	Griewank	Salomon	Rastrigin	Griewank	Salomon
CSA	818.9893	205.3525	21.1284	69.126	17.1197	1.1287
TLBO	746.3521	208.3646	20.4398	142.738	44.2429	1.6732
FPA	856.665	327.3437	18.8252	44.5432	57.353	1.6271
PSO	937.3794	339.3733	19.0001	53.785	49.6297	1.4415

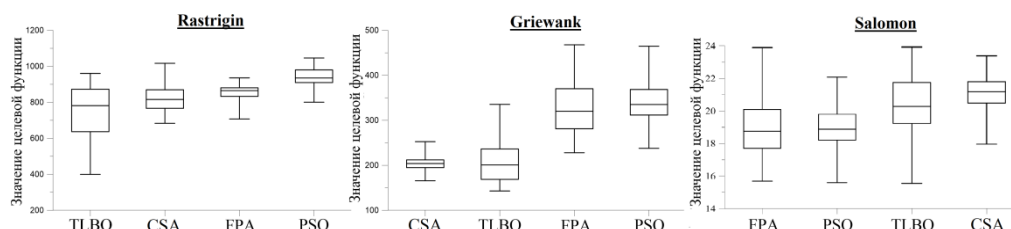


Рис. 1. Диаграммы численного сравнения алгоритмов

1. Floudas C.A., Pardalos P.M. Encyclopedia of optimization. New York: Springer Science & Business Media, 2009. 4626 p.
2. Devika G., Karegowda A.G. Bio-inspired optimization: algorithm, analysis and scope of application // Swarm Intelligence-Recent Advances and Current Applications. 2023. P. 1–37.
3. Xing B., Gao W.J. Innovative computational intelligence: a rough guide to 134 clever algorithms. Cham: Springer, 2014. 451 p.
4. Пантелеев А.В., Скавинская Д.В. Метаэвристические алгоритмы глобальной оптимизации. М.: Вузовская книга, 2019. 332 с.
5. Yang X.S., Deb S. Cuckoo search: recent advances and applications // Neural Computing and Applications. 2014. Vol. 24. P. 169–174.
6. Rao R.V., Savsani V.J., Vakharia D.P. Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems // Computer-Aided Design. 2011. Vol. 43, No. 3. P. 303–315.
7. Yang X.S. Flower pollination algorithm for global optimization // International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation. 2012. P. 240–249.
8. Fang J. et al. A survey of algorithms, applications and trends for particle swarm optimization // International Journal of Network Dynamics and Intelligence. 2023. P. 24–50.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛГОРИТМА

РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CHATGPT, ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО НЕЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА

П.С. Сороковиков

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
pavel@sorokovikov.ru

Задача поиска глобального экстремума невыпуклой функции одной переменной

$$f(x) \rightarrow \min_x, x \in X = \{x | a \leq x \leq b\}$$

нередко возникает в качестве вспомогательной при решении задач многомерной оптимизации. На практике целевая функция часто является многоэкстремальной, имеет сложную систему локальных оптимумов, что указывает на необходимость исследовать всю область поиска. Одним из подходов к решению задач нелокальной оптимизации являются методы роевого интеллекта [1], которые моделируют поведения стай живых организмов, таких как насекомые, птицы, рыбы, млекопитающие, бактерии и другие.

Американская компания OpenAI, разрабатывающая технологии на основе машинного обучения, 30 ноября 2022 года запустила чат-бот с искусственным интеллектом Chat Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT) [2]. Интерес профессионального сообщества к алгоритмам, которые можно создавать с помощью ChatGPT, неуклонно растет. Исследователей привлекает возможность получить как основной, так и вспомогательный инструмент для решения задач различных классов. В работе проверяется гипотеза о возможности получения конкурентоспособного алгоритма невыпуклой оптимизации с использованием ChatGPT и исследуется его эффективность в сравнении с другими алгоритмами нелокального поиска на наборе тестовых одномерных задач.

С помощью ChatGPT удалось выгрузить код на языке C, компилируемый с помощью GCC/MinGW и реализующий нелокальный одномерный поиск методом роевого интеллекта. В ходе анализа программного кода выяснилось, что алгоритм оптимизации представляет собой метод роя частиц (particle swarm optimization, PSO) [3, 4], работающий с множеством частиц, каждая из которых характеризуется положением и скоростью. На каждой итерации алгоритм определенным образом меняет положение и скорость частиц, используя коэффициенты ускорения и инерции, а также обновляет лучшие решения, найденные каждой частицей, и общий рекордный результат.

Численное исследование свойств полученного алгоритма PSO проводилось в сравнении с методами Пиявского («Piyavsky») [5], Стронгина («Strongin») [6] и комбинацией методов Стронгина и парабол («Strongin-Parabolas») [7] на множестве задач из 20 невыпуклых функций одной переменной [8, 9] с различным числом локальных экстремумов. Рассматривались два варианта алгоритма PSO: с 10 и 50 частицами в рое. Для исследуемых алгоритмов были обеспечены одинаковые условия тестирования. Единый критерий остановки для всех алгоритмов: $\Delta f = |\tilde{f} - f^*| \leq \varepsilon_f$, где \tilde{f} – полученное алгоритмом рекордное значение целевой функции, f^* – значение глобального минимума, ε_f – заданная точность. Некоторые из тестовых задач представлены ниже.

1. $f(x) = 0.1x^2 - \cos(\pi x)$, $X = [-4.0, 5.0]$, $x^* = 0.0$, $f^* = -1.0$.
2. $f(x) = 1 + 8\sin^2[7(x - 0.9)^2] + 6\sin^2[14(x - 0.9)^2] + (x - 0.9)^2$, $X = [-2.0, 4.0]$,
 $x^* = 0.9$, $f^* = 1.0$.
3. $f(x) = -x + \sin(3x) - 1$, $X = [-15.0, 15.0]$, $x^* \approx 14.25047$, $f^* \approx -16.19325$.

Во всех тестовых задачах исследуемый алгоритм роевого интеллекта PSO с определенной точностью нашел глобальный оптимум, что свидетельствует о его пригодности для решения задач нелокального одномерного поиска. Однако при численном сравнении с другими методами (табл. 1) алгоритм PSO во многих случаях требовал большее количество обращений к оракулу нулевого порядка для нахождения глобального экстремума с необходимой точностью. Следовательно, вычислительные эксперименты показали, что зарекомендовавшие себя методы, отобранные в сообществе специалистов, работают в целом эффективнее, чем алгоритм, полученный с использованием ChatGPT.

Таблица 1. Результаты численного сравнения алгоритмов на трех задачах. 1 столбец – порядковый номер тестовой задачи; 2 столбец – название алгоритма; 3 столбец – количество обращений алгоритмом к оракулу нулевого порядка; 4 столбец

№	Алгоритм	N_σ	Δf	Δx	\bar{N}_σ
1	PSO, 10 частиц	2041	$7.427392 \cdot 10^{-14}$	$3.675243 \cdot 10^{-8}$	4945
	PSO, 50 частиц	9501	$4.773959 \cdot 10^{-14}$	$2.735651 \cdot 10^{-8}$	15093
	Piyavsky	1155	$1.176836 \cdot 10^{-14}$	$1.348211 \cdot 10^{-8}$	2293
	Strongin	800	$7.536083 \cdot 10^{-14}$	$3.868847 \cdot 10^{-8}$	1971
	Strongin-Parabolas	793	$7.425763 \cdot 10^{-14}$	$3.347374 \cdot 10^{-8}$	1222
2	PSO, 10 частиц	2581	$3.552714 \cdot 10^{-12}$	$5.882853 \cdot 10^{-8}$	4945
	PSO, 50 частиц	8501	$2.220446 \cdot 10^{-12}$	$1.731578 \cdot 10^{-8}$	15093
	Piyavsky	5263	$4.579448 \cdot 10^{-12}$	$2.139951 \cdot 10^{-6}$	2293
	Strongin	2136	$1.207034 \cdot 10^{-12}$	$1.098687 \cdot 10^{-6}$	1971
	Strongin-Parabolas	2128	$2.220446 \cdot 10^{-12}$	$1.164050 \cdot 10^{-8}$	1222
3	PSO, 10 частиц	1935	$1.428729 \cdot 10^{-6}$	$1.244011 \cdot 10^{-6}$	4945
	PSO, 50 частиц	5821	$1.428729 \cdot 10^{-6}$	$1.244011 \cdot 10^{-6}$	15093
	Piyavsky	2497	$1.428729 \cdot 10^{-6}$	$1.244011 \cdot 10^{-6}$	2293
	Strongin	1795	$1.428729 \cdot 10^{-6}$	$1.244011 \cdot 10^{-6}$	1971
	Strongin-Parabolas	1866	$1.428729 \cdot 10^{-6}$	$1.244011 \cdot 10^{-6}$	1222

– $\Delta f = |\tilde{f} - f^*|$; 5 столбец – $\Delta x = |\tilde{x} - x^*|$, где \tilde{x} – полученная алгоритмом рекордная точка, x^* – точка глобального минимума; 6 столбец – количество обращений алгоритмом к оракулу нулевого порядка, усредненное по всему множеству из 20 тестовых задач.

1. Xing B., Gao W.J. Innovative computational intelligence: a rough guide to 134 clever algorithms. Cham: Springer, 2014. 451 p.
2. Chat Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT). URL: <https://chat.openai.com/chat>.
3. Gad A.G. Particle swarm optimization algorithm and its applications: a systematic review // Archives of Computational Methods in Engineering. 2022. Vol. 29, No. 5. P. 2531–2561.
4. Fang J. et al. A survey of algorithms, applications and trends for particle swarm optimization // International Journal of Network Dynamics and Intelligence. 2023. P. 24–50.
5. Пиявский С.А. Один алгоритм отыскания абсолютного экстремума функций // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1972. Т. 12, № 4. С. 885–896.
6. Стронгин Р.Г. Численные методы в многоэкстремальных задачах (информационно-статистические алгоритмы). М.: Наука, 1978. 240 с.
7. Сороковиков П.С. Модификации алгоритмов нелокального одномерного поиска, основанные на условии Гёльдера // Вестник Бурятского гос. ун-та. Математика, информатика. 2019. № 4. С. 40–56.
8. Сороковиков П.С. Разработка и исследование нелокальных алгоритмов параметрической идентификации динамических систем // Автореф. канд. дисс. 2.3.1. Москва, 2022. 25 с.

9. Усов А.Л. Использование кусочно-линейных ограничивающих функций в одномерной глобальной оптимизации // Автореф. канд. дисс. 01.01.09. Москва, 2022. 24 с.

ОЦЕНКА РИСКА НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ ПРИ ПРЕБЫВАНИИ В ОЧАГЕ ЗАДЫМЛЕНИЯ (ЭПИДЕМИОЛОГО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Л.М. Соседова, В.С. Рукавишников, В.А. Вокина, Н.В. Ефимова
ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»
sosedlar@mail.ru

Регулярное возникновение масштабных лесных пожаров в Байкальской природной территории сопровождается значительным задымлением, при этом шлейф дыма зачастую пересекает границы регионов и государств. На лесных территориях, в том числе в Байкальском регионе (БР) в поселениях, удаленных от густо населенных мест отсутствует система химического контроля за качеством атмосферы, что усложняет задачу изучения влияния дыма на здоровье в малонаселенной местности. Все это требует принятия научно-обоснованных комплексных мероприятий для разработки мер защиты населения.

Современные эпидемиологические и токсикологические данные свидетельствуют о негативном воздействии дыма лесных пожаров на здоровье человека. Необходимо отметить, что подавляющее число опубликованных в современной отечественной и зарубежной литературе данных, касающихся оценки риска нарушения здоровья при воздействии пожаров были задокументированы среди пожарных, работающих в структурных подразделениях федеральной противопожарной службы. Среди населения, подвергающегося длительному или краткосрочному задымлению, исследования рисков для здоровья крайне недостаточны.

Выявлено, что наибольший вклад в риск развития заболеваемости населения от массовых лесных пожаров могут внести следующие вещества: взвешенные частицы (PM_{2,5}), взвешенные вещества (TSP), сажа (C). Все эти вещества негативно воздействуют на здоровье человека, в первую очередь, на дыхательную систему, а также раздражают слизистые оболочки глаз.

Результаты расчета коэффициентов и индексов опасности по зарегистрированным показателям загрязнения на постах наблюдения в пожароопасный период свидетельствуют о высоком риске как острых эффектов, связанных с рефлекторным воздействием (реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания), так и хронических, обусловленных рефлекторно-резорбтивным воздействием (возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных)

Риски острого ингаляционного воздействия, рассчитанные по максимальным зарегистрированным концентрациям, обусловлены загрязнением приземного слоя атмосферы взвешенными веществами, формальдегида и оксида углерода. Суммарный долевой вклад в общетоксический индекс опасности от указанных веществ составляет **96,3%**.

Проведенным анализом ранговой значимости экологических факторов в формировании потерь популяционного здоровья в период массовых ландшафтных пожаров установлены приоритетные качественные маркеры эффекта: обращаемость за медицинской помощью и смертность, связанные с болезнями органов дыхания и кровообращения в возрастных группах дети до года; от 1 года до 5 лет; и лиц старше 65. При этом критериально значимым является увеличение показателей в 1,5-2 раза.

Исходя из полученных данных и зависимостей между аэрозольным индексом и концентрациями химических примесей нами определены популяционные риски для населения байкальского региона в августе 2021 года, когда наблюдалось задымление от удаленных лесных пожаров. Наиболее высокие уровни аэрозольного риска отмечены в

центральной зоне Байкала (Ольхонский и Прибайкальский районы). При таких уровнях загрязнения негативные реакции на раздражающее действие могут быть у 19,5 и 13,5% населения.

Для оценки токсического действия дыма природных пожаров, помимо анализа медицинской статистики и использования математических моделей пожаров, необходима разработка комплекса экспериментальных исследований, предусматривающих моделирование условий, близких к природным. Однако из-за ряда методологических сложностей на сегодняшний день не существует адекватной экспериментальной модели лесных пожаров. Имеющиеся и описанные в современной литературе методические подходы не позволяют оценить влияние комплекса компонентов токсичной дымовой смеси. Нами разработан способ моделирования интоксикации дымом природных пожаров. В условиях экспериментального моделирования мы поддерживали уровень СО в экспозиционных камерах в пределах 20-30 мг/м³. В качестве субстрата при моделировании лесного пожара использовали биомассу (пробы торфа), полностью выгорающую в условиях реального низового пожара.

Использование разработанной экспериментальной модели природного пожара осуществляли в следующих направлениях: оценка воздействия на центральную нервную систему и на репродуктивную систему крыс, т.к. именно в этих направлениях существует значительный пробел в знаниях о токсическом эффекте дыма. Проведена серия из 8-ми экспериментов, воздействие осуществляли, изменяя длительность и концентрацию дыма. Производили расчет экспозиционной нагрузки (Di) для СО и РМ_{2,5} в отдельности и суммарной экспозиционной нагрузки (Dsum).

Результаты проведенного исследования показали, что при суммарной экспозиционной нагрузке 0,03-0,22 мг наблюдались первоначальные изменения показателей морфофункционального состояния ЦНС. При увеличении длительности экспозиции реакция со стороны ЦНС характеризовалась значимыми изменениями в структуре видоспецифического поведения животных и биоэлектрической активности головного мозга. При увеличении Dsum до 4мг и выше нарушения показателей поведения и электрической активности мозга сопровождались значительными изменениями в структуре нервной ткани головного мозга крыс. Со стороны репродуктивной системы ответная реакция в виде нарушения постнатального развития потомства, при отсутствии выраженного гонадотоксического эффекта у особей родительского поколения, выявлена при суммарной экспозиционной нагрузке от 0,22 до 4 мг. Длительное воздействие дыма ПП в течение 1 месяца сопровождалось выраженным нарушением сперматогенной функции семенников и повышением неонатальной смертности у потомства. Следует отметить, что даже краткосрочное (30 минут) воздействие на уровне СО 100 мг/м³ (безопасный для человека уровень согласно рекомендациям ВОЗ при воздействии в течение 15 минут) сопровождалось изменениями в поведении и показателей ЭЭГ у потомства.

Полученные результаты экспериментального моделирования позволяют нам, утверждать что опираясь на утвержденные безопасные уровни воздействия СО без учета его влияния в составе многокомпонентной смеси, можно недооценить токсическую нагрузку и опасность того или иного задымления для здоровья. Снижение выживаемости потомства грызунов, полученного при спаривании непосредственно после воздействия дыма лесного пожара, позволяет, с учетом сроков развития особей данного вида, прогнозировать динамику численности данной популяции на определенный период времени. Полноценная и адекватная оценка экспозиционной нагрузки при пребывании в условиях задымления и принятие эффективных управляющих решений будет способствовать снижению риска развития нарушений здоровья настоящего и последующего поколений.

АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В ПРОСТРАНСТВЕ МЕР
НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕЛОКАЛЬНЫХ ФОРМУЛ ПРИРАЩЕНИЯ

М.В. Старицын, Л.Р. Д. Дрегла Сидоров
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
starmax@icc.ru, lev.ryan.lev@gmail.com

В докладе будут представлены результаты исследований по проекту РНФ 23-21-00161 в области разработки непрямых методов численного решения задач оптимального управления динамическими системами в метрических пространствах мер.

Объектом изучения выступает задача оптимального управления

$$(P) \quad \mathcal{J}[u] = \langle \mu_1[u], \ell \rangle \rightarrow \inf$$

“линейной по состоянию” системой

$$\partial_t \mu_t = L_t^*[u] \mu_t + h_t[u], \quad \mu_0 = \vartheta; \quad t \in I \doteq [0, 1].$$

Здесь μ_t суть вероятностные меры на евклидовом пространстве \mathbb{R}^n , а $u \in L_\infty(I, U)$ – сосредоточенные управления со значениями в заданном компактном множестве $U \subset \mathbb{R}^m$. В самом общем для нас случае линейный оператор L^* есть формально сопряженный

$$L_t^*[u] \mu = \partial_{x_i x_j}^2 \left[D_t^{ij} \mu \right] - \partial_{x_i} (f^i(u_t) \mu) + g_t \mu$$

к генератору конвективно-диффузионного процесса с линейным источником

$$L_t[u] p = D_t^{ij} \partial_{x_i x_j}^2 p + \partial_{x_i} p \cdot f^i(u_t) + g_t p.$$

Отталкиваясь от линейной (по состоянию) структуры задачи (P) и применяя классический аппарат двойственности, мы получим явные представления разности значений целевого функционала на любой паре допустимых управлений, аналогичные точным формулам приращения [1]. Эти формулы дают возможность сформулировать новые, т.н. “позиционные” [2], необходимые условия оптимальности, независимые от принципа Понтрягина (ПМП), и на их основе – нелокальные непрямые методы монотонного спуска, не содержащие (в отличие от основанных на ПМП процедур градиентного типа) никаких свободных параметров, подлежащих дополнительной настройке. В частном варианте $D \equiv 0$ и $h \equiv 0$ (для задачи управления уравнением переноса) мы сравним представленный алгоритм с методом [3], основанным на новой форме принципа максимума и содержащим параметр глубины спуска, подбор которого составляет внешнюю процедуру линейного поиска. Результаты работы алгоритмов будут проиллюстрированы на простейшем примере управления гармоническим процессом в условиях неопределенности и возмущений.

1. А. В. Аргучинцев, В. А. Дыхта, В. А. Срочко. Оптимальное управление: нелокальные условия, вычислительные методы и вариационный принцип максимума // Изв. вузов. Матем. 2009. № 1. С. 3-43.
2. В. А. Дыхта. Позиционный принцип минимума: вариационное усиление понятий экстремальности в оптимальном управлении // Изв. Иркутского гос. университета. Матем. 2022. Т. 41. С. 19-39.
3. М. В. Старицын, Н. И. Погодаев, Е. В. Гончарова. Принцип максимума Понтрягина и непрямой метод спуска в задаче оптимального импульсного управления нелокальным уравнением переноса // Изв. Иркутского гос. университета. Матем. 2023 (ожидается в Т. 46)

ГЕНЕРАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА

А.Б. Столбов¹, Н.О. Дородных¹, О.А. Николайчук¹, А.Ю. Юрин¹, Н. Допиро²

¹Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

²Иркутский национальный исследовательский технический университет

stolboff@icc.ru, tualatin32@mail.ru, nikoly@icc.ru, iskander@icc.ru,

nikitadopiro@gmail.com

В настоящее время применение интеллектуальных помощников, особенно в форме голосовых ассистентов, приобретает всё большую популярность. Бурный рост последних лет, связанный с внедрениями этих технологий в существующие ИТ-инфраструктуры крупных компаний (Google Assistant, Microsoft Cortana, Яндекс Алиса и др.), дополнился качественным скачком прошлого года – появлением чат-ботов на основе генеративных моделей (в особенности на основе больших языковых моделей). Актуальность проведение научных исследований в этом направлении подтверждается сохраняющимся трендом на расширение области применения интеллектуальных помощников и на увеличение количества моделей, методов и программных средств, предназначенных для разработки интеллектуальных помощников. Современные интеллектуальные помощники должны удовлетворять ряду обязательных требований: обрабатывать естественный язык (голос и текст) для общения с пользователем; учитывать контекст в процессе диалога и принятия решений; поддерживать популярные платформы в качестве каналов взаимодействия с пользователем; иметь модульную структуру.

При создании и совершенствовании интеллектуальных помощников применяются различные технологии: системы, основанные на правилах; методы обработки естественного языка; методы машинного обучения; генеративные модели. В свою очередь результаты данного исследования вносят вклад в специализацию модельно-ориентированного подхода (Model Driven Engineering, MDE) для создания проблемно-ориентированных интеллектуальных помощников. Особенность MDE подхода заключается в создании моделей различного типа и их соответствующих трансформаций для получения программного кода или спецификации некоторого приложения. Например, в стандарте архитектуры, управляемой моделью (Model Driven Architecture, MDA), определяются 3 типа моделей: вычислительно-независимая (CIM), платформо-независимая (PIM) и платформо-зависимая (PSM).

Ранее было показано [1], что для случая создания приложений типа «экспертная система» в качестве CIM может выступать онтология проблемной и предметной области, PIM – модель описания продукции RVML [1], PSM – языки программных оболочек CLIPS, DROOLS. При применении MDA подхода к задачам создания интеллектуальных помощников [2] в роли CIM также могут быть использованы онтологии проблемной и предметной области, а PIM и PSM модели должны описывать диалоговую подсистему в общем виде, например, на основе формализма фреймов или на конечных автоматах и особенности её реализации в платформах реализации голосовых ассистентов или чат ботов. При этом уже существующие модели RVML, CLIPS, DROOLS могут как непосредственно использованы при создании блоков принятия решения интеллектуального помощника, так и частично при формировании других моделей.

Таким образом, специализированными моделями для проблемно-ориентированного интеллектуального помощника в контексте текущего исследования являются следующие модели: модель проблемно-ориентированного диалога; модель управления диалогом на основе фреймов; модель управления диалогом на основе

конечного автомата; модель разговорного интерфейса диалога; множество PSM для различных платформ.

Рассмотрим в качестве примера прототип используемой в данной работе общей модели разговорного интерфейса применительно к диалогу фреймового типа:

<Намерение> = <Фрейм>, {<Тренировочная фраза>}, <Ответ>, [{<Входной Контекст>}], [{<Выходной контекст>}], [<Внешнее действие>]

<Тренировочная фраза> = <Разметка>, <Текст>

<Разметка> = <Фраза в тексте>, <Слот>

<Входной/ Выходной контекст> = <Фрейм>, <Время жизни контекста>

<Фрейм> = {Слот}

<Слот> = <Тип>, <Значение>, <Список или нет>, <Обязателен или нет>, {<Фраза-вопрос для заполнения слота>}, <Другие параметры слота>

<Тип> = <Системный тип> | <Пользовательский тип>

<Пользовательский тип> = <Идентификатор>, {<Значение типа>}, <Параметры распознавания>

<Значение типа> = <Идентификатор>, [{Синоним}], [{Фраза-шаблон}]

<Значение> = NULL | Текст

<Внешнее действие> = <Обработчик>, <Ответ>

<Обработчик> = <Тип обработчика>, <Параметры доступа>

<Тип обработчика> = Облачная функция | Специализированная платформа | Сервер

<Ответ> = <Канал>, <Представление>

<Канал> = Dilalogflow | Telegram | PhoneGateway | ...

<Представление>=Текст | Код | Картинка | Форма | Кнопка | ...

Источником информации для формирования этой модели могут выступать проблемные и предметные модели, а также другие модели PIM. В этом случае к подзадачам задачи генерации и трансформации общей модели разговорного интерфейса можно отнести: определение алгоритма диалога и структуры фреймов (при участии пользователя-разработчика); извлечение значений из онтологий проблемной и предметной области, а также соответствующих баз знаний и баз данных для формирования значений слотов и начального множества тренировочных фраз; генерация вариантов синонимов значений слотов и синонимичных тренировочных фраз; разметка тренировочных фраз слотами; формирование последовательности намерений на основе алгоритма диалога; настройка параметров, необходимых для реализации внешних действий.

Результатом генерации и трансформации PSM модели будет спецификация для некоторой платформы голосовых помощников. В этом случае от пользователя может потребоваться дополнить сгенерированную PSM модель недостающей информацией.

В качестве тестового примера генерация и трансформация специализированных моделей для проблемно-ориентированного интеллектуального помощника была рассмотрена задача поиска и устранения неисправностей воздушного судна, а в качестве целевых платформы голосовых помощников были использованы JUST AI и Dialogflow.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-21-00099.

1. Yurin A.Y., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Grishenko M.A. Designing rule-based expert systems with the aid of the model-driven development approach // Expert Systems. 2018. №5 (35). DOI: 10.1111/exsy.12291.
2. Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu., Stolbov A.B. Towards knowledge-based virtual assistant development with the aid of ontology transformations // Proceedings of the 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 2022, Yekaterinburg, Russia pp. 830-834. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10016914.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДУБИНСА И РИДСА-ШЕППА

А.Н. Стрельников¹, А.Ю. Горнов²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
strelnikov077@rambler.ru, gornov@icc.ru

Проблема построения адекватных моделей динамики автомобиля остается уже более полувека в центре внимания большого числа высококвалифицированных специалистов. Тем не менее, к настоящему времени ее никак не следует считать решенной, что связано, очевидно, с относительно слабым развитием математического инструментария для задач оптимизации нелинейных систем. В более сложных постановках, например, игровых (см. [1]) ситуация представляется еще менее оптимистичной. Одним из серьезных ресурсов получения новых методик исследования автомобильных моделей является теория фазового оценивания.

В докладе рассматривается обобщенная параметризованная автомобильная модель, включающая в качестве частных случаев как известную «машину Л. Дубинса», так и менее популярную модель Дж. Ридса и Л. Шеппа (см., напр., [2]). В работе [1] была выполнена численная оценка множеств уровня функции цены дифференциальной игры «шофер-убийца» с такой обобщенной моделью. В дополнение к этому интересному результату мы, последовательно расширяя ресурс управления, провели исследование возможностей модели в зависимости от значения параметра с использованием технологии аппроксимации множества достижимости (МД) [3].

Рассмотрим управляемую систему

$$\dot{x} = -y \cdot u, \quad \dot{y} = x \cdot u - w, \quad -1 \leq u(t) \leq 1, \quad w \in [a, 1], \\ x(0) = 1, y(0) = 0, t \in [0, 1],$$

при $a = 1$ получаем «автомобиль Дубинса», при $a = -1$ – «автомобиль Ридса–Шеппа». На рисунке 1 приведены результаты расчета при $a = 1$ (черные маркеры), $a = 0$ (белые маркеры с контрастной границей) и $a = -1$ (серые маркеры). Анализ набора полученных аппроксимаций множества достижимости позволяет сделать следующие заключения: 1) решение поставленной на любом варианте модели задачи оптимизации может оказаться неединственным (множества достижимости невыпуклы); 2) имеет место значительное сужение возможностей моделей при нулевых значениях первой фазовой переменной; 3) большая часть динамики моделей направлена в отрицательных направлениях движения; 4) модель Ридса–Шеппа открывает существенно большие возможности управления.

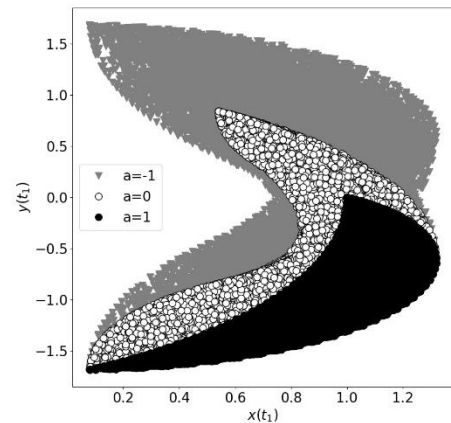


Рис. 1. Множество достижимости в рассматриваемой модельной задаче при $a = -1, 0, 1$.

1. Пацко В.С., Турова В.Л. Игра "шофер-убийца" и ее модификации // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки, 2008. Вып. 2. С. 105–110.
2. Reeds J.A., Shepp L.A. Optimal paths for a car that goes both forwards and backwards // Pacific J. Math. 1990. Vol. 145(2). P. 367–393.
3. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Finkelstein E.A., Anikin A.S. The method of uniform monotonous approximation of the reachable set border for a controllable system // Journal of Global Optimization. 2016. Vol. 66, 1. P. 53–64.

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА
УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ
ОДНОЙ НЕГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Т.Н. Титоренко, В.Д. Иртегов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
irteg@icc.ru, titor@icc.ru

В докладе представлены результаты качественного анализа дифференциальных уравнений [1], описывающих вращение вокруг неподвижной точки динамически несимметричного твердого тела, заключенного жестко в сферическую оболочку, к которой примыкает один шар и один диск. Предполагается, что проскальзывание в точке контакта шара с оболочкой отсутствует. Центры шаров и ось диска неподвижны в пространстве. Движение механической системы описывается дифференциальными уравнениями

$$\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\omega} + R\boldsymbol{\gamma} \times \mathbf{N} + \mu\mathbf{E} + \mathbf{M}_Q, D_1\dot{\boldsymbol{\omega}}_1 = D_1\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\omega} + R_1\boldsymbol{\gamma} \times \mathbf{N}, \dot{\boldsymbol{\gamma}} = \boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{\omega}, \dot{\mathbf{E}} = \mathbf{E} \times \boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

и уравнениями связей

$$R\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\gamma} + R_1\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\gamma} = 0, (\boldsymbol{\omega}, \mathbf{E}) = 0. \quad (2)$$

Здесь $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$, R – угловая скорость тела и радиус сферической оболочки, $\boldsymbol{\omega}_1 = (\omega_{1_1}, \omega_{1_2}, \omega_{1_3})$, R_1 – угловая скорость и радиус примыкающего шара, $\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ – единичный вектор оси, соединяющей центры шаров, $\mathbf{E} = (e_1, e_2, e_3)$ – вектор нормали плоскости, содержащей центр шара и ось диска, $\mathbf{I} = \text{diag}(A, B, C)$ – тензор инерции тела, D_1 – тензор инерции примыкающего шара, $\mathbf{N} = (N_1, N_2, N_3)$, μ – неопределенные множители, отвечающие реакциям связей (2), \mathbf{M}_Q – момент внешних сил.

При помощи уравнений связей (2) дифференциальные уравнения (1) приводятся к виду

$$\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} + D\boldsymbol{\gamma} \times (\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \boldsymbol{\gamma}) = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\omega} + \mu\mathbf{E} + \mathbf{M}_Q, \dot{\boldsymbol{\gamma}} = \boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{\omega}, \dot{\mathbf{E}} = \mathbf{E} \times \boldsymbol{\omega}, \quad \text{где } D = \frac{R^2}{R_1^2} D_1. \quad (3)$$

Если на тело действуют потенциальные силы $\mathbf{M}_Q = \boldsymbol{\gamma} \times \frac{\partial U}{\partial \boldsymbol{\gamma}} + \mathbf{E} \times \frac{\partial U}{\partial \mathbf{E}}$, где $U = U(\boldsymbol{\gamma}, \mathbf{E})$, уравнения (3) допускают следующие первые интегралы

$$2H = (\mathbf{I}_Q \boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\omega}) + 2U(\boldsymbol{\gamma}, \mathbf{E}) = h, \quad V_1 = (\boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\gamma}) = 1, \quad V_2 = (\mathbf{E}, \mathbf{E}) = 1, \\ V_3 = (\boldsymbol{\gamma}, \mathbf{E}) = \text{const}, \quad V_4 = (\boldsymbol{\omega}, \mathbf{E}) = 0$$

и в общем случае являются неинтегрируемыми. Здесь $\mathbf{I}_Q = \mathbf{I} + D - D\boldsymbol{\gamma} \otimes \boldsymbol{\gamma}$.

Уравнения (3) могут иметь еще два дополнительных первых интеграла, если внешние силы отсутствуют ($U = 0$) и $(\mathbf{E} \times \boldsymbol{\gamma}) \neq 0$:

$$F_1 = (\mathbf{K}, \mathbf{E} \times \boldsymbol{\gamma}), \quad F_2 = (\mathbf{K}, \mathbf{E} \times (\mathbf{E} \times \boldsymbol{\gamma})), \quad \text{где } \mathbf{K} = \mathbf{I}_Q \boldsymbol{\omega} - (\mathbf{I}_Q \boldsymbol{\omega}, \mathbf{E})\mathbf{E}.$$

В докладе проводится качественный анализ дифференциальных уравнений (3) в обоих случаях, когда на механическую систему действуют потенциальные силы и когда они отсутствуют. Находятся стационарные множества различной размерности и исследуется их устойчивость по Ляпунову.

1. Борисов А. В., Мамаев И. С. Новая интегрируемая система неголономной механики // ДАН, 2015. Т. 462. № 6. С. 657-659

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ. МЕТОД НАЙСКОРЕЙШЕГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА

Д.А. Токарев
Сибирский государственный университет путей сообщения
daniil@7tl.ru

Постановка задачи. Стратегия поиска

В методе наискорейшего спуска в качестве направления поиска выбирается вектор, направление которого противоположно направлению вектора градиента функции $\nabla f(x)$. Из математического анализа известно, что вектор

$$\text{grad } f(x) = \nabla f(x) \quad (1.1.1)$$

характеризует направление наиболее быстрого возрастания функции. Поэтому вектор

$$-\text{grad } f(X) = -\nabla f(X) \quad (1.1.2)$$

называется антиградиентом и является направлением наиболее быстрого ее убывания. Рекуррентное соотношение, с помощью которого реализуется метод наискорейшего спуска, имеет вид

$$X_{k+1} = X_k - \lambda_k \nabla f(x_k), \quad k = 0, 1, \dots, \quad (1.1.3)$$

где $\lambda_k > 0$ - величина шага. В зависимости от выбора величины шага можно получить различные варианты градиентного метода. Если в процессе оптимизации величина шага λ фиксирована, то метод носит название градиентного метода с дискретным шагом.

Как правило, в общем случае недостаточно одного шага для достижения минимума функции, процесс повторяют до тех пор, пока последующие вычисления позволяют улучшать результат.

Недостатком метода может быть критерий остановки

$$|\nabla f(X_k)| < \varepsilon_k, \quad (1.1.4)$$

так как этому условию удовлетворяет и седловая точка, а не только оптимум.

Алгоритмическое описание.

1. В качестве направления поиска выберем вектор градиент в текущей точке

$$\nabla f(X) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \end{pmatrix} \quad (1.2.1)$$

2. Проверяем критерий остановки

$$|\nabla f(X_1)| < \varepsilon. \quad (1.2.2)$$

3. Вычисляем значение функции в начальной точке $f(X_0)$.

4. Делаем шаг вдоль направления антиградиента

$$X_2 = X_1 - \lambda_1 \nabla f(X_0) \quad (1.2.3)$$

5. Вычисляем значение функции в новой точке $f(X_1)$.

6. Ищем такой шаг, чтобы целевая функция достигала минимума вдоль этого направления.

Из необходимого условия существования экстремума функции

$$\nabla f(X_1) = 0 \quad (1.2.4)$$

Получаем шаг λ_1 .

7. Выполнение этого шага приведет в точку

$$X_1 = X_0 - \lambda_1 * \nabla f(X_0). \quad (1.2.5)$$

8. Сравним значение градиента с критерием остановки $|\nabla f(X_2)| < \varepsilon$.

Если точность не достигнута, повторяем предыдущие итерации до достижения критерия остановки. Если точность достигнута, завершаем вычисления.

Разработка интерфейса.

В данной работе используется среда разработки VisualStudio 2019, языка программирования — C#.

В режиме Design был разработан интерфейс приложения.

9. Компонентами TextBox были реализованы поля для ввода условий задачи и этапов ее решения;
10. Компонентами Label были реализованы надписи «Введите уравнение», «Введите X(0)», «Полученная точка», а так же поле для вывода полученной точки;
11. Компонентами Button были реализованы кнопки «Вычислить» и «Очистить»;
12. Поле создания – Form.

Интерфейс приложения представлен на рисунке 1.1.

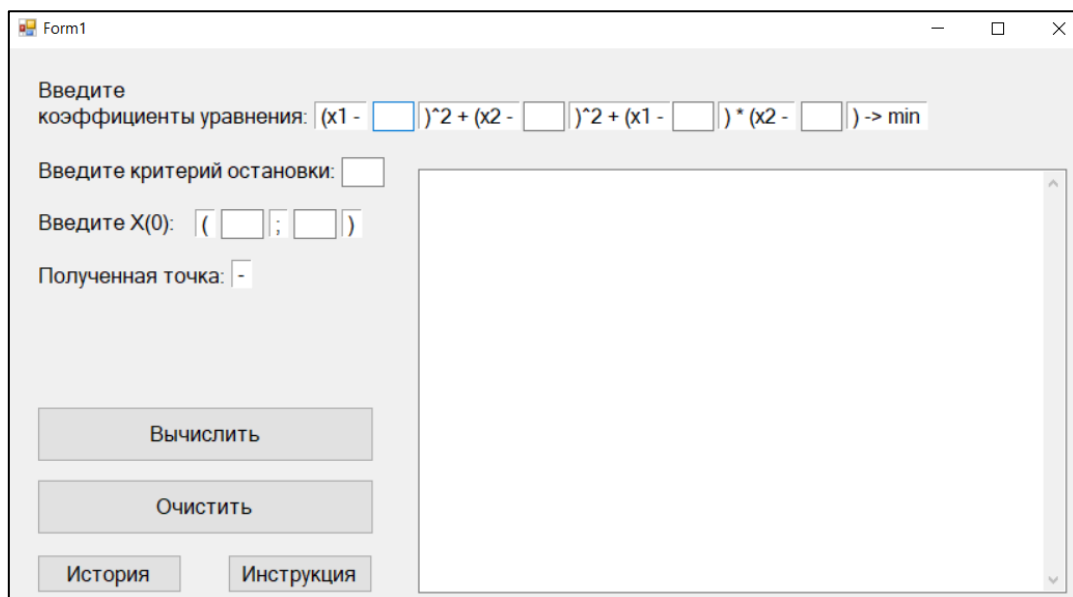


Рис. 1.1 – Интерфейс приложения

ТЕОРЕМЫ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ С МАКСИМАЛЬНО МОНОТОННЫМИ ОПЕРАТОРАМИ

А.А. Толстоногов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
aatol@icc.ru

В сепарабельном гильбертовом пространстве изучается эволюционное включение с зависящим от времени семейством максимально монотонных операторов. Если элементы минимальной нормы семейства максимально монотонных операторов удовлетворяют условиям роста, то области определения семейства максимально монотонных операторов являются замкнутыми выпуклыми множествами. Поэтому будет определен процесс выметания, значениями которого являются нормальные конусы областей определения максимально монотонных операторов. Доказывается, что если процесс выметания при любом однозначном возмущении из пространства интегрируемых функций имеет решение, то этим свойством обладает и эволюционное включение с максимально монотонными операторами и однозначными возмущениями из пространства интегрируемых функций. В терминах свойств семейства максимально монотонных операторов даны самые общие условия, обеспечивающие существование решений процесса выметания.

Все полученные результаты, а также предлагаемый подход являются новыми. Они используются для доказательства теоремы существования решений эволюционного включения с многозначным возмущением, значениями которого являются замкнутые невыпуклые множества.

МНОГОМЕТОДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ

А.И. Тятюшкин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
tjat@icc.ru

Рассматривается задача оптимального управления с фазовыми ограничениями, содержащая управляющие параметры как в правых частях управляемой системы, так и в начальных условиях. Для решения этой сложной задачи предлагается сначала редукция к задаче математического программирования, а затем для поиска оптимальных значений параметров и управляющих функций – применение многометодного алгоритма, состоящего из методов линеаризации, метода приведенного градиента и метода спроектированного лагранжиана.

Основной проблемой применения многометодной технологии при численном решении задач оптимального управления является выбор метода для эффективного продолжения процесса оптимизации с того момента, когда ухудшилась сходимость текущего метода. На многопроцессорных компьютерах для реализации каждого метода удобнее использовать отдельный процессор и решение одной задачи вести несколькими методами одновременно. После нахождения очередного приближения все методы оцениваются, например, по полученному приращению функционала, и из них выбирается наиболее эффективный метод для продолжения оптимизации, а полученное этим методом приближение передается остальным методам в качестве начального для выполнения следующей итерации.

Продолжая итерационный процесс до получения приближения, на котором с заданной точностью будет выполнен критерий оптимальности, найдем приближенное решение задачи. При этом решение будет найдено многометодным алгоритмом, состоящим из последовательности шагов разных методов, подключаемых к процессу оптимизации с целью ускорения его сходимости. Например, в случае параллельного использования трех методов (см. рис. 1) лучшее приближение будет определяться по максимуму приращения функционала, полученного на данной итерации каждым из трех методов: $u_{i_0} = \arg \max_{i \in \{1,2,3\}} (I(u_i^k) - I(u_i^{k-1}))$. Затем это приближение передается всем трем методам для выполнения следующей итерации: $u_i^{k+1} = u_{i_0}, i = 1,2,3$.

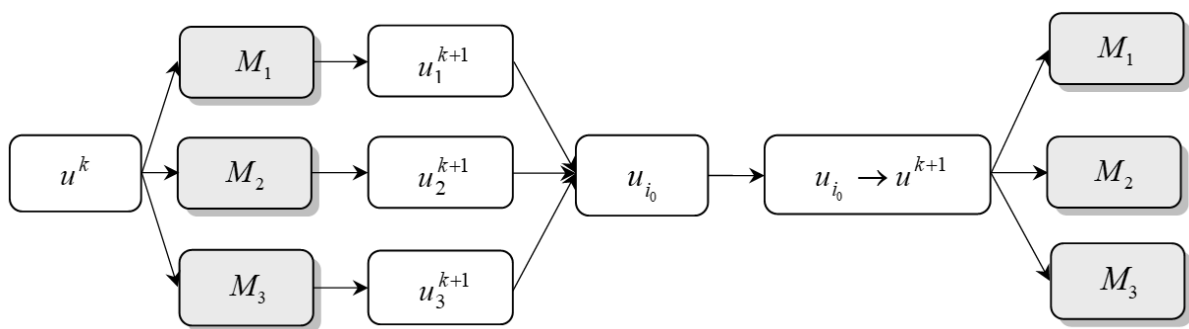


Рис.1. Схема выполнения $k + 1$ -й итерации многометодным алгоритмом для группы из трех методов: M_1, M_2, M_3

Пусть задан управляемый процесс с управляющими параметрами как в правых частях, так и в начальных условиях

$$\dot{x} = f(x, u, w, t), \quad x(t) \in E^n, \quad u(t) \in E^r, \quad t \in T = [t_0, t_1],$$

$$x(t_0) = \Theta(v), \quad w \in R^p, \quad v \in R^n \quad (1)$$

с терминальными условиями

$$I_i(u) = h_i(x(t_1)) = 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

и фазовыми ограничениями

$$J_i(u, v) = g_i(x(t), t) = 0, \quad t \in T, \quad i = \overline{1, s}. \quad (3)$$

Управление и параметры стеснены следующими ограничениями:

$$c_i(u, t) = 0, \quad t \in T, \quad i = \overline{1, l}, \quad (4)$$

$$u^h(t) \leq u(t) \leq u^s(t), \quad t \in T, \quad v^h \leq v \leq v^s, \quad w^h \leq w \leq w^s. \quad (5)$$

Требуется среди управлений и параметров, удовлетворяющих ограничениям (4)–(6), найти такие, которые обеспечивают выполнение условий (3) для управляемого процесса (1) и приводят его в точку фазового пространства, где с заданной точностью будут выполнены условия (2), а функционал

$$I_0(u) = \phi(x(t_1)) \quad (6)$$

достигнет наименьшего значения.

Градиенты функционалов $I_j(u)$, $j = \overline{0, m}$, с помощью функций $H^j(\psi_j, x, u, t) = \psi_j'(t)f(x, u, t)$ и сопряженной системы

$$\dot{\psi}_j = -f_x(x, u, t)' \psi_j(t), \quad \psi_j(t_1) = -\phi_x^j(x(t_1))$$

традиционно определяются по формулам:

$$\nabla I_j(u) = -H_u^j(\psi_j, x, u, t), \quad j = \overline{0, m}.$$

Для каждого $t \in T$ можно аналогично вычислить градиенты $J_j(u, t)$, $j = \overline{1, s}$:

$$\nabla J_j(u, t) = -\bar{H}_u^j(\Phi_j, x, u, t, \tau), \quad t_0 \leq \tau \leq t \leq t_1,$$

где $\bar{H}^j(\Phi_j, x, u, t, \tau) = \Phi_j'(t, \tau)f(x, u, \tau)$, $\Phi_j(t, \tau)$, $j = \overline{1, s}$ – решения сопряженной системы

$$\frac{\partial \Phi_j(t, \tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial f(x, u, \tau)}{\partial x} \Phi_j(t, \tau), \quad \tau \in [t_0, t]$$

с краевыми условиями

$$\Phi_j(t, t) = -\frac{\partial g^j(x(t))}{\partial x}, \quad j = \overline{1, s}.$$

Матрица-якобиан линеаризованных ограничений составляется из градиентов ∇I_i , $i = \overline{1, m}$, и $\nabla J_j(t)$, $j = \overline{1, s}$, $t \in T$, и так как правые части и начальные условия системы (1) зависят еще и от параметров, то необходимо иметь также градиенты функционалов I_i , $i = \overline{1, m}$, и $J_j(t)$, $j = \overline{1, s}$, $t \in T$, по этим параметрам [1]:

$$\begin{aligned} \nabla_v I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\psi_i(t_0)' \Theta_v(v^k), \quad i = \overline{1, m}, \\ \nabla_w I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\int_{t_0}^{t_1} \psi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\nabla_w J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\int_{t_0}^{t^j} \Phi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \quad (8)$$

$$\nabla_v J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\Phi_i(t_0)' \Theta(v^k), \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (9)$$

На каждой итерации внешнего метода спроектированного лагранжиана решается вспомогательная задача минимизации модифицированного функционала Лагранжа

$$L = \phi(x(t_1)) - \lambda^k [h(x(t_1)) - \bar{h}^L] + \frac{\rho}{2} [h(x(t_1)) - \bar{h}^L]' [h(x(t_1)) - \bar{h}^L] - \\ - \int_{t_0}^{t_1} \mu^k(t) [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [g(x(t), t) - \bar{g}^L]' [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt - \\ - \int_{t_0}^{t_1} \gamma^k(t) [c(u, t) - \bar{c}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [c(u, t) - \bar{c}^L]' [c(u, t) - \bar{c}^L] dt, \quad (10)$$

при линейризованных на k -м приближении ограничениях

$$I^k + \sum_{j=0}^N \nabla_u I^k(t^j)' (u_j - u_j^k) + \nabla_w I^k'(w - w^k) + \nabla_v I^k'(v - v^k) = 0, j = \overline{0, N}. \quad (11)$$

$$J_j^k + \sum_{i=0}^j [\nabla_w J^k(t^j)' (u_i - u_i^k) + \nabla_w J^k(t^j)' (w - w^k) + \nabla_v J^k(t^j)' (v - v^k)] = 0. \quad (12)$$

Задача (7) – (12) решается методом приведенного градиента. В результате ее решения будут найдены очередные приближения как для искомого управления, так и для двойственных переменных, необходимых для выполнения следующей итерации метода линейризации, решающего исходную задачу (1)–(6).

Изложенные в докладе численные методы оптимизации параметров и управляющих функций конструктивно учитывают фазовые ограничения путем применения эффективных алгоритмов линейного и нелинейного программирования [2] для решения вспомогательных задач большой размерности. На внешних итерациях этого метода решаются задачи минимизации специально сконструированного нелинейного функционала – модифицированного лагранжиана при линейризованных на полученном приближении фазовых ограничениях [4]–[6]. Приближенное решение этих задач находится итерационным методом приведенного градиента с использованием сопряженной системы для расчета градиентов.

Программное обеспечение, разработанное на основе данного подхода и реализующее многометодную технологию расчета оптимального управления и оптимальных параметров, успешно применяется для решения сложных прикладных задач оптимального управления из различных областей науки и техники [3], [7], [8].

1. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Качественная теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1971.
2. Габасов Р., Кириллова Ф.М., Тятюшкин А.И. Конструктивные методы оптимизации. Ч. 1: Линейные задачи. – Минск: Университетское, 1984.
3. Горнов А.Ю., Тятюшкин А.И., Финкельштейн Численные методы решения прикладных задач оптимального управления. Журн. вычисл. математики и мат. физики. Том 53, №12, 2013. С. 68–82.
4. Тятюшкин А.И. Численные методы и программные средства оптимизации управляемых систем. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992.
5. Тятюшкин А.И. Многометодная технология оптимизации управляемых систем. Новосибирск: Наука, 2006.
6. Тятюшкин А.И. Параллельные вычисления в задачах оптимального управления //Сиб. журн. вычисл. математики. 2000. Т. 3, № 2. С. 181–190.
7. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Численное исследование свойств оптимального управления в одной задаче преследования. Изв. РАН, ТиСУ. 2005. № 3. С. 104–113.
8. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Возможности защиты от атакующей ракеты задней полусферы самолета вертикальным маневром. Изв. РАН, ТиСУ. 2006. № 1. С. 111–125.

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ЭЭС³

А.И. Тятюшкин, А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gornov@icc.ru

Обеспечение надежности функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС), несмотря на огромный объем вложенных усилий, продолжает оставаться весьма актуальной проблемой. Помимо естественных причин, связанных с природными катаклизмами, в последнее время резко увеличились также и риски разного рода злонамеренных воздействий. Для решения рассматриваемых проблем привлекаются новые идеи и технические подходы, в частности, исследуются возможности создания новых методик гашения аварий на ЭЭС с применением устройств, работающих на постоянном токе (см., напр., [1]). Поскольку проведение физических экспериментов на непрерывно работающих ЭЭС никакие эксплуатирующие организации, за редким исключением, не согласовывают, основным исследовательским инструментом становится математическое моделирование.

Динамика системы на интервале времени $[0, t_1]$ описывается масштабированной системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2, \quad \dot{x}_2 = 0.072 - 0.0968 x_3^2 - 0.0605 x_3 \sin x_1, \\ \dot{x}_3 &= 0.232(1 + u_1) - 0.297 x_3 + 0.0919 \cos x_1.\end{aligned}$$

На управление наложены ограничения $|u_1(t)| \leq 1$. Задача заключается в оценке минимального t_1 – времени, которое необходимо для скорейшего перевода системы из состояния $x(0) = (-0.0436, 0, 1.1)$ в состояние $x(t_1) = (-0.4502, 0, 1.043)$.

В докладе обсуждается методика получения нижней и верхней оценки времени быстрогодействия, достигаемой с применением алгоритмов аппроксимации множества достижимости (МД). Заметим, что просто решить задачу оптимального управления на скорейший перевод из точки в точку представляется недостаточным – модель, естественно, приближенно описывает явление, и для практики необходимо иметь интервал, в котором с большой вероятностью находится верный ответ.

Задача построения методики аппроксимации МД для рассматриваемой модели заметно упрощается в силу линейной зависимости системы от управляющего воздействия. Это позволило применить вариант метода стохастической аппроксимации, опирающийся на использование релейных управляющих воздействий (см., напр., [3–5]).

Путем последовательного сжатия интервала времени удалось в интерактивном режиме получить приемлемое решение. Достигнутые в трех проекциях аппроксимации МД представлены на рис. 1–3 для времени 4.0 и на рис. 4–6 для времени 5.0. Целевая точка отмечена крестиком. На рисунках 1–3 хорошо видно, что для всех трех проекций множества достижимости (может быть, за исключением третьего случая) при времени 4 целевая точка оказывается за пределами аппроксимированного МД и, следовательно, этого времени недостаточно для решения задачи перевода в требуемую точку. При времени процесса равным 5 множество достижимости уже поглощает целевую точку.

* Работа выполнена за счет субсидии Минобрнауки России в рамках проекта «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями» (№^о гос. регистрации: 121041300060-4).

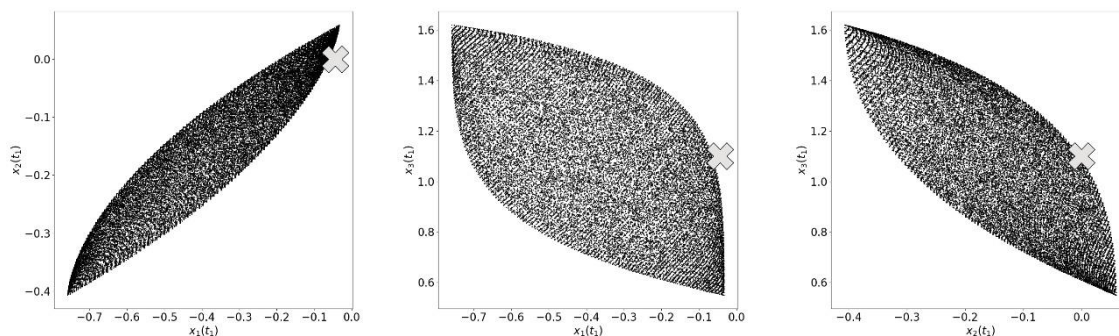


Рис. 1–3. Проекция множества достижимости при $t_1 = 4$
на оси x_1, x_2 ; x_1, x_3 ; x_2, x_3 .

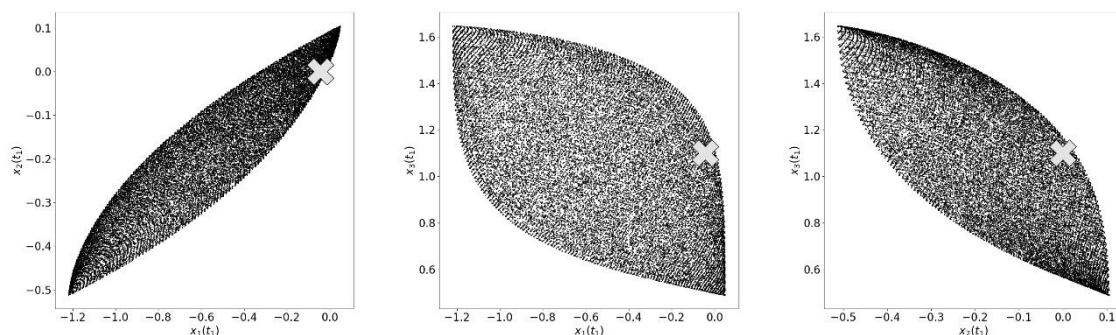


Рис. 4–6. Проекция множества достижимости при $t_1 = 5$
на оси x_1, x_2 ; x_1, x_3 ; x_2, x_3 .

Выполненные вычислительные эксперименты позволили существенно уточнить оценки времени быстрогодействия для модели ЭЭС, полученные в работах [1, 2].

1. Горнов А.Ю., Касимов Н.Г., Кучеров Ю.Н. Оптимизация управления в динамических режимах ЭЭС, содержащих элементы постоянного тока // Надежность при управлении развитием и Функционированием электроэнергетических систем. Иркутск: СЭИ, 1988. С. 200–208.
2. Горнов А.Ю., Касимов Н.Г., Кучеров Ю.Н. Модель оптимального управления переходными режимами ЭЭС, содержащих элементы постоянного тока // Всес. науч.-техн. Конф. «Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной, силовоточной и полупроводниковой техники». М., 1989, с. 22.
3. Горнов А.Ю., Финкельштейн Е.А. Алгоритм кусочно-линейной аппроксимации границы множества достижимости // Автоматика и телемеханика. 2015. – №3. С. 22–31.
4. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Finkelstein E.A., Anikin A.S. The method of uniform monotonous approximation of the reachable set border for a controllable system // Journal of Global Optimization. 2016. Vol. 66, №1. P. 53–64.
5. Gornov A., Finkelstein E., Zarodnyuk T. Algorithm of Uniform Filling of Nonlinear Dynamic System Reachable Set Based on Maximin Problem Solution // Optimization Letters. 2019. Vol. 13, №3. P. 633–643.

СЕПАРАБЕЛЬНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ НЕВЫПУКЛОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

А.И. Тятюшкин, А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
gornov@icc.ru

Единственным надежным источником информации о реальных свойствах алгоритмов оптимизации пока, к сожалению, остается вычислительный эксперимент. В задачах выпуклой оптимизации, например, в последние годы произведен, по общему мнению, серьезный теоретический прорыв, связанный с методиками оценки вычислительной сложности задач (см., напр., [1]): практически для каждого алгоритма удается узнать, сколько ему надо произвести операций для того, чтобы гарантировано получить решение с наперед заданной точностью. Тем не менее, поведение алгоритма при оптимизации конкретных выпуклых функций может сильно отличаться от того, которое прогнозируется теорией. Вычислительная практика свидетельствует о том, что даже для создания рейтингов выпуклых алгоритмов строгие оценки могут оказаться не слишком пригодными (см., напр., [2]). Для невыпуклых задач положение представляется еще более драматичным. При конструировании алгоритма нелокальной оптимизации необходимо обеспечить решение двух, вообще говоря, противоречивых задач: сканирование всей области поиска с целью нахождения региона залегания глобального экстремума и уточнение положения наилучшего решения в этой области. Если для второй задачи инструментарий уже разработан, для первой, по-видимому, пока только создается (см., напр., [3]). Большой проблемой при сравнении алгоритмов можно считать отсутствие общеизвестных и общепризнанных модельных задач и тестовых коллекций.

В докладе обсуждаются предложенные методики тестирования алгоритмов невыпуклой оптимизации, основанные на простейших модельных функциях (строго) сепарабельного типа – сконструированных из функций одномерных. Простейшим примером функций такого типа можно назвать сумму синусов, каждый из которых зависит от одной оптимизируемой переменной. При этом возникает возможность полного контроля теста: заранее известно (тривиальным образом) где находится глобальное решение. Для обеспечения единственности решения можно использовать аддитивную добавку в виде любой выпуклой функции; для увеличения числа локальных экстремумов можно увеличить размеры допустимых брусков. Формируемые таким образом тестовые задачи могут, формально говоря, быть сколь угодно сложными и иметь миллионы и миллиарды экстремумов. Единственным серьезным их дефектом можно было бы считать нарушение известного принципа «тест не должен давать преимуществ каким-либо методам» (Б.Т. Поляк), поскольку, очевидно, что их решение алгоритмы, основанные на покоординатных поисках, могут получить очень легко. Однако, для всех других типов алгоритмов – их большинство, этой проблемы не существует.

Предложенная методика тестирования, основанная на сепарабельных функциях, неплохо показала себя на практике и, по нашему убеждению, может служить основой как для сравнения различных вариантов алгоритмов, так и для создания их рейтингов. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Нестеров Ю.Е. Методы выпуклой оптимизации. М.: Издательство МЦНМО, 2010. 281 с.
2. Аникин А.С., Гасников А.В., Горнов А.Ю., Камзолов Д.И., Максимов Ю.В., Нестеров Ю.Е. Эффективные численные методы решения задачи PAGERANK для дважды разреженных матриц // Труды Московского физ.-техн. ин-та. 2015. Т. 7, №4 (28). С. 74–94.
3. Gasnikov A. et all. Recent Theoretical Advances in Non-Convex Optimization // Math. OS, 2021, pp. 1–81. <https://arxiv.org/pdf/2012.06188.pdf>.

СЕРВЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ВНЕДРЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

Я.А. Угорская¹, А.Г. Балахчи², Г.Д. Миклошевич²

¹Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

z_942011@mail.ru, ftt@yandex.ru

Дополненная реальность (AR) – это технология, которая объединяет виртуальный и реальный миры для создания уникального пользовательского опыта.

Веб-проекты с дополненной реальностью (WebAR) предоставляют пользователям возможность потреблять иммерсивный контент на своих мобильных устройствах, используя только встроенный браузер. Реализация AR технологий в веб-пространстве направлена на двустороннее решение проблем: упрощение процесса разработки и доступность приложения для пользователей. Однако, в существующих решениях для хранения и поиска маркеров в AR сценарии используются вычислительные мощности и объем памяти устройства пользователя, что негативно влияет на результат работы (например, зависания при загрузке проекта). Для решения этой проблемы можно использовать серверный подход в реализации.

Серверная реализация дополненной реальности (Server-based Augmented Reality) – концепция дополненной реальности, которая опирается на облачные вычисления и серверные ресурсы для обработки и предоставления содержимого пользователю. Вот некоторые особенности такого подхода: высокая вычислительная мощность, меньшие требования к устройству пользователя, гибкость и масштабируемость, хранение данных на сервере. Кроме этого данный подход обеспечивает возможность внедрения нейросетей, которые помогут обеспечить более высокий уровень распознавания маркеров. Однако, эта технология имеет ряд ограничений, из которых наиболее серьезными являются: задержка и отклик, а также пропускная способность сети [1].

Теоретическая часть исследования посвящена анализу уже готовых фреймворков с серверной дополненной реальностью: ARCore, ARKit, Amazon Sumerian, Vuforia Engine, ZapWorks. Кроме этого, были проанализированы методы реализации алгоритмов распознавания маркеров и разработаны требования к AR сервису.

В практической части проанализированы нейросетевые архитектуры для сопоставления изображения. С использованием собственного набора данных, выявлены сильные и слабые стороны выбранных алгоритмов: R2D2, D2-Net, CoAM [2]. Для уменьшения времени отклика, были предложены и разработаны методы по улучшению сети CoAM, показавшей наилучшие показатели в распознавании изображений. Разработан API для доступа к алгоритму сопоставления изображений и интерфейс на языке JavaScript для работы с серверной частью.

Результаты работы направлены на решение проблем серверной дополненной реальности, с целью создания нового инструмента для реализации приложений с серверной дополненной реальностью.

1. Zi Siang See, et al. An Augmented Reality and Virtual Reality Pillar for Exhibitions: A Subjective Exploration//International Conference on Artificial Reality and Telexistence – 2017 – https://www.researchgate.net/publication/322758332_An_Augmented_Reality_and_Virtual_Reality_Pillar_for_Exhibitions_A_Subjective_Exploration
2. Wiles O., Ehrhardt S., Zisserman A. Co-attention for conditioned image matching //Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2021. – С. 15920-15929.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ*

А.Г. Феоктистов¹, А.В. Еделев², О.Ю. Башарина^{1,3}, Е.С. Фереферов¹

¹ Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

² Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

³ Уральский государственный экономический университет

agf65@yandex.ru, alexedelev@gmail.com, basharinaolga@mail.ru, fereferov@icc.ru

В настоящее время исследование развития и использования энергетических инфраструктур (ЭИ) с точки зрения экологического мониторинга и природосбережения, несомненно, является сложной задачей. Анализ живучести ЭИ является одним из применений подобного исследования. С точки зрения поддержания благоприятной экологической ситуации, сохранения природных ресурсов и обеспечения сбалансированного энергопотребления повышение живучести ЭИ позволяет предотвратить негативные последствия крупных внешних возмущений.

Сложность моделей ЭИ обуславливает необходимость применения высокопроизводительных вычислений в процессе моделирования. Подготовка крупномасштабных экспериментов в рамках моделирования является достаточно долгой и кропотливой работой. В рамках такой работы необходимо максимально учитывать специфику предметной области и требования конечного пользователя к используемой вычислительной среде. Это в свою очередь требует разработки и применения специализированных инструментов для поддержки различных аспектов изучения живучести энергетических систем. К таким аспектам относятся наличие больших наборов данных, необходимость ускорения их обработки, проведение вычислений в распределенной среде, конвергенция прикладного и системного программного обеспечения, предоставление гибкого и удобного сервис-ориентированного доступа пользователей к разработанным моделям и алгоритмам и др.

В докладе рассматривается предметно-ориентированная высокопроизводительной среда моделирования живучести ЭИ с учетом внешних воздействий. В ходе проведения подобных исследований зачастую возникает проблема реализации быстрого доступа к обрабатываемым данным для их оперативного анализа и последующего принятия решений. Поэтому в рамках среды используется технология In-Memory Data Grid (IMDG). При этом учитывается специфика предметной области, которая определяется набором ключевых параметров, изменение значений которых существенно влияет на размер обрабатываемых данных. В отличие от известных подходов подобного назначения разработанная среда обеспечивает интеграцию и управление разнородными вычислительными ресурсами в рамках использования технологии IMDG. Результаты исследования продемонстрированы на примере решения задачи оценки живучести модельной газотранспортной сети [1].

1. Feoktistov A., Edelev A., Tchernykh F., Gorsky S., Basharina O., Fereferov E. An Approach to Implementing High-Performance Computing for Problem Solving in Workflow-based Energy Infrastructure Resilience Studies. Preprints. 2023. P. 2023110065.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

СТЕНД ТЕСТИРОВАНИЯ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ *

А.Г. Феоктистов¹, Р.О. Костромин¹, М.Л. Воскобойников¹, О.Ю. Башарина^{1,2}

¹ Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

² Уральский государственный экономический университет

agf65@yandex.ru, roman@kostromin.net, mikev1988@mail.ru, basharinaolga@mail.ru

Рассматривается подход к разработке инструментальных средств построения гетерогенной распределенной вычислительной среды для создания, применения и испытания сервис-ориентированных научных приложений. Реализация и исполнение научных рабочих процессов (НРП), представляющих собой схемы решения задач в рамках научного приложения, базируется на контейнеризации прикладного и системного программного обеспечения.

Суть и новизна представленного подхода заключается в комплексном использовании декларативного языка Business Process Execution Language (BPEL) и средств контейнеризации прикладного и системного программного обеспечения при реализации и выполнении НРП. Такое комплексное использование обеспечивает ряд следующих ключевых возможностей:

- описания схемы решения задач, объединяющие сервисы доступа к предметным базам данных и сервис-ориентированное прикладное программное обеспечение, которые разрабатываются предметными специалистами из различных организаций, с использованием стандартизированного языка BPEL;
- масштабирования как процесса выполнения вычислительных заданий, так и функционирования систем управления этими заданиями в гетерогенной вычислительной среде путем контейнеризации;
- создания условий для гибкой интеграции НРП с ГИС с помощью WPS-сервисов.

В рамках исследования разработан действующий прототип испытательного стенда для сервис-ориентированных научных приложений. Стенд ориентирован на тестирование сервисов научных приложений, включая визуализацию данных. Он применен в процессе разработки и применения ряда научных приложений, в том числе приложений для моделирования процессов исследования живучести энергетических комплексов [1] и использования природосберегающего оборудования [2].

1. Бычков И.В., Горский С.А., Еделев А.В., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Феоктистов А.Г., Фереферов Е.С., Федоров Р.К. Поддержка управления живучестью систем энергетики на основе комбинаторного подхода // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. № 6. С. 122–135.
2. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Башарина О.Ю., Сидоров И.А. Моделирование работы природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов в микросервисной среде // Вычислительные технологии. 2022. Т. 27, № 5. С.30–42.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории») и проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределённых средах» (рег. № 121032400051-9), а также РФФИ и Правительства Иркутской области, грант № 20-47-380002-р_а «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории».

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ⁴

Е.С. Фереферов, Ю.В. Авраменко, И.В. Бычков, А.С. Гаченко, В.В. Пармонов,
А.К. Попова, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
fereferov@icc.ru

Байкальская природная территория (БПТ) является сложным природным комплексом, на территории которого расположено признанное ЮНЕСКО всемирным природным наследием озеро Байкал. Экологическую ситуацию на БПТ нельзя назвать благополучной. Расположенные в южной части БПТ крупные города и промышленные центры являются источниками загрязнения атмосферы, вод и почв, которые в свою очередь, оказывает влияние на здоровье населения. Кроме экологических проблем антропогенного характера, на БПТ происходят опасные геодинамические процессы (сейсмичность, оползни, обвалы, сели и т.п.), а также существуют проблемы с состоянием бореальных лесов (в том числе эпидемиологическое поражение, распространение вредителей, природные пожары, изменение климата и т.п.). Развитие средств и методов всестороннего геоэкологического контроля является важной задачей для сохранения экосистемы озера Байкал и всей БПТ.

В работе представлены результаты исследований, полученные в рамках крупного научного проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки байкальской природной территории». Проект реализуется Консорциумом из 16 институтов Сибирского отделения РАН, специализирующихся в определенных научных областях и имеющих большой практический опыт по изучению изменений в гидросфере, литосфере, биосфере, атмосфере, здоровье человека под действием природных и антропогенных факторов, а также применения математических методов и информационно-вычислительных технологий для решения сложных научных и прикладных задач. Целью проекта является создание новых методов и технологий комплексного экологического мониторинга и прогнозирования на основе цифровых платформ, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, анализ больших массивов разнородных пространственно-временных данных, а также комплекса математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения и их апробация для БПТ.

Разрабатываемая в рамках проекта цифровая платформа [1-3] выступает в качестве интегрирующей основы цифрового экологического мониторинга, является средой для накопления, обмена и управления данными в структурированном виде, а также системой вызова бизнес-функций с подключёнными к ней через технологические интерфейсы сервисами участников цифровой экосистемы (участников мониторинга). Цифровая платформа экологического мониторинга состоит из трех базовых компонент: инструментальной, инфраструктурной и прикладной цифровых платформ. Инструментальная цифровая платформа (ИЦП) обеспечивает доступ участников цифровой экосистемы мониторинга к разработке и отладке прикладных информационных и программно-аппаратных средств, предоставляя им инструментальные сервисы для обработки пространственно-временных данных и их

1. ⁴ Работа выполнена при поддержке ЦКП ИИВС ИРНОК, базового проекта АААА-А17-117032210079-1, гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

интерфейсов. ИЦП включает инструменты создания трех основных типов компонентов, встраиваемых в общую среду:

- 1) разработки WPS сервисов [4] и их композиций, предназначенных для программной обработки данных, реализующих стандарты интероперабельности программного обеспечения;
- 2) создания сервисов обмена данными, обеспечивающих и предоставление сбор тематических данных;
- 3) развертывания геопорталов, обеспечивающих доступ к тематическим данным и сервисам.

ИЦП содержит инструменты для создания типовых геопорталов и сервисов в облачной среде центра обработки данных. Создание производится на основе заранее сконфигурированных шаблонов виртуальных машин. Для WPS сервисов имеются шаблоны с системами Zoo project [5], 52°North Web Processing Service, упрощающими реализацию стандарта WPS.

Инфраструктурная цифровая платформа (ИнЦП) обеспечивает создание прикладных программно-аппаратных средств мониторинга, тематических WPS-сервисов обработки и распределённого хранения данных на основе высокопроизводительной информационно-аналитической среды, сервис-ориентированных и сквозных технологий. ИнЦП содержит средства доставки, обработки, хранения данных, а также инфраструктуру развёртывания ИЦП, сервисы (программные решения на базе ИЦП), средства разработки, отладки и интеграции сервисов. Для решения задач проекта на базе ЦКП ИИВС ИРНОК⁵ [6] развернута вычислительная инфраструктура, обеспечивающая всем участникам проекта возможность хранения больших объёмов разноформатных пространственно-временных данных, высокоскоростной доступ к ним и возможность выполнения высоконагруженных вычислений. Инфраструктура состоит из связанных высокоскоростной сетью передачи данных на основе 10G-Ethernet системы хранения данных на базе Infortrend EonStor GS 1000 Gen2 (736 ТБ емкости), высокопроизводительной системы хранения данных на базе HPE MSA 2060 (27 ТБ емкости), высокоскоростной сети хранения данных (SAN), функционирующей на базе протокола Fibre Channel 12G, вычислительного кластера из 15 серверов с GPU NVidia RTX- 3080, 3090 (для машинного обучения). На базе основных инфраструктурных компонент, с использованием системы виртуализации VMWare vSphere 7 сформирована облачная платформа, консолидирующая сетевые и вычислительные ресурсы с ресурсами систем (сети) хранения данных и гибко предоставляющая их для всех систем и сервисов проекта.

Прикладная цифровая платформа (ПЦП) оперирует обработанными данными на уровне отдельной группы или вида мониторинга в целом, а также поддерживает алгоритмический обмен услугами (сервисами) между независимыми участниками цифровой экосистемы с использованием единой информационно-аналитической среды и технологической инфраструктуры. ПЦП состоит из геопортала цифрового мониторинга, сервисов предоставления данных и тематических WPS-сервисов.

Разработкой цифровой платформы экологического мониторинга занимается Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН. При этом ПЦП создаются в тесном сотрудничестве с институтами, являющимися специалистами в конкретном виде мониторинга или моделировании развития экологической ситуации. В рамках проекта создан ряд прикладных сервисов таких, как:

- Моделирования динамики лесных ресурсов

2. ⁵ ИИВС ИРНОК – Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса

- Анализа и прогнозирования риска (опасности) лесного пожара на основе информации о классе пожароопасности лесов, метеоусловий и других факторов
- Обработки данных о загрязнениях атмосферы со спутника Sentinel-5P
- Сбора и обработки данных о загрязнениях приземных слоев атмосферы

БПТ

- Сейсмического районирования
- Геокодирования мест регистрации укусов иксодовыми клещами
- Оценки влияния лесных пожаров на органы дыхания человека
- Расчета концентрации хлорофилла-а

Особое внимание в рамках проекта уделяется методам мониторинга на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Собран значительный объем информации: космоснимки Sentinel-2 на Иркутскую область и Республика Бурятию за три года занимают более 57 терабайт (21 тысяча снимков). Для организации удобного поиска космоснимков и быстрого доступа к ним создан каталог данных ДЗЗ, реализована возможность отображения снимков на карте и поддержка получения космоснимков земной поверхности из различных источников. Снимки находятся в СХД ИРНОК, их регистрация производится разработанными компонентами сбора данных. Реализован поиск снимков с учетом сенсора, облачности, положения и даты.

Для организации экологического мониторинга на больших территориях разработана технология и Web-сервис классификации мультиспектральных космоснимков Sentinel-2 [7]. Классификация космоснимков проводится с использованием нейронной сети ResNet50 (Рис.1). Технология позволяет определить набор классов (типов поверхностей), подготовить обучающую выборку, провести верификацию и выполнить классификацию большого количества снимков. Обучающая выборка формируется с помощью Web-интерфейса на основе космоснимков Sentinel-2 и полевых исследований. В качестве входных данных нейронная сеть принимает 13 каналов Sentinel-2 и канал, построенный на основе локальных бинарных шаблонов для учета текстурных характеристик.

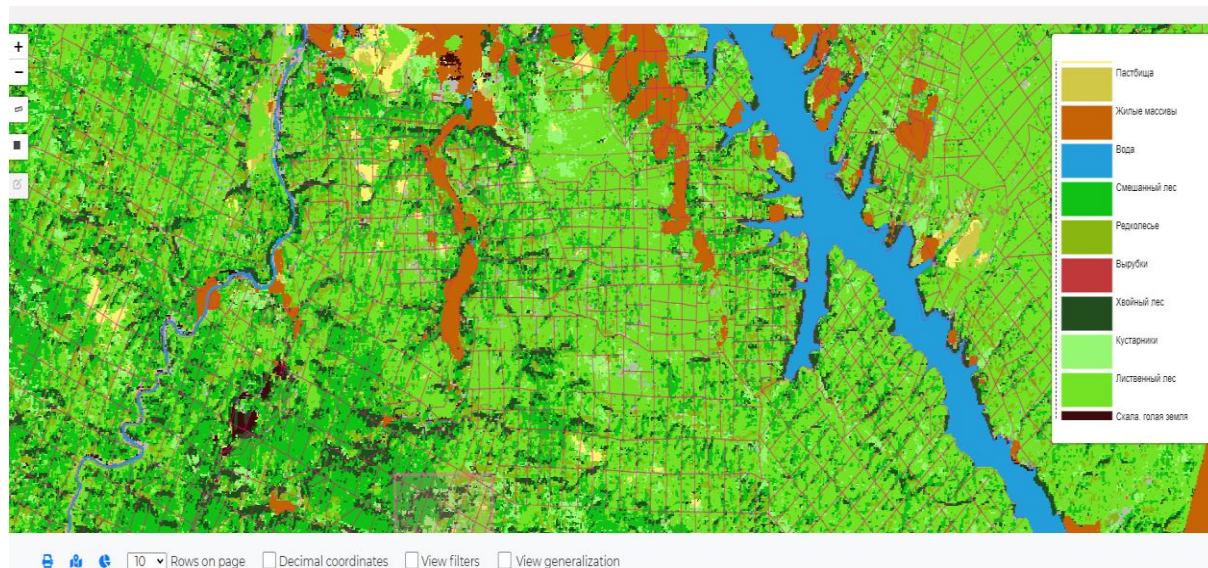


Рис. 1 – Результат классификации космоснимков на территорию части Иркутского и Шелеховского района.

Для БПТ выделены характерных классов объектов: Болота, Голая скала, Пастбище, Вырубки, Переходный лес/ кустарники, Хвойный лес, Редколесье, Лиственный лес, Смешанный лес, Облака, Пашня, Жилая зона, Вода. Размечены 134 космоснимка БПТ, количество полигональных объектов – 2246 шт., площадь более 5900 кв.км. Средняя

точность классификации составила 95%. Разработанный Web-сервис позволяет повысить оперативность мониторинга больших территорий. Технология классификации может применяться для решения актуальных задач крупных природных территорий, в частности, для анализа изменений лесного фонда, оценки влияния изменений климата на ландшафт, анализа динамики застройки, инвентаризации сельхозугодий и т.д.

Разработанные в рамках проекта методы и технологии позволили создать оригинальную распределённую сервисно-ориентированную цифровую платформу хранения, обработки больших объёмов разноформатных научных данных и знаний для поддержки процессов непрерывного мониторинга крупных природных объектов, их междисциплинарных исследований и прогнозирования возможных событий.

1. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Khmel'nov A.E., Popova A.K. Organization of Digital monitoring of the Baikal natural territory // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 DOI: 10.1088/1755-1315/629/1/012067.
2. Bychkov I.V., Fereferov E.S. Digital Technologies for Monitoring and Forecasting the Environmental Situation in Siberia // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2022, Vol. 92, No. 2, pp. 133–140
3. Бычков И.В., Гладкочуб Д.П., Ружников Г.М. и др. Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории. 2022. Новосибирск: СО РАН, 2022. 345 с.
4. WPS - Standardized web-based geo-processing [Электронный ресурс] URL: <https://52north.org/software/software-projects/wps/>
5. ZOO-Project – Open WPS platform [Электронный ресурс] URL: <http://www.zoo-project.org/> (дата обращения: 27.10.2023)
6. ЦКП ИИВС ИРНОК – URL: <http://net.icc.ru/> (дата обращения 20.11.2023)
7. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Popova A.K., Avramenko Y.V. Classification of Sentinel-2 satellite images of the Baikal Natural Territory // Computer Optics. 2022. Vol. 46, №1. pp. 90-96.

МЕТОД СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИИ СЕРВИСОВ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ*

Р.К. Фёдоров

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
fedorov@icc.ru

В современном мире активно растет количество сервисов, реализующих предоставление, обработку и публикацию данных. Объединение этих сервисов, т. е. создание композиции сервисов [1], позволяет решать большое количество задач. В то же время создание композиций сервисов является нетривиальной задачей. Большое количество сервисов, с одной стороны, увеличивает возможности исследователей, а с другой стороны, значительно усложняет поиск нужных сервисов для решения конкретной задачи. Предлагается метод создания композиций сервисов, основанный на анализе метаданных, онтологий, экспертных знаний и статистики применения сервисов.

Приведем формальное описание метода создания композиций сервисов. Работа метода основывается на новой вычислительной модели композиции сервисов, определяемая структурой

$CM = \langle Z, S, A, T, CR, F \rangle$ со следующими обозначениями.

Z – множество параметров. В стандарте WPS OGC обработки пространственных данных параметры связаны с определенными типами данных.

S – множество сервисов. В работе рассматриваются только сервисы без хранения состояния (stateless), т.е. результат выполнения сервисов не должен зависеть от предыдущих вызовов. Этого достаточно для решения широкого круга задач. Сервис $s \in S$ – это упорядоченная тройка $s = \langle name, Z^{Inp}, Z^{Out} \rangle$, где $name$ – это имя сервиса, $Z^{Inp} \in Z$ – множество входных параметров, $Z^{Out} \in Z$ – множество выходных параметров сервиса. Среди выходных параметров сервиса имеется параметр успешности выполнения сервиса. Далее будем обозначать $s.Z^{Inp}$ и $s.Z^{Out}$ параметры, принадлежащие определенному сервису. Сервисы разделяются на сервисы получения данных $S^d \subset S$, вычислительные сервисы $S^c \subset S$ и сервисы публикации данных $S^p \subset S$.

A – множество пользователей, которые взаимодействуют с СОИАС через применение сервисов S . Набор применяемых ими сервисов может варьироваться.

T – множество заданий выполнения сервисов из S . Каждое задание $t \in T$ определяется упорядоченной четверкой $t = \langle a, s, V_I, V_O \rangle$, т.е. вызов сервиса $s \in S$ пользователем $a \in A$ с множеством значений V_I входных параметров $s.I$ и результаты V_O выходных параметров $s.O$.

CR – множество вычислительных узлов, на которых выполняются сервисы. Каждый сервис может быть активирован на заранее определенных узлах. Автоматическое выделение новых узлов для сервисов в работе не рассматривается.

F – множество функций ранжирования сервисов.

Отметим, что композиция сервисов является также сервисом с заданным именем, входными и выходными параметрами. Общеизвестным стандартом определения композиций является использование направленного ациклического графа (Directed Acyclic Graph) $s_i = DAG_i = \langle T_i, E_i \rangle$, $s_i \in S$, в котором вершинами являются задания $t \in T_i$, а ребра $e = \langle v_k, v_l \rangle$, $e \in E_i$, показывают передачу данных от одного выходного параметра

* Результаты получены в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту "Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объемов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения" (номер гос. регистрации 121030500071-2).

задания к входному параметру другого задания, где $v_k \in V_I^i$, $v_l \in V_O^j$, $t_i = \langle a_i, s_i, V_I^i, V_O^i \rangle$, $t_j = \langle a_j, s_j, V_I^j, V_O^j \rangle$. Поскольку возможна передача данных одновременно по нескольким параметрам, то ребер между двумя вершинами (заданиями) также может быть несколько. В литературе чаще всего передача данных между заданиями обычно обозначается одним ребром. Для создания готовой к выполнению композиции необходимо определить все передаваемые данные между параметрами.

Определим типы данных, используемые для обработки пространственных данных. Частично примем обозначения, принятые в реляционной алгебре.

$D = \{D_1, \dots, D_l\}$ – множество скалярных типов, определенных в стандарте WPS.

$R = \{R_1, \dots, R_m\}$ – множество схем отношений.

$d = \{d_1, \dots, d_k\}$ – множество таблиц (отношений). В качестве параметров могут использоваться реляционные таблицы $d_i \in Z$.

Введем множество типов параметров $TZ = D \cup R$. Для каждого параметра определен тип $tz_j = type(z_j)$, $tz_j \in TZ$.

Для создания композиций сервисов требуется информация о возможности передачи данных выходного параметра сервиса для использования в входном параметре другого сервиса. Однако соответствие типов параметров не является достаточным, например тип «число» может иметь смысл – высота над уровнем моря, а в другом случае – температура. Поэтому соответствие типов является необходимым условием, но не достаточным. Получение информации о возможности передачи данных между параметрами может производиться на основе анализа метаданных, онтологий, экспертных знаний и статистики применения сервисов и т.д. Поэтому вводим понятие метки, которое позволяет абстрагироваться от способа получения информации о возможной передаче данных между параметрами. Метка используется для идентификации возможности передачи данных, т. е. если выходной параметр и входной параметр имеют одну и ту же метку, то между ними возможна передача данных. Каждому параметру может соответствовать ноль и более меток. Метками могут являться онтологические концепты, заданные с помощью URI, или некоторые сгенерированные уникальные значения.

$m \in M$ – множество меток. Для каждого параметра z_j определено подмножество меток M_j . Проверка возможности передачи данных между сервисами в рамках модели выполняется на основе соответствия типов параметров и меток. Для двух сервисов s^i и s^j возможна передача данных от параметра $z^i \in s^i.Z^{out}$ к параметру $z^j \in s^j.Z^{inp}$, если типы параметров совпадают $type(z_i) = type(z_j)$ и существует метка $m \in M$, которая имеется у обоих параметров $m \in M_i$ и $m \in M_j$.

Выполнение этого условия не гарантирует корректное выполнение сервиса s^j . Оно позволяет значительно сузить количество возможных композиций сервисов.

Основные этапы метода представлены последовательностью 4 этапов (рисунок 1).

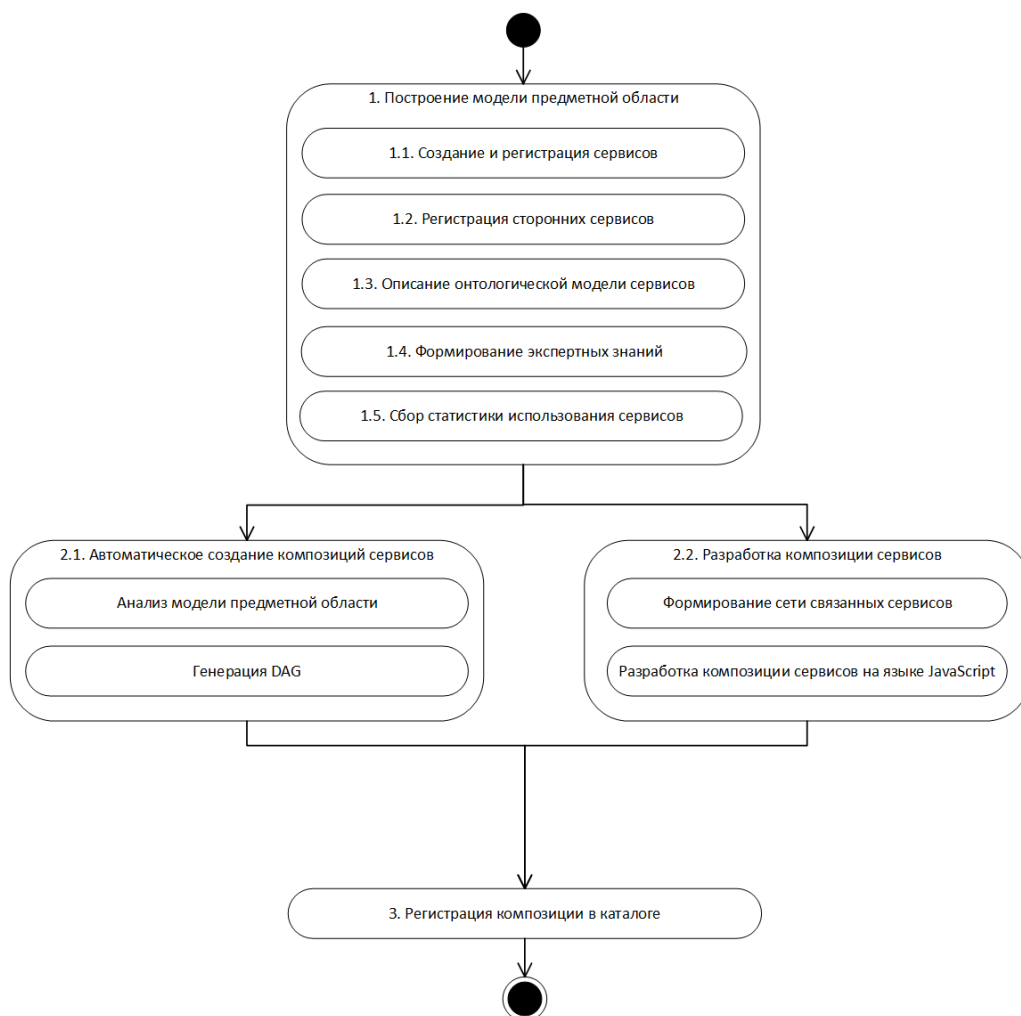


Рис. 1. Схема метода создания композиций сервисов

1. Построение модели предметной области состоит из 5 шагов, выполняемых независимо друг от друга.

1.1. Создание и регистрация сервисов – предполагается разработка вычислительных сервисов, сервисов данных и сервисов публикации данных. Вычислительные сервисы разрабатываются в соответствии со стандартом WPS на вычислительных ресурсах среды или на любых других серверах, до которых имеется сетевой доступ. Для создания сервисов данных используется компонент «Фабрика сервисов ввода и редактирования реляционных данных», который поддерживает все основные этапы работы с табличными данными. «Фабрика сервисов отображения графиков» и «Фабрика сервисов отображения пространственных данных» предназначены для создания сервисов публикации данных. Все создаваемые сервисы регистрируются в каталоге, обладают программным интерфейсом и готовы стать частью композиции сервисов.

1.2. Регистрация сторонних сервисов – осуществляется подключение WPS сервисов, созданных на сторонних вычислительных ресурсах. В каталоге сервисов указывается необходимая для запуска сервиса информация и метаданные.

1.3. Описание онтологической модели сервисов – предназначено для определения возможности передачи данных между параметрами сервисов на основе онтологий. Рамках описания онтологической модели сервисов предполагается определение концептов для параметров сервисов. Каждому параметру может соответствовать ноль и более меток. Метками могут являться онтологические концепты, заданные с помощью

URI. Использование одного и того же концепта для выходного параметра сервиса и для входного параметра другого сервиса предполагает возможность передачи данных между ними и присвоение одной метки для них. Одним из основных отношений, который применяется для формирования меток является отношение частное – общее. В онтологии для задания этого отношения между концептами используется элемент `subClassOf`. Например, сервис имеет параметр входной параметр z_j с заданным некоторым концептом k , то в качестве входных данных могут использоваться данные сервисов, которые имеют концепты, являющиеся частными по отношению к k .

1.4. Формирование экспертных знаний – используется для определения возможности передачи данных пользователем. Разработка онтологий достаточно сложный процесс. Часто с помощью онтологий не все сущности и отношения предметной области формализованы. Поэтому в качестве меток параметров сервисов могут использоваться некоторые сгенерированные уникальные значения, назначаемые пользователем для конкретных сервисов. Например, сервис построения карты плотности может применяться для всех точечных данных. Соответственно выходным параметрам, которые предоставляют векторный точечный слой, можно назначить ту же самую метку, что и у входного параметра сервиса построения карты плотности.

1.5. Сбор статистики выполнения сервисов – производится сбор информации о произведенных вызовах сервисов, которые включают название сервиса и его адрес, значения входных и выходных параметров, время выполнения сервисов, успешность выполнения, ошибки выполнения и т.д. Производится анализ статистических данных, определение передачи данных между параметрами сервисов и присвоение меток.

После построения модели предметной области применяются два альтернативных способа создания композиций:

2.1. Автоматическое создание композиций сервисов – данный способ позволяет создать композицию сервисов на основе анализа графа связности заданий. Результаты анализа сохраняются в виде $s_i = DAG_i$.

2.2. Разработка композиций сервисов – пользователь разрабатывает композиции сервисов с помощью языка JavaScript. Этот способ требуется при необходимости обработки промежуточных данных с помощью средств языка, или при заранее неизвестной структуре композиции DAG_i , которая формируется в зависимости от данных.

3. Последним этапом является сохранение полученных композиций сервисов в каталоге для последующего применения пользователями.

Разработанный метод создания композиций сервисов применен для решения различных практических задач.

1. Edmond D., ter Hofstede A. Service composition for electronic commerce //Proceedings of the Pacific Asia Conference on Information Systems(PACIS-2000), Hong Kong, China, June 1-3, 2000, pages 20.

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ:
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ*

И.А. Финогенко

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
fin@icc.ru

Исследуется функционально-дифференциальное уравнение

$$\dot{x} = f(t, x_t(\cdot)), \quad (1)$$

где $f : R^1 \times C_\tau \rightarrow R^n$, $C_\tau = C([- \tau, 0], R^n)$ - пространство непрерывных функций, определенных на отрезке $[- \tau, 0]$ со значениями в R^n с обычной \sup -нормой, $x_t(\cdot) \in C_\tau$. Функция $f(t, x_t(\cdot))$ предполагается кусочно непрерывной, т.е. все пространство C_τ состоит из конечного числа областей, в каждой из которых $f(t, x_t(\cdot))$ непрерывна, и множества $D \subset C_\tau$, состоящего из точек границ этих областей.

Асимптотическое поведение решений уравнения (1) изучается основе метода предельных уравнений. Внимание акцентируется на возникающих проблемах, как в теории разрывных систем, так и в методе предельных дифференциальных уравнений с использованием в рамках прямого метода Ляпунова функционалов Ляпунова-Красовского со знакоопределенными производными. Результаты исследований представлены в форме аналогов принципа инвариантности Ла-Салля.

Впервые функции Ляпунова со знакопостоянной производной применялись в работах А.М. Ляпунова, Е.А. Барбашина, Н.Н. Красовского при исследовании асимптотической устойчивости положения равновесия автономных дифференциальных уравнений $\dot{x} = f(x)$. Впоследствии основные свойства решений, которые вытекают лишь из знакопостоянства производной функции Ляпунова, были аккумулированы в теореме Ла-Салля [1], известной в настоящее время, как принцип инвариантности. Суть теоремы заключается в том, что правые предельные множества решений содержатся во множестве нулей производной функции Ляпунова. На основе этого факта развиты эффективные методы исследования асимптотической устойчивости, притяжения и стабилизации различных систем. Охарактеризуем проблемы исследований, возникающие для неавтономных (1) с разрывной функцией $f(t, x_t(\cdot))$.

Для теории разрывных дифференциальных уравнений выделяется проблема описания множества D точек разрыва функции $f(t, x_t(\cdot))$. Для систем без запаздывания это множество имеет нулевую меру Лебега, в частности, состоит из конечного числа гиперповерхностей [2]. Для разрывных систем с запаздыванием структура множества точек разрыва правых частей уравнений может оказаться гораздо более сложной. Мы полагаем, что общим свойством, которым оно должно обладать является граничность, т.е. дополнение к нему должно быть всюду плотным в пространстве функций (эквивалентно --- иметь пустую внутренность). Только в этом случае становится возможным применить к разрывным системам с последствием методы, аналогичные методам А.Ф. Филиппова из [2]. Попутно отметим, что множества в конечномерном пространстве с нулевой мерой Лебега являются граничными, т.к. имеют пустую внутренность.

2. Принцип инвариантности Ла-Салля опирается на свойства типа инвариантности ω -предельных множеств для автономных уравнений [1]. Неавтономные системы такими

* Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России (проект № 1210401300060-4)

свойствами не обладают. В рамках метода предельных уравнений свойства типа инвариантности ω -предельных множеств для уравнений $\dot{x} = f(t, x)$ устанавливаются в терминах предельных дифференциальных уравнений на основе теорем о предкомпактности или теорем о сходимости последовательностей сдвигов $f(t + t_k, x)$ (трансляций) правых частей исходных уравнений. Но для многозначных отображений, возникающих в теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, таких теорем нет. Тогда возникает принципиальный вопрос о формах предельных дифференциальных соотношений, в частности – для неавтономных дифференциальных включений, которые позволят получать свойства типа инвариантности и доказывать аналоги принципа инвариантности. Такие предельные соотношения получены в форме предельных дифференциальных включений. Это новый подход, который согласуется с методом предельных дифференциальных уравнений и обобщает его на более широкие классы неавтономных систем.

3. Прямой метод Ляпунова для вычисления производных функций Ляпунова вдоль решений не требует знания самих решений. Но использование функционалов Ляпунова-Красовского для систем с запаздыванием предполагает (по крайней мере в рамках формальных теорий) знание самих решений. В общем случае это невозможно. Это также делает принципиально невозможным описание множества нулей производной функционала Ляпунова-Красовского для нелинейных функционально-дифференциальных уравнений даже в автономном случае. Для решения этой проблемы мы используем аппарат инвариантно дифференцируемых функционалов, развитый в книге [3].

В докладе детально излагаются способы преодоления упомянутых выше проблем и формулируется аналог принципа инвариантности с конструктивно записанным множеством нулей производной функционала Ляпунова-Красовского. Приводится содержательный пример. Частично результаты опубликованы в статье [4].

1. Руш Н., Абетс П., Лалуа М. Прямой метод Ляпунова в теории устойчивости. М.: Мир, 1980. 300 с.
2. Филиппов А.Ф. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью. М.: Наука, 1985. 224 с.
3. Ким-А.В. i -гладкий анализ и функционально-дифференциальные уравнения. Екатеринбург: Изд-во ИММ УрО РАН, 1996. 233 с.
4. Finogenko I.A. Method of limiting differential inclusions for nonautonomous discontinuous systems with delay // Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN. 2018. Vol. 24, №1. Pp. 236-246.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОТИВОВ В ОРНАМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Ф.В. Хандаров¹, П.С. Сороковиков²

¹ООО «Байкалмедсистемс»

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

fedor.khandarov@gmail.com, pavel@sorokovikov.ru

Одним из наиболее перспективных подходов к распознаванию мотивов в орнаментальных композициях представляется применение методов детектирования ключевых точек на изображениях. Поиск ключевых точек является одной из базовых задач компьютерного зрения и обработки изображений. В работе производится сравнительный анализ и подбор оптимальных значений параметров различных алгоритмов поиска ключевых точек при решении прикладной задачи распознавания геометрических мотивов в орнаментальных композициях. Рассматриваются следующие алгоритмы:

1. Алгоритм адаптивного и универсального обнаружения углов на основе ускоренного теста сегментов (Adaptive and Generic Corner Detection Based on the Accelerated Segment Test, AGAST) [1].
2. Алгоритм поиска двоичных робастных инвариантных масштабируемых ключевых точек (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints, BRISK) [2].
3. Алгоритм детектирования особых точек с учетом особенностей ускоренного теста сегментов (Features from Accelerated Segment Test, FAST) [3].
4. Комбинированный алгоритм ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) [4] на основе детектора FAST (см. п. 3) и дескриптора BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [5].
5. Алгоритм «ветра» (с японского: KAZE) [6].
6. Ускоренная модификация алгоритма KAZE (Accelerated KAZE, AKAZE) [7].
7. Алгоритм «отслеживания особенностей» (Good Features to Track, GFTT) [8].
8. Алгоритм поиска максимально устойчивых экстремальных областей (Maximally Stable Extremal Regions, MSER) [9].

Оценка качества работы отдельного алгоритма на каждой орнаментальной композиции вычисляется как отношение количества правильно распознанных мотивов к общему количеству мотивов в композиции. На рис. 1 в виде коробчатых диаграмм приводятся результаты запуска алгоритмов на двух одинаковых выборках изображений. На первой выборке параметры алгоритмов не были настроены оптимальным образом. На второй выборке организация ранжирования алгоритмов производилась на оптимальных наборах их параметров: для каждого алгоритма были выделены настраиваемые параметры и произведен подбор их оптимальных значений.

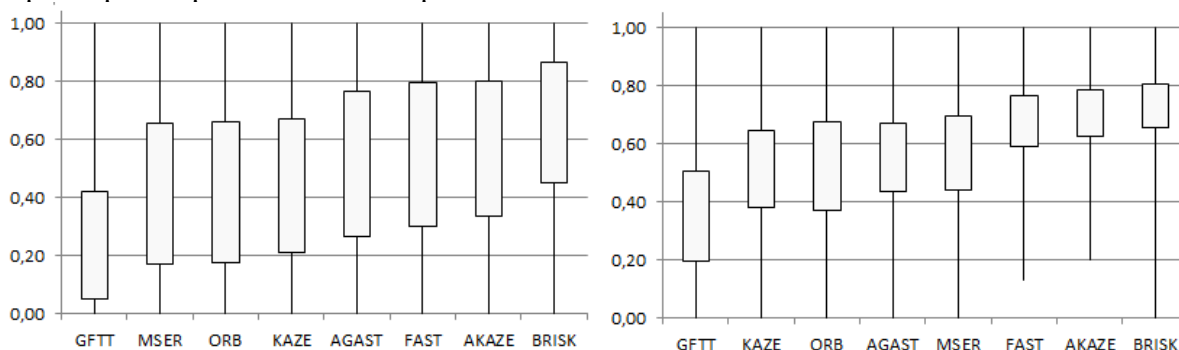


Рис. 1. Ранжирование алгоритмов без подбора (слева) и с подбором (справа) оптимальных значений параметров

Таким образом, произведено ранжирование алгоритмов с подбором оптимальных параметров и без такового. При подборе оптимальных параметров результаты улучшились в среднем, а также уменьшилась дисперсия среднего числа распознанных мотивов (рис. 2). Вместе с тем, в обоих случаях три лучших результата показали одни и те же алгоритмы (BRISK, AKAZE, FAST), причем в одной и той же последовательности.

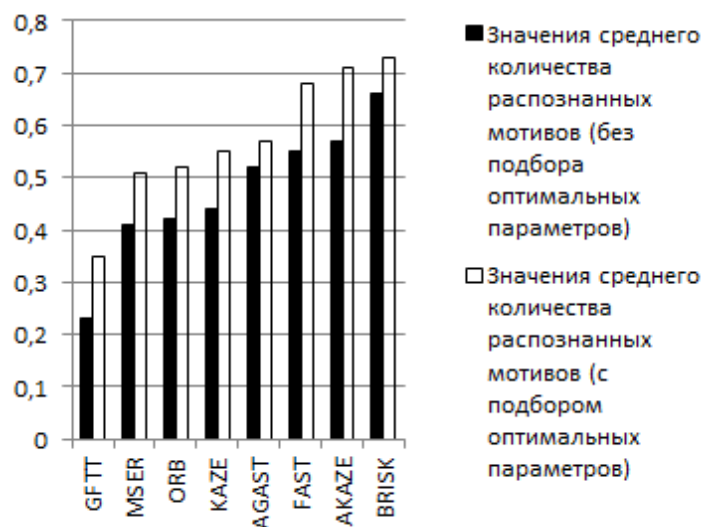


Рис. 2. Диаграмма сравнения результатов работы алгоритмов

Полученные результаты могут быть использованы для автоматизации составления описаний орнаментальных композиций и предварительного выделения в них известных мотивов. Автоматизированное вычленение мотивов в композициях позволит значительно сэкономить время и упростить заполнение разрабатываемой базы данных орнаментов [10].

1. Meir E. et al. Adaptive and generic corner detection based on the accelerated segment test // European Conference on Computer Vision. 2010. P. 183–196.
2. Leutenegger S., Chli M., Siegwart R.Y. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints // 2011 IEEE International Conference on Computer Vision. 2011. P. 2548–2555.
3. Rosten E., Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection // European Conference on Computer Vision. 2006. P. 430–443.
4. Rublee E. et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF // 2011 IEEE International Conference on Computer Vision. 2011. P. 2564–2571.
5. Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features // European Conference on Computer Vision. 2010. P. 778–792.
6. Alcantarilla P.F., Bartoli A., Davison A.J. KAZE features // European Conference on Computer Vision. 2012. P. 214–227.
7. Alcantarilla P.F., Solutions T.V. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces // IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 2011. Vol. 34, No. 7. P. 1281–1298.
8. Shi J., Tomasi C. Good features to track // 1994 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1994. P. 593–600.
9. Forssen P.E. Maximally stable colour regions for recognition and matching // 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2007. P. 1–8.
10. Кочева Т.В., Шолохов Е.С., Бальжанова Ю.В., Урмакшинова Е.Р., Занданова Г.И., Хандаров Ф.В., Хабитуев Б.В., Сороковиков П.С., Никонов А.А. Система онлайн-формирования орнаментальных композиций в монголо-бурятском стиле. URL: <http://monornament.bsu.ru>.

РЕАЛИЗАЦИЯ WPS-СЕРВИСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ РАСТРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЁМА

А.Е. Хмельнов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
hmelnov@icc.ru

В ходе выполнения проекта "*Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Сибири*" (далее, Проект) на его геопортале была собрана коллекция разнообразных цифровых ресурсов о состоянии исследуемой территории. К цифровым ресурсам относятся данные и сервисы обработки и получения информации. Для взаимодействия с сервисами на геопортале используется стандарт OGC WPS (Web Processing Service).

Важным видом пространственной информации являются растровые данные. В этой форме распространяются, например, цифровые модели рельефа/местности (ЦМР/ЦММ) и данные ДЗЗ (космические снимки). Для работы с растровыми данными большого объёма автором ранее разработан формат MRG (Multi-Resolution Grid), позволяющий обеспечить быстрый доступ к любому фрагменту растра с любым желаемым разрешением, при этом ещё и сократив занимаемое этими данными место на диске по сравнению, с тем форматом, в котором они распространяются (чаще всего это - формат GeoTIFF).

Благодаря участию в Проекте в ИДСТУ СО РАН было приобретено хранилище данных объёмом более 300 ТБ, что позволяет собирать и использовать большие массивы данных. В первую очередь, эти возможности используются для хранения каталога космоснимков Байкальской природной территории. При этом наличие хранилища позволило собрать на геопортале коллекцию различных глобальных ЦМР и ЦММ в формате MRG. Для создания таких файлов были доработаны алгоритмы загрузки данных в формат MRG, реализован вариант этих алгоритмов с параллельным сжатием данных, что позволило создавать файлы объёмом несколько десятков гигабайт за приемлемое время (единицы часов).

Для удобства разработки сценариев пакетной обработки данных с использованием формата MRG была реализована консольная программа MRGCmd, в параметрах которой можно задавать команды обработки растров и их аргументы. Эта возможность упрощает, например, повторную генерацию файла в случае обнаружения ошибок загрузки данных, алгоритмических ошибок, или с изменёнными параметрами.

Ранее в формате MRG была представлена ЦММ SRTM с разрешением 3" на пиксель. Данные на весь мир в этом формате занимают около 8 ГБ. Теперь, например, был создан файл MRG со всеми данными SRTM с разрешением 1" на пиксель, который занимает 56ГБ (сжатые исходные данные занимают 97ГБ).

Непосредственно использовать такие большие растры не получится в любой ГИС, поэтому доступ к этим данным был реализован в виде сервиса. Для реализации WPS-сервиса получения фрагментов растров большого объёма из файлов MRG был доработан код ранее разработанного WMS-сервиса (Web Map Service), предназначенного для публикации этих данных. Такая реализация имеет дополнительные преимущества: перед получением интересующего фрагмента его изображение можно просмотреть в любой ГИС, поддерживающей отображение WMS-слоёв.

Стандарт WPS накладывает определённые ограничения на способы взаимодействия с сервисом, которые не всегда позволяют сделать это взаимодействие максимально удобным: сервис реализует ряд *процессов*, процесс имеет ряд *входных и выходных данных*, входные данные могут передаваться по значению (*литералы*), а также в виде фрагмента XML-зпроса или URL (для *сложных данных*). Информацию о списке процессов сервиса можно получить запросом GetCapabilities, который возвращает

XML документ. Запрос `DescribeProcess` позволяет получить информацию о входных и выходных данных процесса. А собственно исполнение процесса происходит после запроса `Execute`. Для реализации WPS сервисов часто используют готовые библиотеки, например, `52°North WPS` для Python, но, на самом деле, для небольшого сервиса может быть проще реализовать с нуля обработку нескольких необходимых для работы WPS запросов.

В текущей версии сервиса получения фрагментов растра реализован один процесс - `Export` с параметрами: `name` – имя зарегистрированного растра; `bboxin` — ограничивающий прямоугольник экспортируемой области; `level` — уровень детализации растра (0 — самый детальный, далее при увеличении уровня на 1 разрешение снижается вдвое), который возвращает GeoTIFF с содержимым указанного фрагмента выбранного растра с заданным уровнем детализации.

Для передачи списка имён зарегистрированных растров используется возможность задать список допустимых значений в описании входного литерала из `DescribeProcess`. При этом WPS клиент, который умеет использовать эту информацию, создаёт выпадающий список для поля выбора имени растра. Этот способ оказывается не очень удобным, когда растров становится много: если протокол WMS позволяет организовать слои в дерево, то здесь приходится ограничиться линейным списком. Также не получается в описании процесса задать информацию о допустимых значениях ограничивающего прямоугольника (`bboxin`) и уровней детализации (`level`), поскольку эти ограничения зависят от конкретного слоя. М.б. стоит в дальнейшем реализовать дополнительные процессы для получения метаданных о слоях, но при этом стандарт WPS всё-равно не позволит автоматизировать проверку этих ограничений.

Для того, чтобы получить растр с минимальной детализацией и, заодно, узнать, какую область он покрывает, можно задать `level=-1` (здесь используются отрицательные индексы в стиле массивов Python) и `bboxin` по умолчанию, которому соответствует максимальный ограничивающий прямоугольник (-180° -90°; 180° 90°). При этом будет получен небольшой растр, по разрешению и ограничивающему прямоугольнику которого можно будет определить свойства выбранного файла MRG.

Способ передачи результирующего фрагмента растра зависит от его размера, ограничения на размер могут задаваться в файле конфигурации сервиса. Сейчас выбраны следующие пороговые значения: растры с размером до 4Mpx непосредственно возвращаются, как результат запроса `Execute`, если же число пикселей превышает этот порог, то файл сначала сохраняется в специальную папку, доступ к которой имеет Web-сервер геопортала, а запрос `Execute` возвращает XML документ со ссылкой на соответствующий этому файлу URL. Поскольку возможности формата MRG по хранению растровых данных большого объёма существенно превосходят возможности GeoTIFF, не имеет смысла пытаться получить всю информацию растра на уровне 0 одним запросом: даже если этот файл будет создан, с ним будет невозможно работать. Поэтому существует ещё один порог: максимально допустимый размер растра. Текущее значение этого порога — 1024Mpx.

Для тестирования WPS сервисов в QGIS удалось найти лишь один плагин — `WPS Client`, и тот относится к разряду экспериментальных. Тем не менее, возможностей этого плагина оказалось достаточно для отладки рассматриваемого сервиса. В частности, он использует список допустимых значений параметра `name` для создания выпадающего списка имён слоёв, а также автоматически подставляет ограничивающий прямоугольник отображаемого фрагмента карты в качестве значения параметра `bboxin` (Рис. 1). Заметим, что для выбора территории здесь были использованы слои, полученные с WMS сервера того же сервиса.

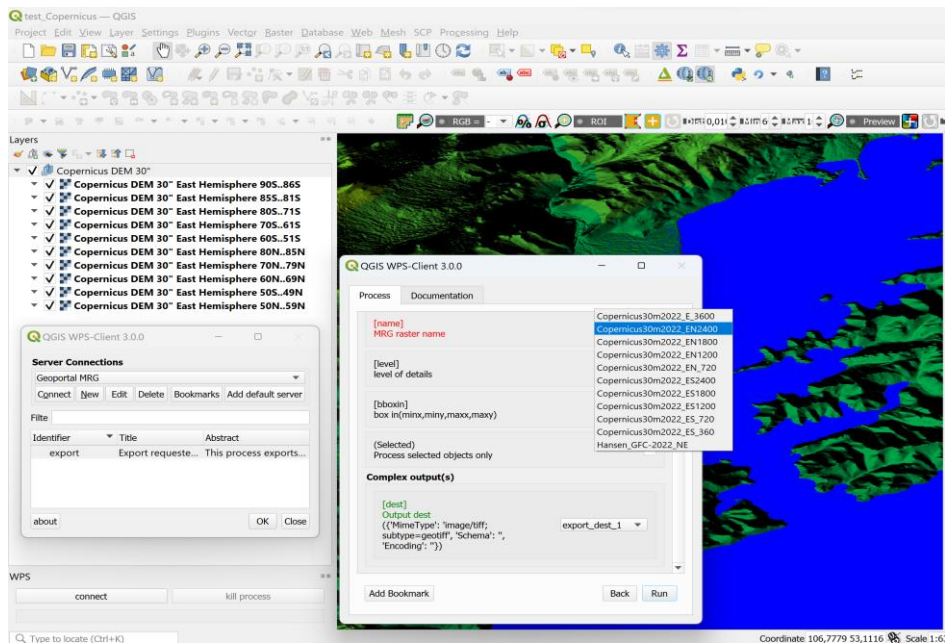


Рис. 1. Запрос данных на отображаемую в окне QGIS территорию в плагине
 После выполнения запроса в QGIS создаётся временный растровый слой, который может быть далее использован для решения различных задач обработки и анализа полученных данных. Например, различные модели рельефа можно сравнить между собой или, как это показано на Рисунке 1, можно построить 3D-модель рассматриваемой территории.

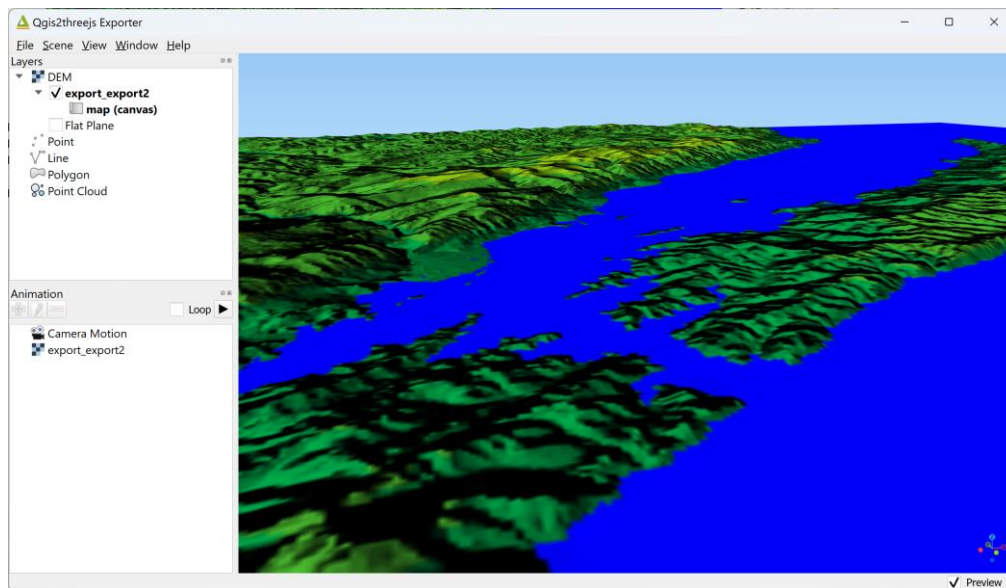


Рис. 2. Создание 3D модели с использованием полученных данных в плагине
 Qgis2threejs

При этом использование в QGIS не является основным назначением разработанного WPS сервиса: геопортал позволяет формировать композиции сервисов, в составе которых теперь могут быть использованы собираемые в формате MRG данные.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОСЕТЕЙ*

М.А. Чекан

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
chekoopa@mail.ru

Микросеть представляет собой современный энергетический комплекс, включающий различные средства распределённой генерации и накопления энергии, а также, как правило, характеризующийся относительно небольшими локальными нагрузками. Управление электропотреблением в нём имеет ряд преимуществ, таких как снижение потерь мощности и упрощение процесса управления. В связи с этим возрастает необходимость изучения различных аспектов организации и эксплуатации микросетей с точки зрения оптимизации управления их функционированием.

В докладе обсуждается интеллектуализация обработки и анализа данных при исследовании микросетей как экологически чистых и ресурсосберегающих систем. В качестве основного энергетического ресурса выступает электроэнергия. Особое внимание уделяется работе микросетей в условиях внешних возмущений.

Моделирование взаимодействия микросетей реализуется мультиагентной системой (МАС). Система включает агентов, представляющих микросети, источники генерации и потребителей электроэнергии, мониторинга внешней среды и информационно-вычислительных ресурсов, используемых для получения и обработки данных. Основой модели поведения агентов является конечный управляющий автомат. Регулирование спроса и предложения относительно электроэнергии осуществляется в рамках экономического механизма (аукциона, биржи и т. п.).

Прототип МАС реализован с помощью фреймворка JADE. Для определения поведения агентов и экономического механизма разработана программная надстройка к JADE. Данная программная надстройка обеспечивает существенное снижение трудозатрат при создании агентов, а также в процессе подготовки и проведения экспериментов.

Разработанный прототип МАС применён в исследовании живучести модельной коалиции микросетей инфраструктурных объектов [2]. В качестве экономического механизма использована модель аукциона, представленного в [3]. Проведённый эксперимент показал работоспособность рассмотренного прототипа МАС и возможность представления в нём известных моделей экономических механизмов.

1. Чекан М.А. Сравнительный анализ программного обеспечения для автоматизации процесса моделирования микросетей // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 9. С. 33–38.
2. Еделев А.В., Береснева Н.М. Подход к моделированию функционирования взаимосвязанных систем энергетики в условиях возмущений и его программная поддержка // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34, № 3. С. 409–419.
3. Lopez M.A. Martín S., Aguado J.A., De La Torre S. Market-oriented operation in microgrids using multi-agent systems // Proceedings of the International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. IEEE, 2011. P. 1–6.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределённых средах» (рег. № 121032400051-9).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ПРОГРАММНЫЙ КОД И ОБРАТНО

М.Н. Шипицын, Р.К. Фёдоров

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
1markus243@gmail.com, fedorov@icc.ru

Активное развитие технологий обработки естественного языка, а также методов искусственного интеллекта находят все больше применений в области поддержки процессов разработки программного обеспечения. Типовой парой задач, решаемой при помощи данных методов, являются генерация исходного кода согласно словесному описанию и обратная ей: описание функционала по фрагменту кода. Точное преобразование позволяет сократить затраты на разработку и поддержку исходного кода, написание документации, упрощает работу с большими массивами данных как в виде программ, так и текстов.

Большинство современных подходов используют различные архитектуры вида кодировщика-декодировщика (encoder-decoder) с предварительным обучением, для решения подобных задач [1]. Некоторые модели поддерживают работу в обоих направлениях преобразования, или только в одном. Разработанные решения также используют различные виды представлений исходного кода: в виде лексем (токенов) на естественном языке, структур данных (абстрактное синтаксическое дерево, граф потока управления), или комбинаций данных представлений.

На текущий момент, генерация исходного кода решается данными моделями эффективно для небольших объемов кода или текста. Для более сложных программ и описаний количество примеров, на которых обучаются модели, уменьшается. Особенно это проявляется при решении задач новыми, пока еще не распространенными методами. Помимо этого, модель может иметь ограничения по размеру контекста. Поэтому существующие модели не позволяют эффективно генерировать полезный код или текст для сложных задач. Для решения данной проблемы предлагается использование баз знаний или онтологий, как дополнительной информации, используемой при решении задачи генерации. Использование концептов создаст возможность для классификации программного кода и текста по соответствующим предметным областям, тем самым позволяя использовать семантическую близость для повышения точности генерации и преобразования естественного языка [2].

1. Daya Guo et al. UniXcoder: Unified Cross-Modal Pre-training for Code Representation // Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2022. P. 7212-7225
2. Turdakov D. Y. Word sense disambiguation methods // Programming and Computer Software. 2010. 36. No 6. P. 309–326.

СУТОЧНАЯ И ГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГАЗОВОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ Г. ИРКУТСКА И П. ЛИСТВЯНКА

М.Ю. Шиховцев, Л.В. Потемкин, Т.В. Ходжер, В.А. Оболкин, Е.В. Моложникова
Лимнологический институт СО РАН
Max97Irk@yandex.ru

Особенности временной изменчивости концентрации малых газовых и аэрозольных примесей, в атмосфере урбанизированной и сельской территорий является основной темой данного исследования. Экспериментальные данные были собраны в период с января 2020 по октябрь 2023 гг., на станциях Иркутск (городская) и Листвянка (сельская). На станции «Иркутск» приборы размещены в здании Лимнологического института СО РАН (52.248, 104.260) на высоте 12 метров над уровнем земли. Приборы на станции «Листвянка» установлены на вершине прибрежного холма, на удалении 1 км от основной улицы одноименного поселка (51.847, 104.893). Разница по высоте от уреза воды, и соответственно поселка, составляет 200 - 205 метров. Для замеров концентрации диоксида серы (SO_2) и оксидов азота (NO и NO_2) в атмосфере на станциях Иркутск и Листвянка использовались газоанализаторы С-310/СВ-310 и 3-310 фирмы ОПТЭК (г. Санкт-Петербург, Россия). Каждый газоанализатор представляет собой газовый компаратор, в основу работы которого положен хемилюминесцентный метод определения соответствующего газа. Газоанализаторы имеют циклический характер работы. Насосы обеспечивают прокачку газа с заданным по ротаметру расходом во всех циклах работы прибора. В конце каждого измерения на индикатор выводится показание измеренной концентрации газа. Предел допустимых значений основной погрешности в диапазоне 0 - 2000 мкг/м^3 составляет $\pm 25\%$. Для определения концентрации аэрозольных частиц применялись счетчики частиц Handheld 3016 IAQ (фирма Lighthouse, США) и DUSTTRAK 8533 (TSI Incorporated). Точность измерений с помощью Handheld 3016 IAQ для частиц с размером более 0,3 мкм равна 5%. DUSTTRAK 8533 обеспечивает точность измерения равную 20 %. Предел обнаружения для всех приборов составляет 0,001 мг/м^3 .

Результаты и обсуждения

Внутригодовая изменчивость среднемесячных концентраций оксидов азота и серы на обеих станциях показана на рисунке 1. Эти три компонента атмосферы (NO , NO_2 , SO_2) в основном имеют схожий характер внутригодовой изменчивости с повышением в феврале и декабре и депрессией с апреля по август. Несмотря на сходства в характере изменчивости отмечались существенные различия в абсолютных значениях. Среднемесячные концентрации оксидов азота на станции «Иркутск» варьировались в пределах от 4 до 70 мкг/м^3 для NO , и от 4 до 82 мкг/м^3 для NO_2 , при средних 15 и 21 мкг/м^3 , соответственно. В Листвянке концентрации изменялись в пределах от 1 до 5 мкг/м^3 для NO и от 1 до 15 мкг/м^3 для NO_2 (средние – 2 и 5 мкг/м^3). Подобная разница связана с, тем, что основными источниками этих компонентов в атмосферу является автомобильного транспорта, выбросы от которых большей мере распространяются вблизи от источника [1].

Разница между концентрациями диоксида серы менее существенна: концентрации изменяются в пределах от 3 до 44 мкг/м^3 (со средней 13 мкг/м^3) в Иркутске и от 4 до 38 мкг/м^3 , при средней в 18 мкг/м^3 в Листвянке. Интересной особенностью является то, что средняя за период исследования концентрация в городе ниже, чем в удаленном от крупных источников п. Листвянка. Ранее было показано, что среднем, уровень загрязнения, измеренный на постах Росгидромета в г. Иркутск вдвое выше, чем было зафиксировано на станции Лимнологического института [2]. Это связано с расположением станции на приподнятой форме рельефа в одной из «чистых» зон города

[3], и в стороне от наиболее вероятного пути переноса шлейфов от крупных источников. В обоих случаях концентрации диоксида серы меньше среднесуточных значений ПДК (равных 50 мкг/м^3).

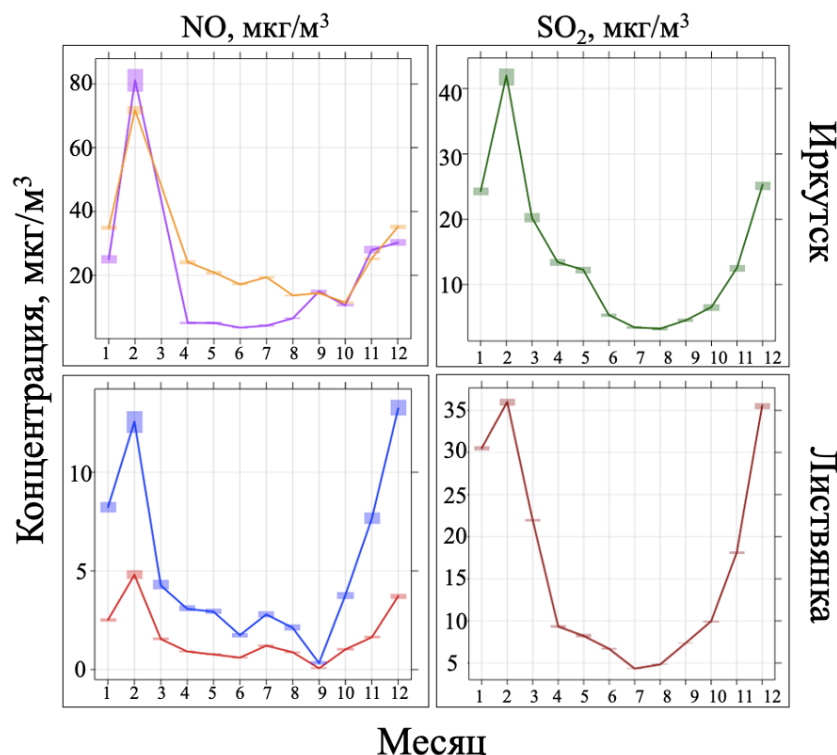


Рис. 1. Изменчивость среднемесячных концентраций оксидов азота и диоксида серы на станциях Иркутск и Листвянка. Затененными областями показаны 95% доверительные интервалы

На рисунке 2 и 3 показаны суточный и недельный ход концентраций оксидов серы и азота. В суточном и недельном ходе так же имеется ряд существенных отличий между точками измерения. В городе отмечены два характерных повышения оксидов азота, регулярно проявляющихся с понедельника по пятницу: утренний, в промежутке с 8 до 10 и вечерний, с 18 до 19 часов, связанный с выездом на улицы города большого количества автотранспорта – источника оксидов азота. На станции Листвянка мы наблюдаем обратную картину – повышение концентраций оксидов азота регистрируются в нерабочие дни. Возрастание концентраций оксидов азота на 20-30% в сравнении с будними днями, вызвано резким увеличением туристического потока, приходящегося на выходные дни. Поскольку в посёлке нет крупных промышленных объектов, и в нём проживает малое количество населения (менее 2 тыс. человек, по состоянию на 2021 г.) то, логично предположить, что основной вклад в загрязнение атмосферы Листвянки оксидами азота вносят туристический транспорт и региональный перенос загрязненных воздушных масс. [4, 5]. Это подтверждается результатами модельных расчетов воздушных течений. Использование мезомасштабной модели Weather Forecast System (WRF) [6, 7] показало, что в летний период станция расположена на периферии мезомасштабной атмосферной вихревой структуры размером 10-20 км, с антициклоническим направлением воздушных потоков в дневное время. Концентрации диоксидов серы и азота в этот момент варьируется в пределах от 3 до 8 мкг/м^3 (при среднем 5 мкг/м^3).

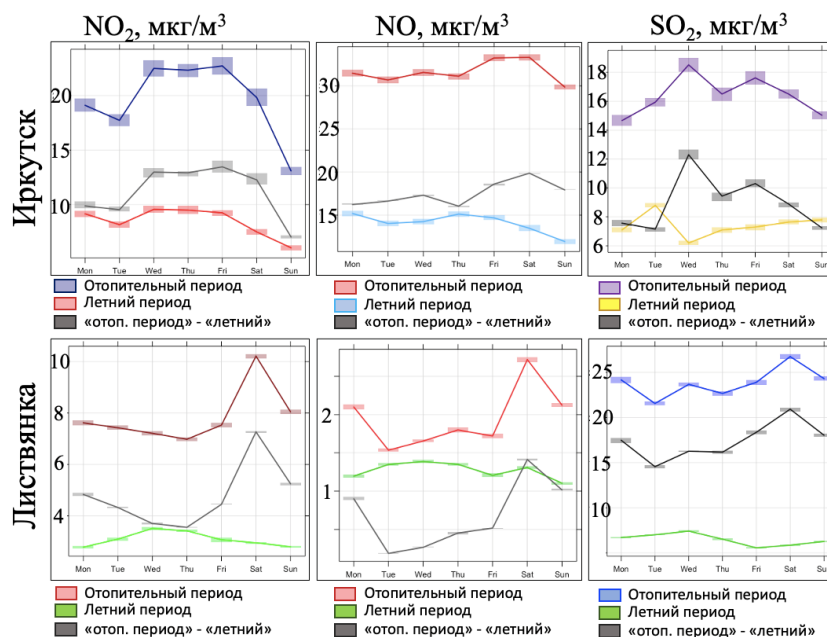


Рис. 2. Изменчивость среднесуточных концентраций оксидов азота и серы в отопительный (октябрь - апрель), неопотительный (май-сентябрь) периоды, и разница между сезонами на станциях Иркутск и Листвянка. Затенение показывает 95% доверительный интервал среднего значения

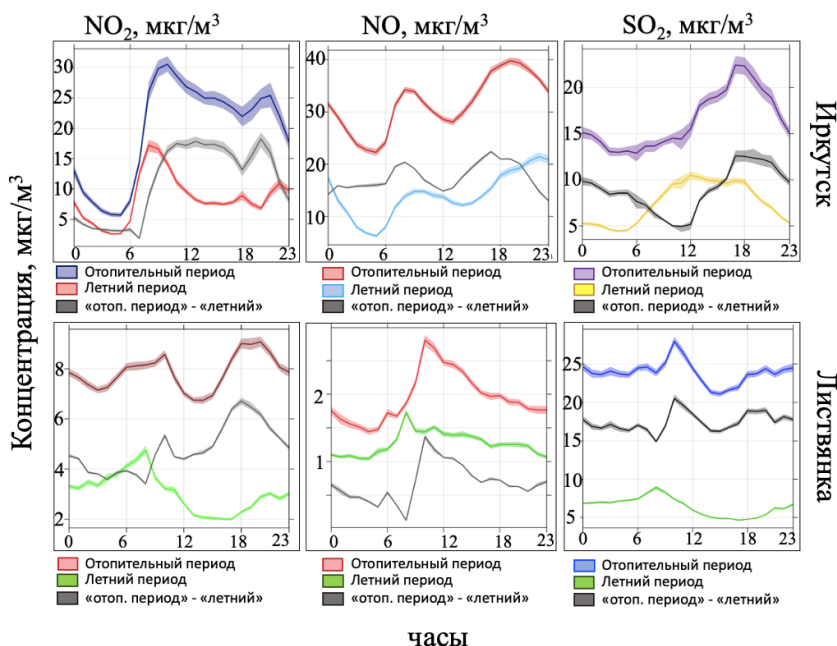


Рис. 3. Изменчивость среднечасовых концентраций оксидов азота и серы в отопительный (октябрь - апрель), неопотительный (май-сентябрь) периоды, и разница между сезонами на станциях Иркутск и Листвянка. Затенение показывает 95% доверительный интервал среднего значения

Заключение

Характер годовой изменчивости окислов азота и серы в атмосфере над г. Иркутск и п. Листвянка схожи между собой, и характеризуются высокой концентрацией газов зимой, и существенно меньшей летом. В суточном ходе окислов азота отмечена четкая зависимость повышения концентраций с увеличением дорожного трафика в часы пик. В утренние часы концентрации диоксида азота, втрое выше, чем в ночные часы. Наибольшие концентрации диоксида серы в атмосфере г. Иркутска в суточном ходе наблюдаются в течении светового дня. Показано, что важными источником загрязнения

атмосферы, в г. Иркутск, помимо сезонно независимых отраслей промышленности и автомобильного транспорта, является зависима от сезонности теплоэнергетика. В п. Листвянка, картина противоположенная. Наибольшие концентрации фиксируются в ночные часы, что связано с увеличением повторяемости переноса окислов от источников, в частности через систему струйных течений низкого уровня, описанных ранее [8,9].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-15-2020-787 «Основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической ситуации Байкальской природной территории».

1. Baldauf R.W., Watkins N., Heist D., Bailey C., Rowley P., Shores R. Near road air quality monitoring: factors affecting network design and interpretation of data // *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2009. Т. 2, С. 1–9.
2. Shikhovtsev M. Y., Obolkin V. A., Khodzher T. V., Molozhnikova Y. V. Spatio-temporal variability of small gas impurities in the surface layer of the atmosphere of the southern Baikal region // *Proc. SPIE*. 2023. Т. 12780, С. 313–321.
3. Molozhnikova Y. V., Shikhovtsev M. Y., Netsvetaeva O. G., Khodzher T. V. Ecological Zoning of the Baikal Basin Based on the Results of Chemical Analysis of the Composition of Atmospheric Precipitation Accumulated in the Snow Cover // *Applied Sciences* 2023ю Т.13(14). С. 8171–8188.
4. Obolkin V., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Netsvetaeva O., Khodzher T. Sulfur and nitrogen oxides in the atmosphere of lake Baikal: Sources, automatic monitoring, and environmental risks // *Atmosphere*. 2021. Т. 12(10). С. 1348–1358.
5. Marinaite I., Penner I., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Khodzher T. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of the southern Baikal region (Russia): Sources and relationship with meteorological conditions // *Atmosphere*. 2022. Т.13(3). С. 420–433.
6. Shikhovtsev A. Y., Kovadlo P. G., Lezhenin A. A., Gradov V. S., Zaiko P. O., Khitrykau M. A., Shikhovtsev M. Y. Simulating Atmospheric Characteristics and Daytime Astronomical Seeing Using Weather Research and Forecasting Model // *Applied Sciences*. 2023. Т.13(10). С. 6354–6370.
7. Shikhovtsev A. Y., Kovadlo P. G., Lezhenin A. A., Korobov O. A., Kiselev A. V., Russkikh I. V., Shikhovtsev M. Y. Influence of Atmospheric Flow Structure on Optical Turbulence Characteristics // *Applied Sciences*. 2023. Т. 13(3). С. 1282-1301.
8. Оболкин В. А., Потемкин В. Л., Макухин В. Л., Чипанина Е. В., Маринайте И.И. Особенности пространственного распределения диоксида серы в Прибайкалье по данным маршрутных измерений и численных экспериментов // *Метеорология и гидрология*. 2014. Т.12. С. 35–41.
9. Obolkin V., Potemkin V., Makukhin V., Chipanina Y., Marinayte I. Low-level atmospheric jets as main mechanism of long-range transport of power plant plumes in the Lake Baikal Region // *International Journal of Environmental Studies*. 2014. Т. 71(3). С. 391–397.

ЗАДАЧА АППРОКСИМАЦИИ МАТРИЧНЫХ ДАННЫХ

Д.Ю. Щербаков¹, А.Ю. Горнов², А.С. Аникин²

¹Лимнологический институт СО РАН

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

dysh007@gmail.com, gornov@icc.ru

У гена в каждой клетке есть две копии. Последовательность гена может иметь несколько вариантов (аллелей). Генотип организма по этому гену – это комбинация двух аллелей. Если аллели одинаковые, то такой организм называется гомозиготой, в ином случае – гетерозиготой. Закон Харди – Вайнберга описывает судьбы частот аллелей одного гена в ряду поколений. В общем виде это

$$a \otimes a = b, \quad (1)$$

$$\sum_{ij} b_{ij} = 1, \quad (2)$$

где a – вектор частот аллелей, то есть $\sum_{i=1}^N a_i = 1$ для гена, имеющего N аллелей. Это соблюдается для достаточно больших популяций организмов, где каждый скрещивается с каждым единственным раз в жизни. Потомок получает одну копию гена от одного родителя, другую – от другого. При бесполом размножении потомок получает оба аллеля от единственного родителя и может от него отличаться только в результате мутации. Естественно, (1) для таких существ не соблюдается, а они называются клоном, пока не произошла мутация. Поэтому для бесполок остается только условие (2):

$$\sum_{ij} p_{ij} = 1, \quad (3)$$

p_{ij} – частота комбинации аллелей i и j . Наша задача состоит в том, чтобы имея матрицу экспериментально определенных частот генотипов p найти такую b отвечающую (1), чтобы $\sum_{ij} (b_{ij} - p_{ij})^2$ была минимальная.

Поставленная проблема аппроксимации данных представляет собой выпуклую задачу минимизации функции на допустимом множестве – при наличии ограничений на неотрицательность искомым переменных. Дополнительным требованием к реализуемому алгоритму являлась его «техническая простота», что могло позволить достичь воспроизводимости экспериментов для всех заинтересованных специалистов. Для решения поставленной задачи реализован градиентный алгоритм оптимизации, являющийся одним из представителей семейства методов зеркального спуска (см., напр., [1]); предложенный вариант имеет устоявшееся название «алгоритм приведенного градиента» (см., напр., [2]). Направление спуска конструируется путем суммирования текущего рекордного вектора с антиградиентом, спроецированным («приведенным») на допустимое множество. Реализованная на языке Python модификация алгоритма также включает упрощенный алгоритм одномерного поиска, включающий релаксационное дробление шага по направлению спуска, опирающееся на очевидное свойство существования в малой окрестности нуля гарантированной возможности улучшения, если оптимальная точка еще не достигнута.

Выполненные вычислительные эксперименты подтвердили принципиальную работоспособность предложенного подхода. Достигнутые решения получили содержательную трактовку.

1. Немировский А.С., Юдин Д.Б. Сложность задач и эффективность методов оптимизации. Москва, Наука, 1979. 383 с.
2. Горнов А.Ю. Вычислительные технологии решения задач оптимального управления. Новосибирск, Наука, 2009. 277 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛОКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ В МОДЕЛИ ДЭВИСА-ЭЛЗИНГИ

Р. Энхбат¹, А.Ю. Горнов², Т.С. Зароднюк²

¹Монгольский национальный университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

enkhbatm@num.edu.mn, gornov@icc.ru

В работе [1] предложена модель принятия финансовых решений в инвестиционной отрасли. Хотя модель считается изрядно упрощенной, ее анализ аналитическими методами сильно затруднен, и даже применение численных методов не может не вызывать некоторых проблем. Это связано, очевидно, с нелинейностью модели, влекущей невыпуклость оптимизируемых функционалов. Кроме того, структура допустимого множества в данной задаче представляет собой симплекс в каждый момент времени, что также не вписывается в традиционные постановки задач для пакетов программ, предполагающих параллелепипедные ограничения. Используя особенности задачи, в работе [2] построен специализированный численный метод и получены решения; однако и здесь вопрос поиска глобального решения остался открытым.

В докладе обсуждается численное исследование задачи оптимального управления в модели Дэвиса–Элзинги, направленное на поиск глобального решения поставленных экстремальных задач. Для получения информации о нелокальном поведении была использована разработанная в [3] вычислительная технология, позволяющая в том числе, исследовать задачи с симплексными ограничениями на управление; полученная аппроксимация множества достижимости (МД) в рассматриваемом варианте задачи для сечений в трех плоскостях приведена на рис. 1–3.

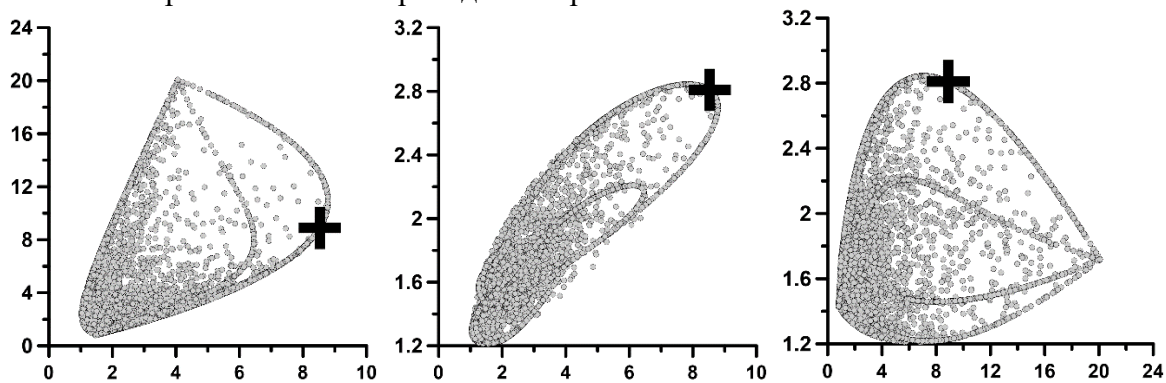


Рис.1. МД $(x_1(t_1), x_2(t_1))$. Рис.2. МД $(x_1(t_1), x_3(t_1))$. Рис.3. МД $(x_2(t_1), x_3(t_1))$.

Терминальный целевой функционал в задаче – линейный. На рисунках хорошо видно, что полученное решение лежит на границах МД. Анализ построенной аппроксимации множества достижимости, таким образом, позволяет утверждать, что найденные численные решения с большой вероятностью являются глобально оптимальными. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Davis B. E., Elzinga D. J. The solution of an optimal control problem in financial modeling // Journal of the Operations Research Society of America, 1971, 19(6). P.1419–1433.
2. Barysbyek B., Tungalag N., Enkhbat R. Application of Conditional Gradient Method to a Corporate Financing Problem // Int. Journal of Pure and Appl. Mathematics, 2016, V. 107, No. 1. P. 179–186.
3. Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Технология численной аппроксимации интегральной воронки для полиэдрально управляемой системы // М. конф. «Ляпуновские чтения». 2019. С. 37–38.

Секция «Юные исследователи»

ВЛИЯНИЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ НА МИКРОКЛИМАТ ПРИБРЕЖНЫХ И ОТДАЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Алексеевко Артем, 10 класс, МБОУ СОШ № 19 г. Иркутска

Руководители: Бубнова Людмила Валентиновна,
учитель географии МБОУ СОШ № 19 г. Иркутска;
Воропай Надежда Николаевна, к.г.н., Институт географии имени Б.Г. Сочавы

В период современных климатических изменений отепляющее воздействие водоемов вносит дополнительный вклад в изменение температур в разные периоды, особенно на прилегающей к ним территории.

Оценка такого влияния в комплексе с анализом городских «островов тепла» является весьма актуальной.

Цель: Изучить влияние озера Байкал на микроклиматические особенности температурного режима прибрежных территорий.

Задачи:

1. Организовать сеть площадок наблюдения за температурой воздуха на прилегающей к озеру Байкал территории.
2. Ознакомиться с современными публикациями по теме исследования.
3. Сформировать таблицы с данными температуры воздуха на площадках наблюдения за период с июня 2019 г. по июль 2022 г.
4. Проанализировать результаты расчетов, выявить закономерности, описать различия температурного режима между прибрежными территориями и удаленными от водоема площадками.
5. Составить карту изучаемой местности.[1]

Данные были получены с помощью приборов Elitech RC-51H - Temperature Humidity data logger.

Периодичность измерений – 1 час.

Для оценки зоны влияния озера Байкал на режим отдельных элементов климата использовались станции, расположенные на некотором расстоянии от водоемов (м. Хадатра, п. Узур, п. Хужир).

Изучено влияние озера Байкал на микроклиматические особенности температурного режима прибрежных территорий. Открытый водоём в холодное время года действительно влияет на температуру воздуха. Мы выяснили, что температура рядом с озером _____, чем на расстоянии от него.

1. Организована сеть площадок наблюдения за температурой воздуха на прилегающей к Иркутскому водохранилищу территории.
2. Сформированы таблицы с данными температуры воздуха, полученными с помощью автоматических термографов на площадках наблюдения за период с июня 2019 г. по июль 2022 г. Проведена математическая обработка данных.
3. Составлена карта изучаемой местности

1. Ландшафтно-интерпретационное картографирование /Т.И. Коновалова, Е.П. Бессолицына, И.Н. Владимиров и др. — Новосибирск.

ПРОЕКТИРОВКА АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

М. А. Галуза
МБОУ г. Иркутска Лицей №3
matveigal@icloud.com

В данной проектной работе будет использоваться OpenWeatherMap API (Интернет-ссылка: “ <https://openweathermap.org/> ”). Данный сервис предоставляет услуги по предоставлению данных о прогнозах погоды, в том числе и платный, но я обойдусь бесплатным тарифом. Зарегистрировавшись, я получил API ключ, токен, с помощью которого смогу обращаться к данным сервиса. В веб-приложении будут использоваться два разных запроса. Разберем их по порядку.

1. <https://api.openweathermap.org//geo/1.0/direct?q={название}&limit=5&appid={API ключ}> локации }

Вместо фигурных скобок мы будем указывать название локации, введенное пользователем и API ключ, который мы получили при регистрации соответственно. Также можно заметить третий параметр запроса, который называется “limit”. Он отвечает за количество локаций, которые будет отправлять сервер в ответ на запрос. Зачем нужен этот запрос и какой ответ получает веб-приложение? Для этого стоит обратиться к вышеупомянутой схеме (приложение 3.1). В первом запросе мы указываем название локации, в ответ получаем координаты локации. Сервер учитывает, что может быть несколько локаций с похожим названием поэтому отправляет координаты на разные локации (количество которых как раз и регулируется параметром “limit”). В моем случае, я просто выбирал координаты на первую локацию из списка. Рассмотрим ответ на запрос по локации “Москва” подробнее (см. рис. 1).

```
▶ 0: Object { name: "Moscow", lat: 55.7504461, lon: 37.6174943, ... }
▶ 1: Object { name: "Moscow", lat: 46.7323875, lon: -117.0001651, ... }
▶ 2: Object { name: "Moscow", lat: 45.071096, lon: -69.891586, ... }
▶ 3: Object { name: "Moscow", lat: 35.0619984, lon: -89.4039612, ... }
▶ 4: Object { name: "Moscow", lat: 39.5437014, lon: -79.0050273, ... }
```

Рис. 1. Ответ API сервера на запрос

Ответ приходит в формате JSON. У нас есть список из 5 городов (т.к. ограничили их количество параметром “limit”). Как сказано выше, будем работать с самым первым пунктом из списка. Эти пункты называются JSON-объектами, рассмотрим один из них (см. рис. 2).

```
▼ 0:
  name: "Moscow"
  ▶ local_names: {}
  lat: 55.7504461
  lon: 37.6174943
  country: "RU"
  state: "Moscow"
```

Рис.2. JSON-объект предоставленный ответом

Он содержит в себе множество параметров, но нас интересуют конкретные два – это “lat” и “lon” (сокращенно от “latitude” – (с англ.) широта, “longitude” – (с англ.) долгота). Значениями этих параметров являются рациональные числа, которые

обозначают широту и долготу локации соответственно. Теперь можно переходить ко второму запросу.

2. `https://api.openweathermap.org//data/2.5/weather?lat={широта}&lon={долгота}&appid={API ключ}&units=metric`

Вместо фигурных скобок мы будем указывать соответственно: широту, долготу, API ключ. Последний параметр запроса под названием “units” – система единиц, пишем значение “metric”, т.к. нас интересует метрическая система. Рассмотрим нужные нам данные из ответа на запрос с полученной широтой и долготой (координатами города Москвы) (см рис. 3) .

```
weather:
  0:
    id: 800
    main: "clear"
    description: "clear sky"
    icon: "01n"
    base: "stations"
  main:
    temp: 13.67
    feels_like: 13.23
    temp_min: 12.06
    temp_max: 14.34
    pressure: 1004
    humidity: 82
    sea_level: 1004
    grnd_level: 988
    visibility: 10000
```

Рис.3. Требуемые данные из ответа на второй запрос

Нас интересуют следующие параметры:

`weather[0].main` – краткое описание погоды в данный момент (напр. “Clouds”)

`weather[0].icon` – название иконки в сервисе OpenWeatherMap. Данный сервис также предоставляет коллекцию иконок, которые будут отображать состояние погоды.
`main.temp` – температура в градусах Цельсия

Может возникнуть главный вопрос почему нельзя получить данные о погоде сразу по названию локации. На самом деле выбранный API сервис не предоставляет такой возможности, поэтому алгоритм поиска координат города, а после прогноза погоды по найденным координатам является самым верным.

Теперь у нас есть алгоритм получения данных, которые мы уже также отсортировали, остается визуализировать их для пользователя.

Создание React-компонента, его отрисовка на основе данных, полученных из запроса.

Внешний вид React-компонента представлен ниже (см. рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид отрисовываемого React-компонента

Через пропс он применяет в себя объект данных, полученных из запроса:

1) Название города.

2) Иконка, визуализирующую погоду в данный момент (параметр `weather[0].icon`). Она располагается по ссылке: “`https://openweathermap.org/img/wn/{значение параметра из ответа}.png`”. В нашем случае значением параметра является строка “01n”, соответственно, иконка располагается по ссылке: “`https://openweathermap.org/img/wn/01n.png`”.

3) Температура в градусах Цельсия (параметр `main.temp`).

4) Краткое описание погоды в локации (параметр `weather[0].main`)

Визуализация работы компонента с данными (см. рис. 5):

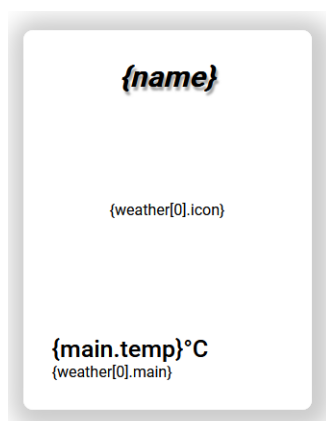


Рис. 5. Визуализация работы компонента с данными

Хранение и работа с данными, которыми пользуется компонент, осуществляется с помощью менеджера состояний под названием “MobX”. В хранилище осуществляются основные алгоритмы работы с данными о прогнозах погоды. Там содержится и изменяется массив данных о погоде в разных локациях. Тем самым, вышеописанный компонент может удобно переиспользоваться, потому что даёт возможность отрисовывать его любое количество раз в любом месте проекта, т.к. данные можно удобно достать из хранилища.

1. Райан Вайс, Адам Хортон. Разработка веб-приложений в ReactJS // ДМК, 2016.
2. React в действии // Тиленс Томас М: Питер, 2019.
3. Дэвид Флэнаган JavaScript. Подробное руководство. 6-е издание // Символ-Плюс, 2012
4. Хабр. Статья: Mobx: библиотека глобальных сторов (state manager) // Пользователь веб-сайта с псевдонимом “karmacan”: сеть Интернет <https://habr.com/ru/articles/747884/>

ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ РАБОЧИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ WPS-СЕРВИСОВ

Я.А. Еделев

МБОУ Средняя общеобразовательная школа № 19

yarvaleev07@bk.ru

В настоящее время решение задач экологического мониторинга природных территорий в рамках геоинформационных систем (ГИС) является актуальным направлением исследований [1]. Зачастую, подобные исследования сопряжены с обработкой больших данных и необходимостью применения высокопроизводительных вычислений [2]. При этом возникают проблемы интеграции ГИС с системами управления параллельными и распределенными вычислениями. В частности, трудоемкой задачей является запуск научных рабочих процессов (НРП) – схем решения задач научных приложений, в распределенной вычислительной среде [3] с использованием стандарта Web Processing Service (WPS) [4]. В докладе представлено инструментальное средство (ИС) автоматизации формирования, публикации и применения WPS-сервисов, предназначенных для запуска НРП в распределенной вычислительной среде. Данное ИС разработано с целью обеспечения интеграции между WPS-сервером (например, каталогом WPS-сервисов ГИС) и системой управления НРП.

Предложена архитектура сервис-ориентированной среды, Связь между WPS-сервером и системой управления НРП осуществляется через вызов компонента ИС, который затем отправляет запрос в систему. Система обрабатывает запрос и возвращает идентификатор сессии, по которому в дальнейшем возможно узнать о состоянии выполнения НРП. В качестве системы управления НРП использован диспетчер НРП, являющийся развитием исполнительной подсистемы инструментального комплекса Orlando Tools (OT) для разработки распределенных пакетов прикладных программ [5]. В рамках предложенной архитектуры разработано средство формирования WPS-сервисов по их спецификации, предоставляемых разработчиком пакета (рис. 1). В качестве примера созданы два независимых WPS-сервиса и развернут их сервер, на котором производится сортировка запросов и их выполнение. Схема запуска НРП на выполнение с помощью WPS-сервисов представлен на рис. 2.

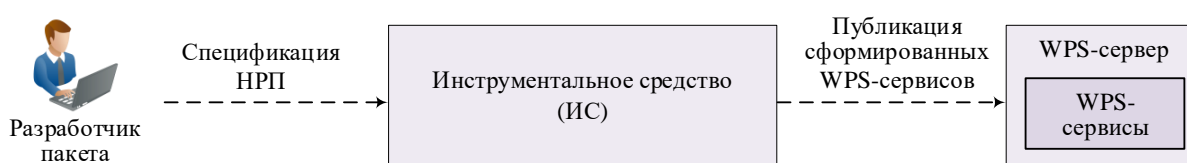


Рис. 1. Формирование WPS-сервисов

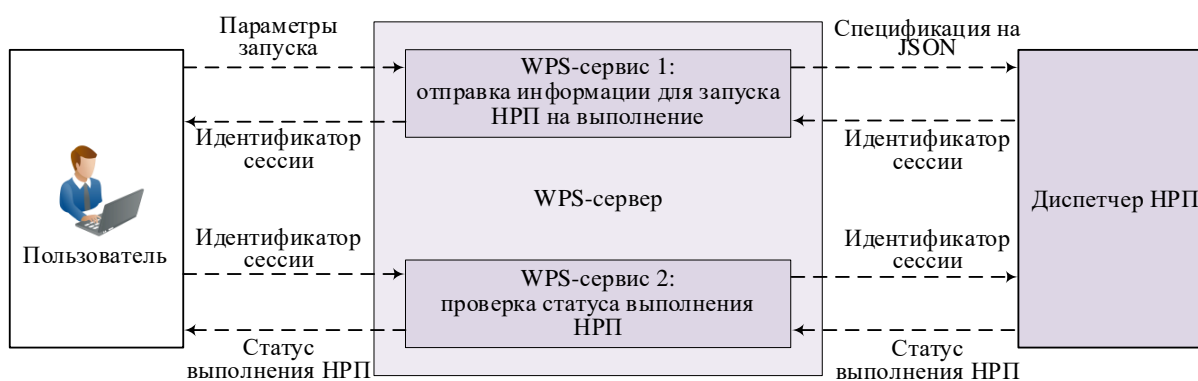


Рис. 2. Общая схема запуска НРП на выполнение

Пользователь отправляет первому WPS-сервису параметры, необходимые для запуска НРП. Затем этот сервис формирует спецификацию параметров на JSON и отправляет запрос на выполнение НРП диспетчеру. Спецификация включает следующую информацию: идентификатор НРП, параметр, определяющий будет ли процесс вычисляться на локальном сервере или удаленно, пути до исходных файлов, необходимых для запуска НРП. Файлы с исходными данными содержатся во внешней системе хранения данных (СХД). Диспетчер возвращает уникальный идентификатор сессии, который сервис передает пользователю.

Для получения сведений о статусе выполнения НРП пользователь обращается ко второму WPS-сервису с идентификатором сессии, в рамках которой НРП был запущен на выполнение. WPS-сервис в свою очередь запрашивает статус выполнения НРП у диспетчера по идентификатору сессии. Диспетчер возвращает информацию о статусе выполнения НРП, который передается пользователю сервисом. Информация о статусе выполнения НРП включает: статус выполнения НРП в целом и статус выполнения каждого модуля НРП, а также ссылку для получения результатов расчетов, если НРП уже выполнен.

Алгоритм выполнения WPS-сервиса в процессе его взаимодействия с диспетчером НРП представлен на рис. 3.

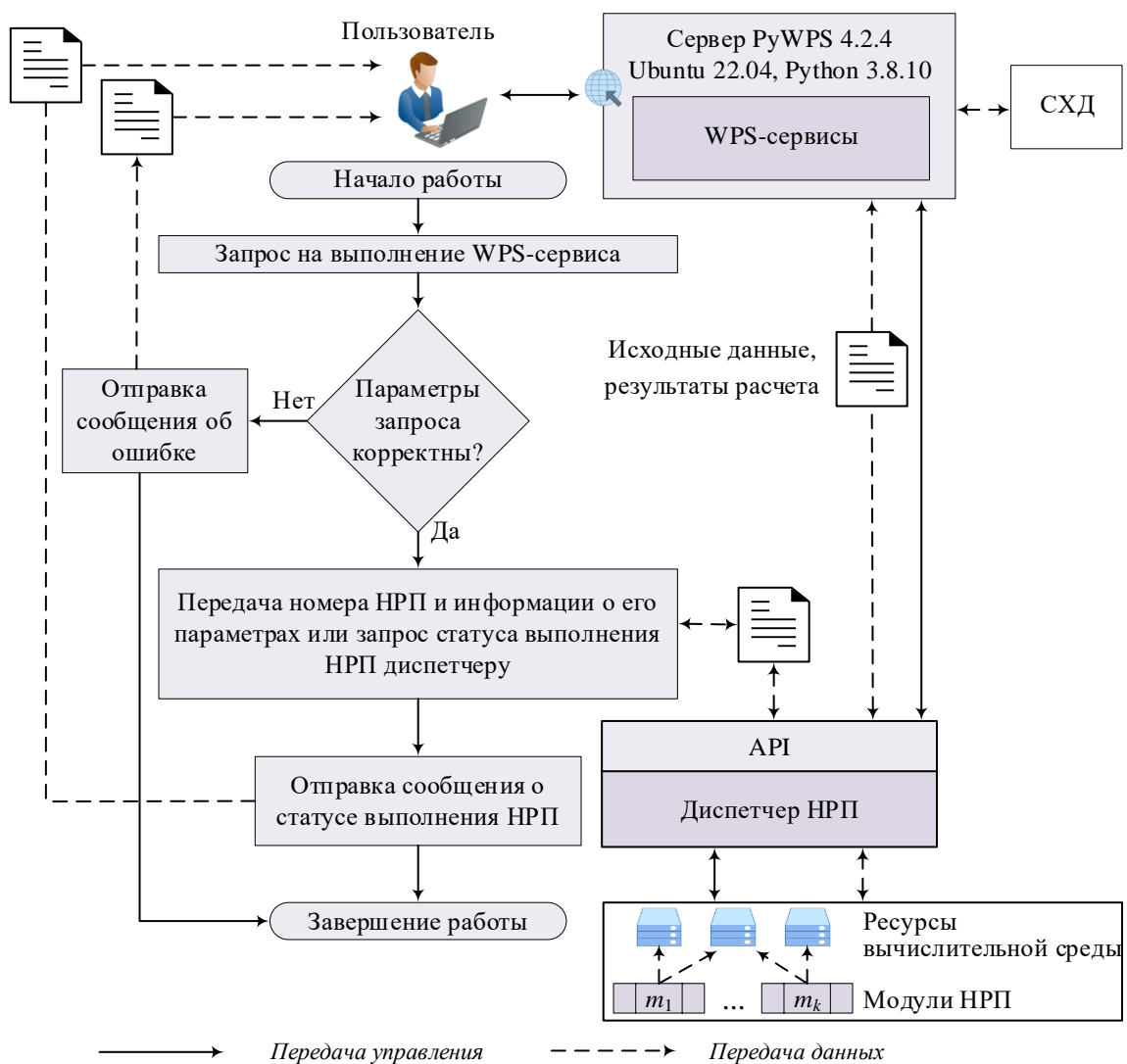


Рис. 3. Алгоритм выполнения WPS-сервиса

ИС реализовано на языке Python 3.8.10 final с использованием библиотеки PyWPS 4.2.4. В результате тестирования, было выявлено, что сервер, работающий на операционной системе Linux (Ubuntu 20.04.6 LTS) с установленными Apache 2.4.41, WSGI 4.6.8 и Python является минимальным требованием к запуску и работе серверной части средства.

В качестве средства для связи с сервисами, используется метод HTTP GET. Для запуска решения задачи, первому сервису необходимо отправить JSON с параметрами запуска. Далее сервис возвращает уникальный идентификатор в формате строки, который в дальнейшем можно использовать для проверки состояния задачи, вызвав второй сервис и передав ему данный параметр в формате строки. Связь с вычислительным сервером производится посредством методов GET и POST по протоколу HTTP.

Проведен сравнительный анализ возможностей ИС с возможностями инструментов, выполняющих подобные функции. В их числе BPEL Designer Project [6], Virtual Geographic Environments [7], GeoJModelBuilder [8] и OT. Все перечисленные средства поддерживают работу с WPS-сервисами. Отличительной особенностью ИС является возможность его автономного использования. Благодаря этому ИС может использоваться для интеграции любых ГИС с разными системами управления НРП.

Работоспособность разработанного ИС была проверена на примере запуска НРП пакета для решения задачи синтеза энергетических комплексов с заданным уровнем выживаемости [9]. Предложенная архитектура ИС, а также алгоритмы и методы, примененные при его создании, универсальность в плане получения запросов с любых платформ и автономность использования в процессе запуска НРП.

В дальнейшем планируется решение следующих задач:

- развитие разработанного инструментального средства с целью обеспечения масштабируемости выполнения WPS-сервисов и расширение их набора для обеспечения более удобного и гибкого использования сервисов;
- разработка средства выполнения сервис-ориентированных НРП, представленных на стандартных декларативных языках описания схем решения задач (например, на языке BPEL [10]);
- внедрение разработанного инструментального средства для интеграции геопортала ИДСТУ СО РАН [11] и диспетчера НРП.

1. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Hmelnov A.E., Fedorov R.K., Madzhara T.I., Popova A.K. Digital Monitoring of Lake Baikal and its Coastal Area // Proceedings of the 2nd Workshop on Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). CEUR-WS Proceedings, 2019. Vol. 2463. P. 13–23.
2. Breunig M., Bradley P. E., Jahn M. et al. Geospatial data management research: Progress and future directions // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. 9. № 2. P. 95.
3. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Костромин Р.О., Федоров Р.К. Автоматизация интеграции сервисов веб-обработки данных экологического мониторинга с распределенными научными приложениями // Автометрия. 2022. Т. 58. № 4. С. 67–75.
4. Open Geospatial Consortium. OGC WPS 2.0 Interface Standard. [Электронный ресурс]. URL: <https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/1140>. (дата обращения: 24.11.2023).
5. Черных А.Н., Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Аветисян А.И. Смягчение неопределенности при разработке и применении научных приложений в интегрированной среде // Труды ИСП РАН. 2021. Т. 33. № 1. С. 151–172.
6. Tan X., Jiao J., Chen N. et al. Geoscience model service integrated workflow for rainstorm waterlogging analysis // International Journal of Digital Earth. 2021. 14. № 7. P. 851–873.

7. 18. Li H., Zhang C., Xiao Z. et al. A Web-based geo-simulation approach integrating knowledge graph and model-services // *Environmental Modelling and Software*. 2021. 144. P. 105-160.
8. Zhang M., Bu X., Yue P. GeoJModelBuilder: An open source geoprocessing workflow tool // *Open Geospatial Data, Software and Standards*. 2017. Т. 2. P. 1–8.
9. Pfetsch, M.E. and Schmitt, A. A generic optimization framework for resilient systems. // *Optimization Methods and Software*. 2023. № 38(2). P.356–385.
10. Ouyang C., Van der Aalst W., Dumas M. Service-Oriented Processes: An Introduction to BPEL // *Semantic web services: Theory, tools and applications: Theory, tools and applications*. J. Cardoso (Ed.). IGI Global, 2007. P. 155–188.
11. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Фёдоров Р.К., Гаченко А.С., Шигаров А.О., Пармонов В.В. Формирование компонентов инфраструктуры пространственных данных для управления территориальным развитием // *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2012. Т. 2, № 4. С. 30–36.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А. Р. Залуцкий
МБОУ «Лицей №2», г. Братск
sashkaz959@gmail.com

Настоящая работа посвящена профессиональному определению школьников. Актуальность темы состоит в том, что управление знаниями и поддержка принятия решений в профессиональном направлении обусловлены не только теоретическим применением методов менеджмента к задачам управления в сфере образования, но и практическими задачами подготовки специалистов, необходимых для промышленности и национальной экономики.

Цель работы состоит в том, чтобы изучить и проанализировать математическую модель профессионального определения.

Объект исследования: математическая модель профессионального определения.
Предмет исследования: новая математическая модель для определения профессионального направления.

Гипотеза исследования: сможет ли математическая модель помочь школьникам в выборе профессии? Для достижения цели и доказательства гипотезы были поставлены следующие задачи:

1. Узнать, что такое математическая модель.
2. Изучить группы переменных математической модели профессионального определения.
3. Изучить методику проведения профессионального определения с помощью математической модели.
4. Разработать математическую модель профессионального определения.

Методами исследования являются:

Эмпирический способ. Переменные, содержащиеся в функции профессионального направления, которая определяет параметры студента, взаимосвязаны с использованием эмпирических правил. Логические операции с этими переменными также задаются эмпирически. Недостатком этого метода является отсутствие теоретической и экспериментальной базы, что снижает прогностическую ценность таких моделей.

Теоретический способ. Взаимосвязь между переменными и их логическими операциями определяется на основе теоретических допущений и логических причин связи между одними переменными и другими, и наоборот, их взаимного исключения. Этот метод фактически не имеет недостатков, но его реализация сопряжена со многими трудностями, среди которых, например, можно указать на неоднозначность концепции и стандартных границ, описываемых переменными профессионально выбранной функции.

Экспериментальный метод. Этот путь также можно назвать полумагическим. Суть этого метода заключается в том, что необходимо отобрать выборку из нескольких (довольно больших с точки зрения достоверности полученных статистических результатов) школьников, включая технические и гуманитарные направления классов.

Для построения математической модели были выделены следующие этапы:

- 1) Адаптация ABC-XYX анализа.
- 2) Создание рейтинга профессий, используемых в анализе.
- 3) Выделение важных факторов для выбора профессии.
- 4) Проведение анкетирования, в итоге которого будут найдены факторы выбора профессии, на которые школьники делают наибольший акцент.

- 5) Извлечение наиболее интересующих школьников направлений при профессиональном выборе и далее и реализация их применения в математической модели.

Идея о создании математической модели является достаточно новой, и мне удалось её реализовать и в конечном итоге начать её применение. Можно уверенно сказать, что математическая модель – это очень сложная, но интересная методика, у которой есть множество различных способов работы. Её применение в профессиональном определении будет способствовать росту количества специалистов в стране.

В перспективе планируется начать использование данной математической модели профессионального определения в нашей образовательной организации. Например, на мероприятиях, направленных на профориентацию школьников, а также индивидуально для каждого ученика в домашних условиях.

1. Алёшкин А.С., Самойло И.В. Математическая модель структуризации и самоорганизации информации в процессе управления знаниями//Тезисы докладов XII Международной телекоммуникационной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь и наука» — МИФИ, М., 2015 — С. 176-177.
2. Жуков Д.О., Самойло И.В. Модель самоорганизации знаний в процессе управления знаниями. // «Качество. Инновации. Образование», №12(43) — М., 2015 — С. 46-53.
3. Самойло И.В., Сумкин К.С., Морозова Т.Ю., Жуков Д.О. Метод нечеткой гиперрезолюции для разработки математической модели профессиональной ориентации / Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования», Москва, 2016, с. 89-94.
4. Фетинина Е.П., Кораблина Т.В., Соловьёва Ю.А. Монография «Типологические аспекты многокритериального выбора вариантов» - ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 2014, С. 3-6.
5. Математическая модель профессионального выбора учащихся предпрофильных классов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35125>. – Дата обращения: 12.03.2023.
6. Список профессий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1000primerov.ru/список-профессий/>. – Дата обращения: 02.03.2023.

ОСВЕЩЕННОСТЬ И ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ ЛАМПОЧЕК

А. П. Иванова
МАОУ «Ангарский лицей №1»
alinaivanova7113@gmail.com

Меня заинтересовал данный вопрос, так как за последнее время все больше и больше людей предпочитают устанавливать так называемые LED-лампочки. При этом далеко не все люди знают, дают ли такие лампочки достаточной освещенности и много ли потребляют электроэнергию.

Изучение данной темы поможет людям выбирать лампочки, которые будут выдавать достаточное освещение, а так же использование которых будет более выгодным за счет расчета работы электрической энергии, используемых для получения одного люмена. В ходе опыта я наглядно определила выдаваемую освещенность разными видами лампочек, а так же проверила некоторые показатели, которые производители указывают на упаковках с полученными в ходе эксперимента данными.

Проблема: по заявлению многих фирм светодиодные лампы выделяют большую освещенность и поглощают малую энергию.

Объект: работа лампочек в быту.

Предмет: разные лампочки: накаливания, светодиодные, люминесцентные, галогенные.

Цель: изучить историю развития света. Собрать электрическую цепь, которая поможет определить освещенность разных видов лампочек и сравнить полученные показатели.

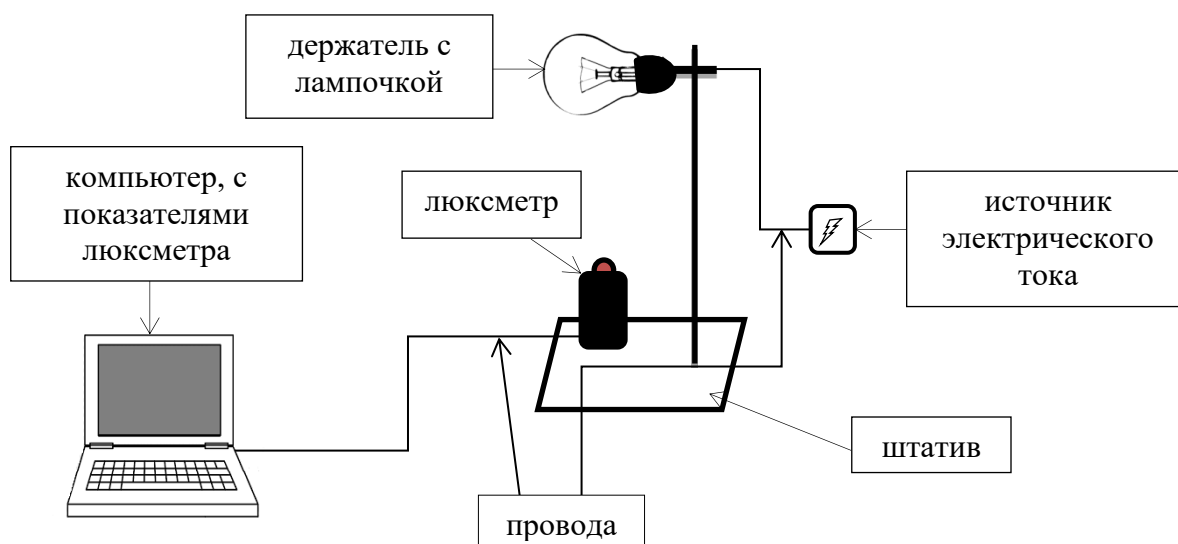
Гипотеза: для получения одного люкса всеми видами лампочек требуется разная мощность; больше всего эта мощность у лампочек накаливания.

Задачи исследования:

- изучить информацию: о необходимых физических терминах и величинах; а также о создании, принципе работы и применении разных видов лампочек;
- использовать электрическую цепь, которая поможет рассмотреть такой физический показатель как освещенность и выявить нагреваются ли лампочки при их использовании;
- рассчитать освещенность и мощность, необходимую для получения одного люкса, при использовании разных лампочек;

В практической части я использовала - ноутбук, штатив, источник электрического тока, лампа накаливания 60Вт, светодиодная лампа 11Вт, люминесцентная лампочка 12Вт, галогенная лампочка 60Вт, люксметр

1. начертить и собрать электрическую цепь, для измерения освещенности
2. замерить освещенность в течение 30 секунд для лампочек каждого вида
3. рассчитать мощность, необходимую для получения одного люкса. Отобразить в виде таблиц (1, 2) и графика (1)
4. представить полученные результаты в виде таблицы и графика
5. сделать выводы



Собрав установку по схеме, я замерила освещенность каждой лампочки в течение 30 секунд. Важно: расстояние от лампочки до люксметра было одинаковое при каждом наблюдении.

Люминесцентная и светодиодная лампочки взяты меньшей мощностью, т.к. производитель говорит о том, что их освещенность равна большей мощности ламп накаливания.

Таблица 1

Полученная освещенность лампочек	
Вид лампочки, мощность [Вт]	Освещенность [Лк] (данные полученные в ходе измерений)
Лампочка накаливания, 60	275
Люминесцентная лампочка, 12	293
Светодиодная лампочка, 11	392
Галогенная лампочка, 60	2764

Показатель освещенности у галогенной лампочки больше всего, по данным СНиП такая огромная освещенность не подходит для освещения стандартных квартир.

Рассматривая показатель освещенности светодиодной и галогенной лампочек, хочется отметить, несмотря на то, что их мощность в 5 раз меньше, чем у лампы накаливания, их освещённость, на несколько люксов больше чем освещенность ламп накаливания, взятой с большей мощностью.

Таблица 2

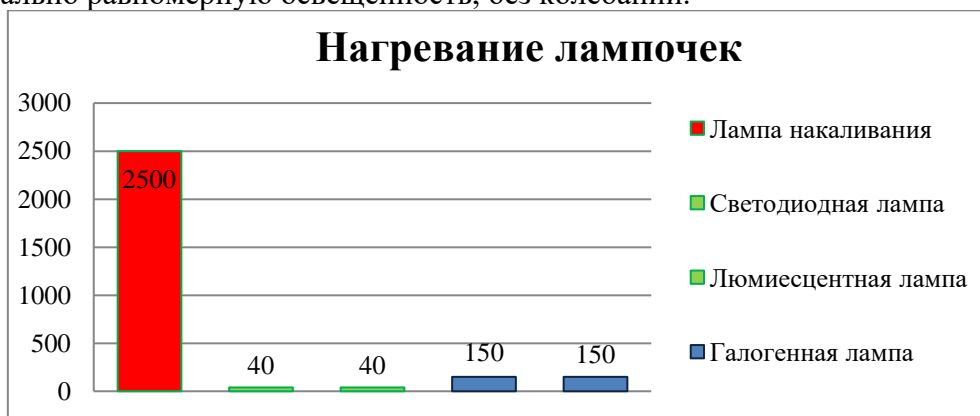
Расчеты необходимой мощности	
Вид лампочек, мощность [Вт]	Мощность, необходимая для получения одного люкса [Вт]
Галогенная лампочка, 60	0,022
Светодиодная лампочка, 11	0,028
Люминесцентная лампочка, 12	0,041
Лампочка накаливания, 60	0,218

Мощность, необходимая для получения одного люкса, я считала по формуле $M_{\text{необходимая для 1Лк}} = M_{\text{лампочки}} / E$, где E - это освещенность.



По результатам расчётов мощность необходимая для получения одного люкса, больше всего у лампочки накаливания (0,218 Вт) и меньше всего у галогенной лампочки (0,022).

Дополнительные наблюдения: лампа накаливания очень быстро и сильно нагревается, при этом сразу показывает возможную освещенность; галогенная лампочка нагревается меньше лампы накаливания; люминесцентная лампочка почти не нагревается, при этом показатель освещенности постепенно растет до максимально возможного значения; светодиодная лампочка вовсе не нагревается и выдает максимально равномерную освещенность, без колебаний.



В заключении могу сказать, что поставленная цель достигнута и задачи выполнены и гипотеза о том, что для получения одного люкса всеми видами лампочек требуется разная мощность; больше всего эта мощность у лампочек накаливания, была доказана путем эксперимента и расчётов в практической части проекта.

Полученные данные были проанализированы, выявлены дополнительные итоги наблюдений, а также сделаны следующие выводы:

- галогенная и светодиодные лампочки являются более выгодными в использовании, т.к. с меньшей мощностью выдают достаточную освещённость, то есть для получения одного люкса требуется меньшая мощность; результаты отображены в таблице 1 и 2.
- лампочки накаливания являются не эффективными, т.к. потребляют много мощности, большая часть которой уходит на нагревание самой лампочки, а не на освещение.

1. учебник по физике, 8 класс: А. В. Перышкин – Издательство «Экзамен», 2021
2. программа «Галилео», Лампа накаливания, 2018 год
3. программа «Галилео», Светодиоды, 2015 год
4. программа «Галилео», лампы дневного света (люминесцентные), 2018 год
5. программа «Discovery», Галогенные лампы, 2015 год

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПО МОДЕЛИ SaaS

А.В. Кумратов, Д.Е. Кашкарев
МАОУ Лицей ИГУ

kumratov.andrey@gmail.com, danila.kashkarev@yandex.ru

Модель Software as a Service (SaaS), ввиду роста популярности и качества нейросетей нового поколения, становится быстрорастущей концепцией [1, 2]. Примерами SaaS приложений служат продукты больших компаний, таких как Yandex, Microsoft (OneDrive) и пр. Из-за начавшегося интенсивного развития таких приложений потребовалось соответствующее решение по обеспечению безопасности, которая не будет препятствовать разработке и поддержке таких систем. Соответственно, рассмотрим задачу создания решения по безопасности для SaaS приложений.

В процессе выполнения целевой задачи предложен новый подход для обеспечения безопасности веб-приложений, работающих в рамках концепции SaaS. Обсуждаются программные и сетевые меры, направленные на создание защищённого протокола работы выбранного типа приложений. Программные меры обеспечения включают в себя протоколы авторизации, аутентификации, а также реализации идентификации субъектов, использующих приложение. Ниже приведены основные термины, используемые в работе.

Аутентификация – процедура проверки подлинности, например проверка подлинности пользователя путем сравнения введенного им пароля с паролем, сохраненным в базе данных [3-5].

Авторизация – предоставление определенному лицу или группе лиц прав на выполнение определенных действий [5].

Идентификация – процедура, в результате выполнения которой для субъекта идентификации выявляется его идентификатор, однозначно определяющий этого субъекта в информационной системе [5].

Также, ниже введены следующие роли, относящиеся к целевой задаче.

Ресурс (сервис) – приложение или множество приложений (микросервисов), соединённых в одну систему. Оно выполняет одну определённую роль (фрагмент бизнес-логики).

Сервер – это поддерживаемая система из сервисов, выполняющая задачу бесперебойной работы и отказоустойчивости.

Клиент – лицо или отдельная от сервера информационная система, работающее с пользователями и предоставляющее им доступ к ресурсам и данным на сервере.

Пользователь – лицо, использующее сервер, взаимодействуя с ним через клиента.

Проблемой системы безопасности SaaS приложений является сложность данного вида ПО и высокая ответственность владельца.

Для обеспечения безопасности таких приложений используются разные подходы. Среди программных мер в основном можно выделить аутентификацию по токенам JWT или SAML и идентификацию по ним [5], а также авторизацию на основе OAuth 2.0 [6]. Среди сетевых мер можно назвать разделение на зоны [8], набирающую популярность концепцию нулевого доверия (Zero Trust), а также установку файрволов и защиты от отказа в обслуживании (DDoS) [8, 9].

Какие-то из них являются эффективными и подходят под задачу, и в новом подходе они будут использоваться. Однако протокол авторизации будет заменён на принципиально новый.

Выбранным протоколом аутентификации является аутентификация по токенам, форматом которых был избран JWT (Json Web Token). Идентификация субъектов

проводится благодаря данным, которые закодированы в токене. Наиболее подходящим к выбранному протоколу аутентификации и типу веб-приложений (реализующему модель SaaS) является стандарт OAuth версии 2.0.

Однако, изучив модель, по которой работает целевой тип веб-приложений и сопоставив со спецификацией OAuth 2.0 [6], были выведены следующие проблемы этого протокола:

- пользователь и клиент являются независимыми сущностями. Это правильно с точки зрения пользователе-ориентированных приложений, которые проводят аутентификацию и авторизацию через доверенные сервисы (соцсети, государственные порталы, интернет-магазины и т.д.). Как пример можно привести Дневник.ру который проводит аутентификацию и авторизацию пользователей через ЕПГУ. Однако такой подход не применим в рамках SaaS приложений, которые больше ориентированы на клиентов, так как пользователям клиента потребуется также иметь учётную запись в информационной системе, что усложняет сотрудничество, а также приводит к росту базы данных пользователей;
- пользователь неотделим от сервера ресурсов, а поддержка и разработка программных средств для работы с пользователями влечет дополнительные накладные расходы. Другими словами, нет возможности отделить сервер ресурсов от пользователей, из-за чего система становится сложнее в разработке и поддержке;
- клиент не имеет возможности влиять на своих пользователей и ограничивать им доступ к ресурсам, выданных ему, а не конкретным пользователям.

Из-за этих причин данный протокол не подходит для текущей задачи. Следовательно, имеется потребность предложить иную логику работы авторизации, не основанной на OAuth 2.0.

Разработан новый протокол авторизации, решающий проблемы OAuth 2.0 следующим образом:

- пользователи не являются независимыми сущностями, они не могут существовать вне клиента (по введённому определению), а, следовательно, являются его частью. Таким образом, клиент сам отвечает за своих пользователей и их первичную аутентификацию (вход пользователя в систему), а сервер после этого лишь даёт им право пользоваться ресурсами без необходимости регистрировать их в своей системе;
- есть возможность отделить сервер от пользователей, создав клиента, где будет реализован функционал работы с ними. Таким образом мы имеем не один объёмный сервер, а две принципиально разных части, которые поддерживаются независимо друг от друга и не перегружены лишними обязанностями, что упрощает разработку и помогает следовать принципу единой обязанности стратегически [7];
- клиент имеет возможность настраивать доступы для своих пользователей посредством ряда утверждений (имя, фамилия, роль и т.д.). Система утверждений определяется самим клиентом.

На рис. 1 представлена схема работы данного протокола.

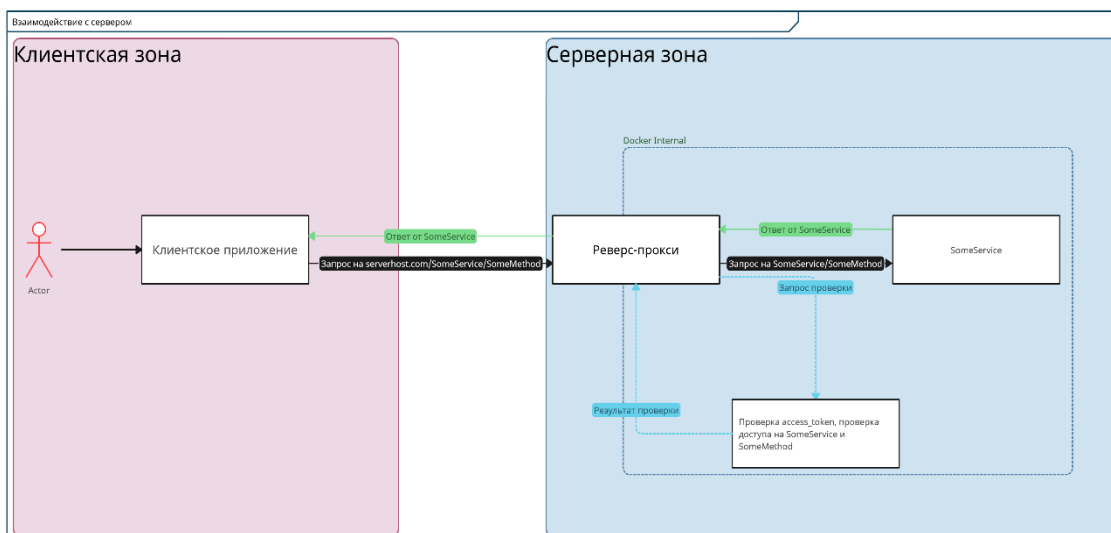


Рис. 1. Схема взаимодействия клиентской и серверных зон

—В данной схеме на результат проверки влияет настроенная клиентом политика утверждений своих пользователей, SomeService является ресурсом, Actor является пользователем, клиентская зона — это клиент (по введённому определению), аналогично серверная зона — это сервер. Реверс-прокси является инициатором проверки доступов.

Таким образом, были предложены программные меры по реализации безопасности текущего типа веб-приложений. Однако, также требуются соответствующие сетевые меры. Решение по организации сети представлено ниже.

В работе сеть разделена на три зоны: *сервер*, *Demilitarized Zone (DMZ)*, *Database Zone*. Для создания прототипа сети использована технология виртуализации и контейнеризации. В DMZ развернут интерфейс для настройки доступов (соответствующие методы для клиентов и администраторов). В серверной зоне располагаются сервисы приложения (сервис авторизации, AdminAPI, ClientAdminAPI и т.д.).

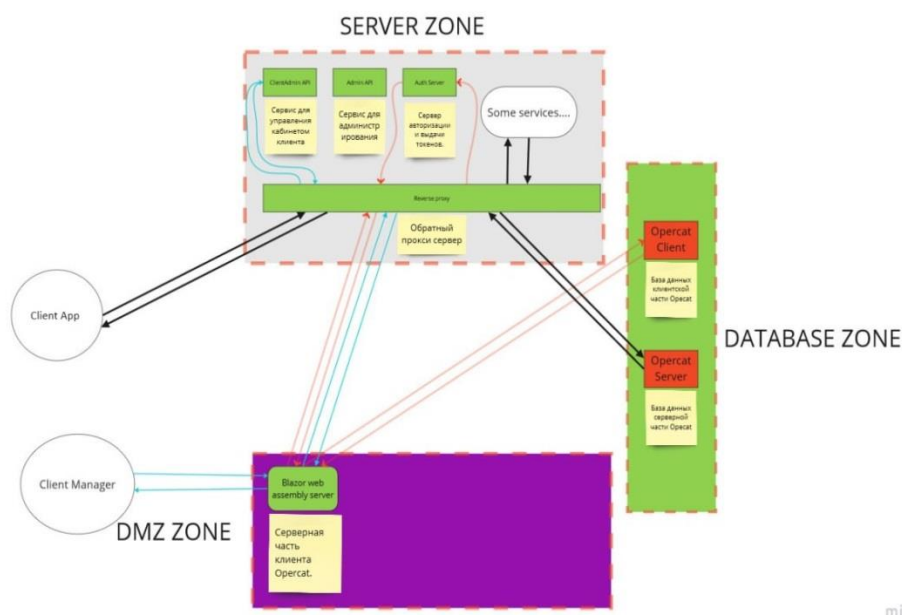


Рис. 2. Архитектура компонентов сети

Для настройки сети использован программный маршрутизатор на одноплатном мини-ПК (Nettop), на котором установлена и сконфигурирована операционная система PfSense. Внутренний фаервол позволил настроить контролируемый обмен информацией между серверами. Для создания виртуальных машин (гостевых) применяется открытый дистрибутив Proxmox, который основывается на операционной системе Debian. Архитектура компонентов сети представлена на рис 2.

В данной работе решается проблема обеспечения безопасности SaaS веб-приложений. Данная реализация включает в себя новый протокол авторизации, который также был разработан, благодаря чему были решены проблемы использования OAuth 2.0 протокола в изучаемом типе программного обеспечения. Данная работа будет актуальна не только для различных вычислительных центров, но и в других системах, удовлетворяющих определению модели SaaS.

1. SaaS: как работает модель «Программное обеспечение как сервис». URL: <https://cloud.yandex.ru/blog/posts/2023/03/saas> (дата обращения 25.11.2023).
2. Число пользователей бесплатных нейросетей в России выросло в пять раз за полгода. URL: <https://habr.com/ru/news/719820/> (дата обращения 25.11.2023).
3. Ричард Э. Смит. Аутентификация: от паролей до открытых ключей. Вильямс, 2002. 557 с.
4. А.А. Шелупанов, С. Л. Груздев, Ю.С. Нахаев. Аутентификация. Теория и практика обеспечения доступа к информационным ресурсам. Горячая линия – Телеком, 2009. 550 с.
5. Обзор способов и протоколов аутентификации в веб-приложениях. URL: <https://habr.com/ru/companies/dataart/articles/262817/> (дата обращения 25.11.2023).
6. Спецификация OAuth 2.0 (RFC 6749). URL: <https://oauth.net> (дата обращения 25.11.2023).
7. С. Тепляков Паттерны проектирования на платформе .NET. Питер, 2015. 320 с.
8. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. Питер, 2022. 960 с.
9. Флёнов М. Е. Linux глазами хакера. БХВ-Петербург, 2018. 416 с.
10. Что такое Zero Trust? Модель безопасности. URL: <https://habr.com/ru/companies/varonis/articles/472934/> (дата обращения 25.11.2023).

ДИНАМИКА ФИНАНСОВЫХ ПИРАМИД: ВЗГЛЯД ИЗНУТРИ

А. М. Сазонова
МБОУ «Лицей №2», г. Братск
anastasiasazonova23@mail.ru

Финансовая пирамида – система обеспечения дохода членам структуры за счёт постоянного привлечения денежных средств новых участников: доход первым участникам пирамиды выплачивается за счёт средств последующих. Понятие «финансовая пирамида» обычно ассоциируется с такими организациями как «МММ», «Властелина», «Русский Дом Селенга», «Хопер-Инвест» и др.

Финансовая пирамида является мошеннической схемой извлечения прибыли, за основу которой взято постоянное привлечение новых вкладчиков, а не инвестирование в различные доходные активы. Основным инструментом деятельности подобного механизма является выпуск ценных бумаг, не обладающих на самом деле заявленной ценностью. Часто финансовые пирамиды маскируются под инвестиционные фонды и различные коммерческие проекты, которые якобы вкладывают ваши денежные средства в высокодоходные финансовые инструменты или «сверхприбыльные проекты».

Главное отличие реального бизнеса от финансовой пирамиды состоит в их источниках выплат клиентам. В том случае, когда выплаты по своим размерам превышают прибавочную стоимость, можно говорить, что имеются все признаки мошенничества.

Проблема исследования заключается в выявлении механизма функционирования финансовых пирамид. Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что на сегодняшний день финансовая пирамида является широко распространенной формой мошенничества на рынке финансовых инвестиций. Этот феномен мало изучен, поэтому многие люди становятся жертвами таких организаций.

Объект исследования: предприятие, функционирующее в виде финансовой пирамиды. Предмет исследования: механизм организации финансовой пирамиды.

Цель работы – используя математическое моделирование, выявить максимальный срок действия финансовой пирамиды. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучение истории финансовых пирамид.
2. Анализ некоторых моделей финансовых пирамид.
3. Обзор математических методов моделирования финансовых пирамид.
4. Изучение принципов и сценариев развития финансовых пирамид.

Гипотеза исследования: финансовые пирамиды могут существовать долгое время и являются надежным способом получения прибыли для вкладчиков.

Методы исследования: анализ и синтез на базе математического моделирования, динамических систем и элементов теории оптимизации.

В работе были изучены истории финансовых пирамид и сделан анализ некоторых их моделей. Опираясь на подход С. В. Дубовского, получены аналитические формулы для определения периода существования финансовых пирамид, выручки инвестора и вкладчиков при различных характерах роста. Используя математическое моделирование, выявлен принцип действия компании.

Также в работе представлены различные сценарии развития организации и построены графики зависимости накопленного капитала учредителя в определенный момент времени. Решена задача максимизации капитала инвестора в момент окончания по цене-параметру. Рассмотрев все представленные сценарии развития финансовой пирамиды, выявлено, что наименьшая выручка организатора составит 42 у.е, наибольшая составит 200 у.е.

В нашем исследовании опровергнута гипотеза о том, что финансовые пирамиды могут существовать долгое время и являются надежным способом получения прибыли для вкладчиков. Получив наибольший капитал, инвестор останавливает выплаты и закрывает пирамиду. Заработать простым участникам невозможно. По результатам настоящего исследования определен максимальный срок действия компании, который составляет не более 6 лет.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что в нём представлены принципы работы финансовых пирамид. Практическая значимость исследования состоит в том, что разработанные сценарии развития финансовых пирамид помогут повысить уровень знания людей, не желающих потерять свои денежные средства.

1. Ананьев Б. И., Гредасова Н. В. Модели финансовой математики [Текст]: учебное пособие / Б. И. Ананьев, Н. В. Гредасова. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 110 с.
2. Белянин А. В. Финансовые пирамиды в переходной экономике с точки зрения теории игр [Текст] научный доклад / А. В. Белянин, О. Г. Исупова. – М., 2001. – 76 с.
3. Дубовский С. В. Обменный курс рубля как результат денежной эмиссии, внешней торговли и блуждающих финансовых потоков [Текст] / С. В. Дубовский // Экономика и математические методы. – 2002. – № 2. – С. 84-96.
4. Моисеев С. Р. «Мыльные пузыри» и политика центрального банка» [Текст] / С. Р. Моисеев // Дайджест-Финансы. – 2001. – № 12. – С. 30-34.
5. Финансовая пирамида [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Финансовая_пирамида. - Дата обращения: 20.12.2022.
6. Франгулова Е. В., Полумордвинова А. О. Математические модели финансовых пирамид. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nit.miem.edu.ru/2006/sb/section1/sec1.2/2.htm>. - Дата обращения: 25.12.2022.
7. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении [Текст]: учебное пособие / Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили. – М.: Дело, 2000. – 440 с.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ, НЕРАВЕНСТВ И СИСТЕМ С ПАРАМЕТРОМ

В.И. Тюленев
МБОУ г. Иркутска Лицей №3
slavus0706@yandex.ru

Существуют разные уравнения, неравенства системы, включающие в себя тригонометрические, логарифмические функции, знаки модуля. Из всего этого возможно создать задания абсолютно разной сложности.

1. смешанное задание (с тригонометрическими функциями)

№1. Найти все значения параметра a из интервала $(2;5)$, при каждом из которых существует хотя бы одно число x из отрезка $[2;3]$, удовлетворяющее уравнению

$$\log_2(3 - |\sin ax|) = \cos\left(\pi x - \frac{\pi}{6}\right).$$

1) Заметим, что для любых x и a

$\cos\left(\pi x - \frac{\pi}{6}\right) \leq 1$ (1) и $|\sin ax| \leq 1$. Из крайнего неравенства выходит, что $\log_2(3 - |\sin ax|) \geq 1$ (2).

2) Если внимательно посмотреть на (1) и (2) выражения и учесть условие $\log_2(3 - |\sin ax|) = \cos\left(\pi x - \frac{\pi}{6}\right)$, то уравнение равносильно системе уравнений:

$$\begin{cases} \cos\left(\pi x - \frac{\pi}{6}\right) = 1 \\ |\sin ax| = 1 \end{cases}$$

3) Решим уравнение $\cos\left(\pi x - \frac{\pi}{6}\right) = 1$

$$x = \frac{1}{6} + 2n, n \in Z$$

Учитывая отрезок $x \in [2; 3]$, получим двойное неравенство:

$$2 \leq \frac{1}{6} + 2n \leq 3$$

$$2 - \frac{1}{6} \leq 2n \leq 3 - \frac{1}{6}$$

$$\frac{11}{6} \leq 2n \leq \frac{17}{6}$$

$$\frac{11}{12} \leq n \leq \frac{17}{12}$$

Единственным целым n , удовлетворяющим условию, является 1. Подставляя, $x = \frac{1}{6} + 2 \times 1 = \frac{13}{6}$.

4) Таким образом, уравнение имеет единственное решение на промежутке $[2;3]$ тогда и только тогда, когда

$$\left| \sin \frac{13}{6} x \right| = 1$$

$$\begin{cases} \sin \frac{13}{6} a = 1 \\ \sin \frac{13}{6} a = -1 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{13}{6} a = \pi + 2\pi n, n \in Z \\ \frac{13}{6} a = -\pi + 2\pi n, n \in Z \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = \frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi n, n \in Z \\ a = -\frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi n, n \in Z \end{cases}$$

5) Теперь необходимо отобразить параметры на открытом указанном промежутке (2;5).

$$2 < \frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi n < 5$$

$$\frac{26}{12} < \frac{\pi}{2} + \pi n < \frac{65}{12}$$

$$\frac{13-3\pi}{6\pi} < n < \frac{65-6\pi}{12\pi};$$

$$0 < \frac{13-3\pi}{6\pi} < 1 \text{ и } 1 < \frac{65-6\pi}{12\pi} < 2$$

Тогда $0 < n < 2$, то есть $n = 1$, подставим

$$a = \frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi \times 1 = \frac{18}{13} \pi$$

Работа со следующей группой корней:

$$2 < -\frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi n < 5$$

$$\frac{26}{12} < -\frac{\pi}{2} + \pi n < \frac{65}{12}$$

$$\frac{13+3\pi}{6\pi} < n < \frac{65+6\pi}{12\pi};$$

$$1 < \frac{13+3\pi}{6\pi} < 2 \text{ и } 2 < \frac{65+6\pi}{12\pi} < 3$$

Тогда $1 < n < 3$, то есть $n = 2$, подставим

$$a = -\frac{6}{13} \pi + \frac{12}{13} \pi \times 2 = \frac{18}{13} \pi$$

Ответ: $a = \frac{18}{13}$

№2. Найдите все значения параметра a , при каждом из которых уравнение

$$(x^2 - 5 + \ln(x - a))^2 = (x^2 - 5)^2 + (\ln(x - a))^2$$

Имеет единственное решение на отрезке $[0;3]$.

1) Уравнение

$$(x^2 - 5 + \ln(x - a))^2 = (x^2 - 5)^2 + (\ln(x - a))^2$$

равносильно уравнению

$$(x^2 - 5) \ln(x - a) = 0$$

2) 1 случай решения: $x = \sqrt{5}$ на отрезке $[0;3]$, при этом

$$a < \sqrt{5}$$

3) 2 случай решения: $x - a = 1$, значит $x = a + 1$. Это выполняется при $a \in [-1; 2]$
Ответ: $a \in (-\infty; \sqrt{5})$.

1. Алгебра и начала математического анализа 10-11 класс, 7-е издание, 2019г.
2. Математика. Большой справочник для школьников и поступающих в вузы, Издательский дом «Дрофа», 1999г.
3. <https://ege.sdamgia.ru/>

ТЕОРИЯ ИГР В ЗАДАНИЯХ ЕГЭ ПО ИНФОРМАТИКЕ

Е.А. Шабалина
МБОУ Лицей №3 г. Иркутска
Katy.shabalina.06@mail.ru

На протяжении всей жизни человек вынужден принимать определенные решения по вопросам. Одной из наук, которая предоставляет возможность для принятия решений и математическое обоснование подходов к анализу этих решений, выступает теория игр.

Игрой называется процесс, в котором участвуют две или более стороны, ведущие борьбу за реализацию своих интересов.

Выигрышная стратегия — последовательность ходов, которая приведет игрока к победе, как бы не играл соперник

Правильной называется игра, в которой каждый из игроков применяет выигрышную или ничейную стратегию, если она у него есть.

Так, если игроки играют в правильную игру, второй игрок должен воспользоваться своей выигрышной стратегией (например, дополнять число до девяти; у него может быть также и иная выигрышная стратегия) и довести игру до победы.

Сфокусируемся на 19–21 задачах, связанных с теорией игр. Эти задания представляют собой интересные задачи, которые требуют умения анализировать игровые ситуации. Задания на теорию игр считаются средним уровнем сложности. На этих заданиях есть возможность набрать целых 3 балла.

В информатических задачах на теорию игр существуют некоторые стандартные правила, которые позволяют продумать игру. Рассмотрим такие правила для 19–21 задач:

- В игре **не должно быть никаких случайностей**. Другими словами, игра должна быть детерминирована.
- В процессе игры не может возникнуть бесконечного цикла или безвыходной ситуации. Значит, игра должна **рано или поздно заканчиваться**
- У игры **обязательно** должно быть условие победы

Возьмем демонстрационный вариант ЕГЭ по информатике за 2024 год из официального сайта ФИПИ. Решим 19–21 задачи, связанные с теорией игр тремя различными способами (см. рис.1)

Демонстрационный вариант ЕГЭ 2024 г.

ИНФОРМАТИКА, 11 класс. 18 / 24

19

Два игрока, Петя и Ваня, играют в следующую игру. Перед игроками лежит куча камней. Игроки ходят по очереди, первый ход делает Петя. За один ход игрок может добавить в кучу **один** камень или увеличить количество камней в куче в **два раза**. Для того чтобы делать ходы, у каждого игрока есть неограниченное количество камней.

Игра завершается в тот момент, когда количество камней в куче становится не менее 129. Победителем считается игрок, сделавший последний ход, т.е. первым получивший кучу из 129 или больше камней.

В начальный момент в куче было S камней, $1 \leq S \leq 128$.

Будем говорить, что игрок имеет *выигрышную стратегию*, если он может выиграть при любых ходах противника.

Укажите минимальное значение S , при котором Петя не может выиграть за один ход, но при любом ходе Пети Ваня может выиграть своим первым ходом.

Рис. 1. Задание №19 из демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике за 2024 год

Для начала рассмотрим задание методом решения руками. Это самый обычный способ (см. рис. 2)

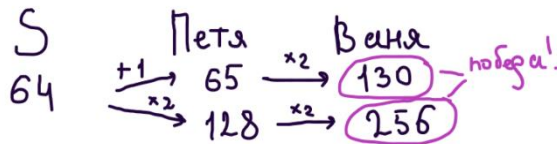


Рис. 2. Пример метода решения 19 задания руками, автор Е.А. Шабалина

Для этого создаю свое дерево, детально рассматривая всевозможные ходы игроков. Задумка в том, что благодаря такому рассмотрению, будет меньше шансов допустить ошибку. На картинке в первом столбце представлена S-куча камней, дальше ходы мальчиков. У Вани есть выигрышная стратегия. Он в любом случае получает победу. Для того, чтобы найти S, 129 камней (выигрыш) делим на 2, получается дробное число и округляем число в меньшую сторону, т.е. 64. Этого хватит для победы Вани.

Способ, рекомендуемый ФИПИ как один из возможных для решения – Excel. За вторым способом обратимся к Excel (см. рис.3)

	A	B	C	D	E
1					
2					
3	S	Петя	Ваня		
4	64	65	130		
5		128	256		

Рис. 3. Пример метода решения 19 задания в Excel, автор Е.А. Шабалина

Формулы в Excel — главная причина, которая и привлекает пользователей, ведь формулы ускоряют работу и лишают ее рутинного написания одной и той же информации для некоторой цели. Чтобы начать писать формулу необходимо лишь нажать на нужную ячейку и поставить знак «=».

Чтобы проконтролировать ячейки, когда Ваня одержит победу, и Петя не выиграет (по условию задачи), нужно поставить условное форматирование (главная, условное форматирование, создать правило). Должны загораться две ячейки зеленым цветом для решения данного задания.

Этот способ кажется легче, чем первый. Excel сам покажет благоприятные ячейки.

И наконец, рассмотрим последний способ решения данной задачи – программой Python. В интернете существует большой объем информации о решениях теории игр программированием. В данном месте показан наиболее понятный способ решения данного задания с пояснениями в программе Python. Создаем функцию f, параметрами которой будет 2 переменных: x (количество камней), p (позиция игрока). Пишем программу (см. рис.4)

```
def f(x, p): #начальная позиция при старте - 1
    if x >= 129 or p > 3:
        return p == 3 #прописываем условие остановки рекурсивного алгоритма
    if p % 2 == 0: #проверяем четность позиции
        return f(x+1, p+1) or f(x*2, p+1) #ход Пети
    else:
        return f(x+1, p+1) and f(x*2, p+1) #ход Вани. Ставим and, тк выигрывает всегда
for s in range(1, 129):
    if f(s, 1) == True:
        print(s)
```

Рис. 4. Пример метода решения 19 задания программой Python, автор Е.А. Шабалина

Проверяем четность позиции. Если позиция четна – ходит Петя.

Петя может выполнить два действия с кучей(+1, *2), но и не забываем увеличивать позицию, т.к. они не остаются на месте. Ставим между действиями «or», т.к. Петя может выбрать любое действие в начале.

Если позиция нечетна, то ходит Ваня. Он может выполнить все те же самые действия, что и Петя, только для него должны быть выполнены все условия для ответа на 19 задачу, поэтому ставим AND.

По моему мнению, наиболее удобным способом решать задачи на теорию игр – программой на Python. Следующие две задачи будут уже сложнее. Решая двумя первыми способами, можно легко запутаться и допустить ошибку.

Решим удобным способом 20 и 21 задачи на теорию игр программой Python (см. рис.5)

20 Для игры, описанной в задании 19, найдите два **наименьших** значения S , при которых у Пети есть выигрышная стратегия, причём одновременно выполняются два условия:

- Петя не может выиграть за один ход;
- Петя может выиграть своим вторым ходом независимо от того, как будет ходить Ваня.

Найденные значения запишите в ответе в порядке возрастания.

Рис. 5. Задание №20 из демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике за 2024 год

В этой задаче нужно найти ДВА минимальных значения. Скопируем программу 19 задачи и немного изменим ее (см. рис.6)

```
def f(x, p):
    if x>=129 or p>4:
        return p == 4
    if p%2!=0: #проверяем нечетность позиции, нас интересует теперь выигрыш Пети
        return f(x+1, p+1) or f(x*2, p+1)
    else:
        return f(x+1, p+1) and f(x*2, p+1)
for s in range(1,129):
    if f(s, 1) == True:
        print(s)
```

Рис. 6. Пример метода решения 20 задания программой Python, автор Е.А. Шабалина

Все то же самое, только ставим нечетность позиции и увеличиваем позицию на единицу, потому что добавляется еще Петя.

Решаем 21 задание тем же способом (см. рис.7)

21 Для игры, описанной в задании 19, найдите **минимальное** значение S , при котором одновременно выполняются два условия:

- у Вани есть выигрышная стратегия, позволяющая ему выиграть первым или вторым ходом при любой игре Пети;
- у Вани нет стратегии, которая позволит ему гарантированно выиграть первым ходом.

Если найдено несколько значений S , в ответе запишите минимальное из них.

Рис. 7. Задание №21 из демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике за 2024 год

Копируем программу и редактируем ее по условию задачи (см. рис.8)

```
def f(x, p):
    if x>=129 or p>5: #позиция +1
        return p == 5 or p == 3 #проверяем 1 и 2 ход Вани
    if p%2==0: #возвращаем четность позиции, нас интересует выигрыш Вани
        return f(x+1, p+1) or f(x*2, p+1)
    else:
        return f(x+1, p+1) and f(x*2, p+1)
for s in range(1,129):
    if f(s, 1) == True:
        print(s)
```

Рис. 8. Пример метода решения 21 задания программой Python, автор Е.А. Шабалина

В итоге, была рассмотрена демоверсия ЕГЭ по информатике по 19-21 заданиям, где рассматривались три различных способа решения задач, связанных с теорией игр. Первый способ – метод решения руками, подразумевающий под собой рисование дерева с ходами игроков. Второй – с помощью Excel. Последний способ решения данных задач – программой Python. Каждый способ хорош, имеет свои преимущества, но все же я отдаю предпочтение решать программированием.

1. Fipi.ru. Официальный сайт ФИПИ, демонстрационный вариант ЕГЭ по информатике 2024 года
2. Ru.wikipedia.org
3. Compege.ru. Демонстрационная версия станция КЕГЭ
4. Kpolyakov.spb.ru. Константин Поляков – создатель сайта по подготовке к ЕГЭ по информатике

АСИНХРОННЫЙ TELEGRAM-БОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ БОТА ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЕГЭ ПО ПРОФИЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ.

В.К. Шубин
МБОУ лицей №3 г. Иркутска
ydmshbn@yandex.ru

В работе представлена возможность использования баз данных в асинхронном telegram-боте на примере бота-тренажера для подготовки к ЕГЭ по профильной математике.

Сначала подключается библиотека и создается бот с помощью telegram-канала BotFather. После написана первая асинхронная функция, которая отвечает на любое сообщение:

```
@dp.message_handler()
async def echosend(message: types.Message):
    await bot.send_message(message.from_user.id, 'Отвечаю на любое сообщение')

executor.start_polling(dp, skip_updates=True)
```

Далее подключается метод `default_timer` из библиотеки `timeit` и начинается написание логики для первого режима:

```
from timeit import default_timer as timer
```

Для того чтобы бот ожидал ответа пользователя была подключена машина состояний (Finite-state machine):

```
from aiogram.dispatcher.filters.state import State, StatesGroup
```

После прописан алгоритм для описания режима и его начала:

```
86 #-----Первый режим-----
87 class FSMfirst_mode(StatesGroup):
88     Answer = State()
89     @dp.message_handler(commands=['First_mode'])
90     @dp.callback_query_handler(Text(['First_mode', 'Первый режим']))
91     @dp.message_handler(Text('Первый режим', ignore_case=True))
92     async def first_mode_game(callback_query: types.CallbackQuery):
93         await bot.send_message(callback_query.from_user.id, '👋',
94                               reply_markup=ReplyKeyboardMarkup(resize_keyboard=True, one_time_keyboard=True).row(
95                                   KeyboardButton('Старт'), KeyboardButton('Назад')))
96         await bot.send_message(callback_query.from_user.id, f'В этом режиме тебе предстоит на время решить {Count_of_types} задач из '
97                               f'ЕГЭ по '
98                               f'математике на время, постарайся сделать их правильно и как можно '
99                               f'быстрее. Чтобы ответ, просто отправь мне сообщение. (Десятичные дроби пиши через '
100                              f'запятую, например "0,2", "23,5" и т.д.)\n\n '
101                              f'Когда будешь готов, нажми кнопку старт.',
102                               reply_markup=InlineKeyboardMarkup().row(InlineKeyboardButton('Старт',
103                                                                                          callback_data='Start_first_mode'),
104                                                                                          InlineKeyboardButton('Назад',
105                                                                                          callback_data='Back_to_menu'))
106     ))
```

Написан алгоритм, переводящий время, которое возвращает метод `default_timer`, в минуты:


```

#Перевод float во время
def time_result(returned_time):
    hour = returned_time // 3600 #hour
    returned_time -= hour * 3600
    minut = int(returned_time // 60) #minutes
    returned_time -= 60*minut
    second = int(returned_time) #second
    return f'{str(minut)} мин, {str(second)} сек'

```

Была подключена библиотека sqlite3 и создана первая база данных для задач, которая хранит в себе id задачи, тип, код, которым Telegram кодирует картинку, и ответ. Далее прописываются все необходимые функции для вывода картинки с задачей, сравнения ответа пользователя с ответом в базе данных, функцию для добавления/удаления задач, функцию для вывода всех картинок в базе данных и выводение задач определенного типа, чем в дальнейшем сможет пользоваться администратор бота:

```

1 import sqlite3 as sq
2 from all_kyes import bot, dp, storage
3 from aiogram.types import ReplyKeyboardMarkup
4
5 base = sq.connect('task.bd')
6 cur = base.cursor()
7
8 def sql_start():
9     global base, cur
10    if base:
11        print('Data base connect!')
12        base.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS task(id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, img TEXT, '
13                    'type TEXT, answer TEXT)')
14        base.commit()
15
16 async def sql_add_command(state):
17     async with state.proxy() as data:
18         cur.execute('INSERT INTO task (type, img, answer) VALUES(?, ?, ?)', tuple(data.values()))
19         base.commit()
20
21 async def sql_check_all(message):
22     for ret in cur.execute('SELECT * FROM task').fetchall():
23         await bot.send_photo(message.from_user.id, ret[1], f'Тип: {ret[2]}\n0Твет: {ret[-1]}')
24         await bot.send_message(message.from_user.id, '-----')
25
26
27 async def sql_check_all_task_with_type(message, answer):
28     for ret in cur.execute('SELECT * FROM task WHERE type == ?', (answer,)).fetchall():
29         await bot.send_photo(message.from_user.id, ret[1], f'Тип: {ret[2]}\n0Твет: {ret[-1]}')
30         await bot.send_message(message.from_user.id, '-----')
31
32 async def sql_read():
33     return cur.execute('SELECT * FROM task').fetchall()

```

Связывается база данных с первым режимом и начинается написание второго режима.

Во втором режиме бот выводит задания типа, который выберет пользователь, для чего были написаны новые асинхронные функции, но для задач использовалась та же база данных, что и для первого режима:

```

@dp.message_handler(commands=['Start_second_mode'])
@dp.callback_query_handler(Text('Start_second_mode'))
@dp.message_handler(Text('Готов', ignore_case=True))
▼ async def Second_mode_type(message: types.Message):
    global Trys, Count_true_ans_second_mode
    Trys = 0
    Count_true_ans_second_mode = 0
    #Создание сообщения с типами
    list_of_type_ege = types_of_ege(Count_of_types)
    message_with_types = ''
    for key, value in list_of_type_ege.items():
        message_with_types += f'{key}. {value}\n'

    #Для количества кнопок, которое меняется в зависимости от количества вариантов
    buttons = []
    for option in list_of_type_ege.keys():
        buttons.append(KeyboardButton(option))

    await bot.send_message(message.from_user.id, f'Какого типа задание будешь решать?\n\n{message_with_types}',
                           reply_markup=ReplyKeyboardMarkup(resize_keyboard=True).add(
                               *buttons))
    await FSMsecond_mode.Type_of_task.set()

```

Также было принято решение описывать все существующие типы, для этого я воспользовался официальным API сайта СДАМ ГИА – sdamgia. Теперь во втором режиме бота будет верное описание каждого типа, чтобы пользователь мог решать то, что ему нужно.

```

▼ def types_of_ege(Count_of_types, catalog_cache=None):
▼     if catalog_cache is None:
        sdamgia = SdamGIA()
        catalog = sdamgia.get_catalog('math')
    else:
        catalog = catalog_cache
    list_of_types_ege = {}
    for i in range(Count_of_types):
        list_of_types_ege[catalog[i]['topic_id']] = catalog[i]['topic_name']
    return list_of_types_ege

```

Третий режим предполагает решения теста от администратора/преподавателя, на которые дается несколько попыток, поэтому принято решение сделать отдельную базу данных для этого режима. База данных хранит в себе значения id задачи, код, которым Telegram кодирует фотографию, и ответ. После прописываются функции для создания нового теста, просмотра существующего или его удаления. Далее прописывается логика для третьего режима.

```

import sqlite3 as sq
from all_kyes import bot, dp, storage
from aiogram.types import ReplyKeyboardRemove

full_task_base = sq.connect('full_task.bd')
ft_cur = full_task_base.cursor()

def ft_sql_start():
    global full_task_base, ft_cur
    if full_task_base:
        print('Data base to tasks connect!')
        full_task_base.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS full_tasks(id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT, img TEXT, '
                                'answer TEXT)')
        full_task_base.commit()

```

Была сделана отдельная база данных, которая хранит в себе информацию о пользователях – id пользователя, время, когда пользователь в первый раз воспользовался ботом, время, за которое пользователь смог справиться с первым режимом, и его количество правильных ответов. Прописаны функции для добавления пользователя, вывода его результатов, и функция, которая позволяет узнать сколько людей пользовались ботом.

```
import sqlite3 as sq
from all_keys import bot, dp

users_base = sq.connect('users.bd')
users_cur = users_base.cursor()

def start_users_bd():
    global users_base, users_cur
    if users_base:
        print('Users base connect!')
        users_base.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS users (user_id TEXT, '
                            'created_at_time TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP, '
                            'first_mode_time TEXT, first_mode_points TEXT, '
                            'first_mode_full_points TEXT)')
        users_base.commit()
```

Далее прописаны функции для администратора бота. Чтобы управлять базами данных бота, нужно быть администратором в группе, с этим Telegram-ботом. Если это так, вам достаточно отправить в сообщении команду ‘/moderator’ в группу с ботом, после вам будет доступна настройка его базы данных.

```
class FSMAdmin(StatesGroup):
    type = State()
    photo = State()
    answer = State()

    @dp.message_handler(commands=['moderator'], is_chat_admin = True)
    async def make_change_commands(message: types.Message):
        global ID
        ID = message.from_user.id
        await bot.send_photo(message.from_user.id, photo=types.InputFile('photo/bot_bd.jpg'), caption='Теперь у вас есть '
                                                                                               'возможность управлять '
                                                                                               'базой данных!', reply_markup=button_case_admin)
        await message.delete()
```

1. https://aiogram.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/
2. <https://github.com/anijackich/sdamgia-api>
3. <https://stackoverflow.com>
4. <https://habr.com/ru/articles/>
5. Дэвид Бизли, Брайан К. Джонс «Python Книга рецептов», 2019 // под ред. Мамонов А. Е., Султанова Ф. Ф.
6. Роберт Мартин «Чистый код», 2019 // под ред. А. Кривцов

СОДЕРЖАНИЕ

Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. WPS сервис выделения связанных компонент	3
Акентьева М.С., Каргаполова Н.А., Огородников В.А. Разработка и реализация на суперкомпьютере стохастического «генератора погоды» для Байкальской природной территории	4
Акулов Н.И., Рубцова М.Н., Акулова В.В., Штельмах С.И. Терриконы и экология	5
Андреев Н.Н., Горнов А.Ю. Численное решение задачи поиска конфигураций точек на единичной сфере с минимальной энергией	9
Баркова М.В., Стрекаловский А.С. О решении задачи максимизации излучения фазированных антенных решеток	10
Бокмельдер Е.П., Горнов А.Ю. Оценка эффективности инвестиций для задачи оптимизации программ по борьбе с преступностью	11
Булатов М.В. Подходы к численному решению интегро-дифференциальных систем уравнений с тождественно вырожденной главной частью	12
Васиченко А.П. Математическое моделирование квадрокоптера с использованием дифференциальных уравнений в среде Matlab	14
Велисевич А.В., Любанова А.Ш. Асимптотическое поведение решения обратной задачи для псевдопараболического уравнения	15
Викулова Е.Р., Толстихин А.А. Подсистема определения препятствий для комплекса ТЕМАР	16
Воловиков Г.А., Балахчи А.Г. Разработка приложения для автоматического извлечения и визуализации данных произвольных групп социальной сети «ВКонтакте» на основе API	17
Гасников А.В., Аникин А.С. Численное исследование вариантов метода условного градиента	18
Гаченко А.С. Разработка методов обработки и сбора разноформатных данных в рамках цифрового мониторинга Байкальской природной территории	19
Горнов А.Ю. Проблема аппроксимации множества достижимости для управляемых систем с переменным запаздыванием	21
Горнов А.Ю. Технология глобальной оптимизации, основанная на динамике Ланжевена	23
Данилов Г.К. Реализация методов расчёта связанности сетей в пакетах программ для исследования живучести систем энергетики	24
Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Подход к созданию предметных графов знаний на основе аннотированных табличных данных	26
Доронин С.В. Линеаризация жесткости трехмерной модели тросового виброизолятора при анализе динамического поведения системы амортизации	28
Душкина Н.А., Толстихин А.А. Сшивка изображений при помощи роевых алгоритмов стохастической оптимизации	31

Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Моделирование процессов заболеваемости населения арктической зоны	32
Загородников М.В., Михайлов А.А. Восстановление текста PDF-документов	33
Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Методика численного решения начально-краевых задач для систем с переменным запаздыванием	34
Зиновьева А.Ф., Ненашев А.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Технология решения задачи оптимального управления квантовой системой с частично вычислимым функционалом	35
Gorbacheva A.V., Karamzin D.Y. Some examples of 2-order state-constrained optimal control problems and the maximum principle	36
Индущая Т.С. Численное решение вырожденных систем дифференциальных уравнений дробного порядка хессенберговой формы	37
Кензин М.Ю. Задача динамического покрытия непрерывной области распределенной группой мобильных агентов	38
Климонов М.С. Разработка поисковой системы для геопортала	40
Кондратьев В.С., Семёнов А.А. Преобразования дизъюнктивных диаграмм в $gobdd$ в трудных задачах проверки эквивалентности булевых схем	41
Косов А.А. О гироскопической стабилизации равновесий одного класса нелинейных потенциальных систем	44
Косьянов Н.О. Исследование эпидемических задач оптимального управления с нелинейными управляемыми системами	45
Кочемазов С.Е. О способах построения SAT кодировок суммы нескольких чисел	46
Кривов М.В., Дьякович М.П., Аверин А.С. Программное сопровождение оценки сбалансированного рационального питания спортсменов-юниоров	48
Кузнецов П.А. О некоторых точных решениях с нулевым фронтом для системы типа «хищник-жертва»	50
Кузьменко В.В., Аникин А.С., Горнов А.Ю. Моделирование и оценка уровня атерогенной фракции холестерина	51
Куклин С.Г., Аникин А.С. Интерактивная технология анализа данных холтеровского мониторинга	53
Лакеев А.В. Критерий обобщенной внутренней устойчивости нелинейных формаций	55
Леженин А.А., Рапута В.Ф., Амикишиева Р.А. Оценивание траекторий, высоты подъёма и плавучести дымовых шлейфов ТЭЦ по спутниковой информации	59
Леоненко Т.А., Новиков М.А. Некоторые вычислительные особенности для механических систем с частными интегралами	63
Ломов В. П. Спиновые степени свободы фермионных систем	64

Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. Взаимодействие жесткой цветозаряженной частицы с кварк-глюонной плазмой в рамках гамильтонова подхода	66
Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. Точное решение самосогласованной системы кинетических уравнений для двух взаимодействующих бесконечно узких волновых пакетов	69
Нагул Н.В., Давыдов А.В. Логический подход к построению автоматных абстракций, применяемых в задачах супервизорного управления дискретно-событийными системами	72
Насонов С.В., Балин Ю.С., Клемашева М.Г., Коханенко Г.П., Новоселов М.М., Пеннер И.Э. Аэрозольно-рамановские лидары серии «ЛЮЗА», используемые для исследований высотной структуры атмосферного аэрозоля над Байкалом	73
Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Дородных Н.О. Картирование риска лесных пожаров на основе метода RANDOM FOREST	77
Новоселов И.Е., Ведерников В.С. Развитие информационной системы учёта научной деятельности ИДСТУ СО РАН	78
Новоселов И.Е., Ведерников Владислав Сергеевич. Создание сервиса планирования занятости аудиторий и составление списка мероприятий	80
Парамонов В.В., Шигаров А.О. Анализ иерархии заголовка электронных таблиц	82
Паткина П.П., Балахчи А.Г. Исследование алгоритмов реализации систем проекционной (пространственной) дополненной реальности	85
Пененко А.В., Емельянов М.К., Русин Е.В., Цыбенова Э.В., Шаблыко В.К. Гибридный алгоритм на основе глубокого обучения и операторов чувствительности для идентификации локализованных источников выбросов	86
Поддубный И.А., Пестова Ю.В., Николайчук О.А. Извлечение информации о туристических местах Байкальского региона из постов социальных сетей	88
Раджабов А.Е. $1/N_c$ поправки в нелокальной кварковой модели	90
Рапута В.Ф., Леженин А.А. Закономерности длительного загрязнения бенз(а)пиреном атмосферного воздуха в городах Забайкалья	93
Свинин А.К. О свойствах решений уравнения Сомос-4	97
Свинин А.К. Решение задачи Коши для цепочки Вольтерра	99
Семакин И.А., Груздева Т.В. Тестирование алгоритмов k-средних в задачах кластеризации с расстоянием Махаланобиса	101
Сороковиков П.С. Низкопотенциальные металлические кластеры Гупты размерностей от 1000 до 1100 атомов	102
Сороковиков П.С. Численное исследование свойств «алгоритма кукушки» для решения многоэкстремальных задач оптимизации	103
Сороковиков П.С. Численное исследование свойств алгоритма роевого интеллекта, полученного с использованием ChatGPT, для одномерного нелокального поиска	105

Соседова Л.М., Рукавишников В.С., Вокина В.А., Ефимова Н.В. Оценка риска нарушений здоровья при пребывании в очаге задымления (эпидемиолого-экспериментальные исследования)	108
Старицын М.В., Дрегла Сидоров Л.Р. Д. Алгоритмы оптимального управления динамическими системами в пространстве мер на основе классических и нелокальных формул приращения	110
Столбов А.Б., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Допиро Н. Генерация и трансформация специализированных моделей для проблемно-ориентированного интеллектуального помощника	111
Стрельников А.Н., Горнов А.Ю. Сравнительное исследование возможностей автомобильных моделей Дубинса и Ридса-Шеппа	113
Титоренко Т.Н., Иртегов В.Д. О некоторых результатах качественного анализа уравнений движения одной неголономной механической системы	114
Токарев Д.А. Исследование операций и методы оптимизации. Разработка программного обеспечения для изучения метода нелинейного программирования. Метод наискорейшего градиентного спуска	115
Толстоногов А.А. Теоремы сравнения для эволюционных включений с максимально монотонными операторами	117
Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах	118
Тятюшкин А.И., Горнов А.Ю. Оценка времени быстрогодействия в модели переходных режимов ЭЭС	121
Тятюшкин А.И., Горнов А.Ю. Сепарабельные модельные функции для тестирования алгоритмов невыпуклой оптимизации	123
Угорская Я.А., Балахчи А.Г., Миклошевич Г.Д. Серверная реализация дополненной реальности с внедрением нейросетей	124
Феоктистов А.Г., Еделев А.В., Башарина О.Ю., Фереферов Е.С. Применение высокопроизводительных вычислений для решения задач исследования живучести энергетической инфраструктуры	125
Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Воскобойников М.Л., Башарина О.Ю. Стенд тестирования сервис-ориентированных научных рабочих процессов	126
Е.С. Фереферов, Ю.В. Авраменко, И.В. Бычков, А.С. Гаченко, В.В. Пармонов, А.К. Попова, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов. Цифровая платформа мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории.	127
Фёдоров Р.К. Метод создания композиции сервисов обработки пространственных данных.	131
Финогенко И.А. Асимптотическое поведение решений функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью: проблемы и методы исследований	135
Хандаров Ф.В., Сороковиков П.С. Сравнительное исследование алгоритмов поиска ключевых точек геометрических мотивов в орнаментальных композициях	137

Хмельнов А.Е. Реализация WPS-сервиса для получения фрагментов растров большого объёма	139
Чекан М.А. Мультиагентные средства моделирования взаимодействия микросетей	142
Шипицын М.Н., Фёдоров Р.К. Современные методы преобразования естественного языка в программный код и обратно	143
Шиховцев М.Ю., Потемкин Л.В., Ходжер Т.В., Оболкин В.А., Моложникова Е.В. Суточная и годовая изменчивость газового состава приземной атмосферы г. Иркутска и п. Листвянка	144
Щербаков Д.Ю., Горнов А.Ю., Аникин А.С. Задача аппроксимации матричных данных	148
Энхбат Р., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Исследование нелокальных свойств задачи управления в модели Дэвиса-Элзинги	149

Секция «Юные исследователи»

Алексеев А. Влияние озера Байкал на микроклимат прибрежных и отдаленных территорий	150
Галуза М.А. Проектировка алгоритмов работы WEB-приложения прогноза погоды	151
Еделев Я.А. Прикладной программный интерфейс систем управления научными рабочими процессами на основе WPS-сервисов	154
Залуцкий А.Р. Математическая модель профессионального определения	158
Иванова А.П. Освещенность и потребляемая энергия лампочек	160
Кумратов А.В., Кашкарев Д.Е. Реализация системы безопасности веб-приложений, работающих по модели SaaS	163
Сазонова А.М. Динамика финансовых пирамид: взгляд изнутри	167
Тюленев В.И. Методы решения логарифмических уравнений, неравенств и систем с параметром	169
Шабалина Е.А. Теория игр в заданиях ЕГЭ по информатике	172
Шубин В.К. Асинхронный telegram-bot с использованием баз данных на примере бота тренажёра для подготовки к ЕГЭ по профильной математике	176