

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

ЛЯПУНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

7 – 11 декабря 2020 года

Материалы конференции



Иркутск – 2020

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА

Ю.А. Авраменко, Г.М. Ружников, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
{avramenko,rugnikov,fedorov,hmelnov}@icc.ru

В выполнении проекта *"Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Сибири"*, принимают участие ряд институтов СО РАН, проводящих исследования в различных областях знаний, таких как: география, биология, медицина, информационные технологии. Всех этих участников объединяют задачи по исследованию и мониторингу различных характеристик Байкальской природной территории. При этом каждый из участников может быть заинтересован в получении информации от других участников проекта для выполнения своей части исследований. Кроме того, большинство участников заинтересованы в наличии общей информации по исследуемой территории, например, векторных карт, моделей рельефа, данных ДЗЗ. Кроме публикации данных, вкладом участника проекта может быть алгоритм обработки данных и его реализация в виде сервиса. Таким образом, необходимо реализовать инфраструктуру, автоматизирующую задачи обмена информацией в рамках проекта.

Цель создания системы: сбор информации, создаваемой участниками проекта, а также других данных по исследуемой территории, необходимых для их работы, и организация обработки этой информации. Задачи создания системы:

- сбор общей информации об исследуемой территории из внешних источников;
- хранение информации, создаваемой участниками проекта;
- распространение информации, создаваемой участниками проекта;
- организация обработки информации с использованием алгоритмов и сервисов, предложенных участниками проекта.

К общей информации об исследуемой территории относятся: векторная топооснова, данные ДЗЗ, цифровые модели рельефа различной детализации (SRTM, WorldDEM), метеоданные, и т.д.

Для векторной топоосновы сервер должен поддерживать:

- визуализацию (отображение в виде слоёв карты на геопортале);
- выкопировку – получение в требуемом формате части слоёв, для этого может потребоваться разработка конвертеров;
- геокодирование - поиск объектов на карте по значениям атрибутов.

Получаемые в результате выкопировки слои карт могут быть нужны, как для дальнейшего изучения предметными специалистами с использованием ГИС, так и в качестве исходных данных для сервисов обработки данных, например, алгоритм обработки ДЗЗ для анализа состояния ледового покрова водоёмов может ограничиваться только пикселями, относящимся к водным объектам по данным векторной карты.

В настоящее время существует много цифровых моделей рельефа различной детализации. Бесплатные модели, как правило, имеют разрешение до 1 угловой секунды на пиксель (~30м в меридианальном направлении). На платной основе можно получить более детальные данные, так данные WorldDEM имеют разрешение ~10м на пиксель. На сервере проекта должны быть собраны сведения о рельефе исследуемой территории. Сбор бесплатных данных просто облегчит их использование, а хранение данных, приобретаемых в рамках проекта, позволит их использовать всем участникам без дополнительных затрат. Информация о рельефе необходима для работы различных алгоритмов вычисления свойств исследуемой территории: уклон, экспозиция, водосборные бассейны и т.д.

Для растрового рельефа надо реализовать: визуализацию; выкопировку в требуемом формате; формирование различных производных данных для работы алгоритмов -- рельеф, освещённость склонов, водосборные бассейны и т.д.

Для данных ДЗЗ требуется реализовать:

- алгоритмы автоматизации получения новых данных;
- алгоритмы вычисления индексов (атмосферная коррекция, NDVI, NDWI и т.д.);
- алгоритмы поиска объектов на снимках, здесь возможно использование современных нейросетевых методов.

Для метеоданных нужны операции:

- автоматизации получения;
- визуализации на выбранный момент времени
- выборки данных для работы сервисов.

Ещё более важную роль, чем общая информация, получаемая из внешних источников, играют данные, создаваемые участниками проекта. В настоящее время рассматриваются следующие возможные виды таких данных: векторные карты; растровые изображения; таблицы с измерениями; потоки данных от сенсоров; измерения, выполненные в экспедиции; базы данных; трёхмерные модели местности; файлы специальных форматов. Полный перечень таких данных может быть получен только по завершении проекта.

Для реализации системы будет использован ряд уже существующих разработок ИДСТУ СО РАН: программное обеспечение геопортала, библиотеки для работы с растром большого объёма, библиотека алгоритмов для работы с триангуляциями, средства веб-публикации векторных карт, и т.д. В ходе выполнения проекта это программное обеспечение будет доработано. Кроме того, будет разработано новое программное обеспечение, например, система хранения пространственно-временных наборов данных.

На первом этапе, который выполняется в сжатые сроки, реализация проекта сосредоточена вокруг использования и доработки программного обеспечения геопортала. При этом используются уже поддерживаемые им возможности по загрузке векторных слоёв и табличных данных, инструментарий по работе с сервисами (запуску сервисов и формированию более сложных алгоритмов обработки из сервисов); реализована новая возможность загрузки космоснимков и вычисления различных индексов (например, NDVI) по космоснимкам.

На следующих этапах проекта должны быть реализованы такие возможности, как: отображение слоёв векторной топоосновы большого объёма; выкопировка фрагментов векторной топоосновы; визуализация и получение фрагментов растров большого объёма; алгоритмы получения производных растров (например, NDVI для снимков или экспозиции склона для рельефа) на лету

Для интеграции информации о значениях пространственно-распределённых и изменяющихся во времени характеристик (например, температуры поверхности, влажности, состоянии растительности), получаемых из различных источников, предложена концепция пространственно-временных наборов данных. Такие структуры данных должны позволять получать значения в точке или растры с информацией о состоянии выбранного фрагмента территории, интерполированные на любой указанный момент времени. Такие структуры данных могут частично решить вопрос с невозможностью хранить все исходные данные из-за их слишком большого объёма.

ИНТЕГРАЦИЯ JUPYTER NOTEBOOK С ПЛАТФОРМОЙ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА ОЗЕРА БАЙКАЛ*

Ю.В. Авраменко, Р.К. Фёдоров

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

Реализация цифрового мониторинга озера Байкал направлена на решение актуальных экологических проблем. Цифровой мониторинг включает квазинепрерывный сбор данных, регулярную их обработку и анализ. На текущий момент разработано большое количество методов обработки данных и машинного обучения, которые можно применить для задач цифрового мониторинга. Большинство методов реализовано на языке Python из-за:

- 1) скорости разработки, удобных структур данных и т.д.;
- 2) большого количества библиотек, наиболее популярные из них Numpy, Scipy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, библиотеки машинного и глубокого обучения SciKit-Learn, TensorFlow, Theano, Keras и т.д. [1];
- 3) наличия интегрированных сред разработки, среди которых необходимо выделить Jupyter Notebook [2] как наиболее мощный инструмент для анализа в интерактивном виде. Он объединяет программный код, математические уравнения и визуализации в виде одного документа.

Выбор или реализация нового метода обработки и анализа данных цифрового мониторинга должны базироваться на объективном сравнении работы существующих методов. Соответственно требуется выполнение этих методов на реальных данных цифрового мониторинга и проведение конкурсов с целью привлечения специалистов для выбора наилучшего метода, по аналогии с Kaggle [3] и другими системами [4]. Поэтому в рамках проекта проводится интеграция Jupyter Notebook с платформой цифрового мониторинга, которая упростит применение существующих методов. В облачной среде ИДСТУ СО РАН развернута система JupyterHub, которая является многопользовательской реализацией Jupyter Notebook. Проводится подключение системы хранения данных, каталога космоснимков, реляционных данных геопорталов и выделение вычислительных ресурсов. Планируется интеграция Jupyter Notebook с WPS сервисами с помощью создания модуля на языке Python.

Интеграция с Jupyter Notebook позволит получить наиболее современные методы обработки данных и машинного обучения в виде готового программного кода. Упростит сравнение эффективности и качества работы методов.

1. Stancin I., Jovic A. An overview and comparison of free Python libraries for data mining and big data analysis // 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO); Opatija, CROATIA, MAY 20-24, 2019, 2019. pp. 977-982
2. Project Jupyter exists to develop open-source software, open-standards, and services for interactive computing across dozens of programming languages. URL: <https://jupyter.org> (дата обращения 25.10.2020).
3. Welcome Kaggle to Google Cloud (англ.), Google Cloud Platform Blog. URL: <https://cloud.google.com/blog/products/gcp/welcome-kaggle-to-google-cloud> (дата обращения 25.10.2020).
4. Daniel Borowski The 10 Best Coding Challenge Websites for 2018. URL: <https://medium.com/coderbyte/the-10-best-coding-challenge-websites-for-2018-12b57645b654> (дата обращения 25.10.2020).

* Работа выполнена при поддержке ЦКП ИИВС ИРНОК, базового проекта АААА-А17-117032210079-1, гранта Минобрнауки России № 075-15-2020-787.

ПРИКЛАДНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ*

Ю.В. Авраменко, Р.К. Фёдоров

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

avramenko@icc.ru, fedorov@icc.ru

Открытый доступ к данным ДЗЗ упрощает проведение исследований, однако встает проблема хранения и обработки больших объемов данных, обмена полученными результатами, выбора подходящих методик. Существующие онлайн проекты, например, Google Earth Engine [1], Earth Obser System [2] предоставляют пользователям доступ к данным и некоторые инструменты обработки. Настольные ГИС, такие как ArcGIS [3], QGIS [4], GRASS GIS [5] расширяют свой функционал инструментами получения данных и интегрирования пользовательских методов. Затруднительным в данных системах является: обмен данными, внедрение новых алгоритмов, обмен методами и методиками. В ИДСТУ для проведения междисциплинарных исследований ведется разработка прикладной цифровой платформы для получения, хранения, предоставления данных ДЗЗ и интеграции инструментов их обработки.

Получение данных ДЗЗ осуществляется автоматически раз в сутки из хранилища Google Cloud. Доступные сенсоры: Landsat 5,7,8 и Sentinel-2 от USGS. Так же реализовано получение данных о погоде с метеостанций расположенных на территории Иркутской области.

Обработка данных выполняется при помощи вызова WPS сервисов через интерфейс Геопортала ИДСТУ СО РАН. Например, можно получить очищенное от облаков изображение земной поверхности, сформировать композитное изображение, рассчитать спектральный индекс или выполнить другие задачи. Реализовано несколько десятков методов обработки данных ДЗЗ.

Публикация данных осуществляется в виде изображений или таблиц. Для изображений можно применить один из предопределенных стилей, либо определить свой. Данные из таблиц, имеющие геопривязку, можно отобразить на карте.

Формирование композиций сервисов используется для задания последовательности вызовов сервисов, значений параметров. Композиции сервисов автоматизируют применение методик обработки данных ДЗЗ, в том числе включая публикацию данных.

Прикладная цифровая платформа упрощает задачу обмена данными, полученными результатами, методами и методиками за счет реализации общих инфраструктурных компонентов.

1. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/platform/> (дата обращения 25.10.2020).
2. Earth Observing System. URL: <https://eos.com/lv/> (дата обращения 25.10.2020).
3. ArcGis Online. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview/> (дата обращения 25.10.2020).
4. QGIS. URL: <https://qgis.org/ru/site/about/index.html> (дата обращения 25.10.2020).
5. GRASS GIS. URL: <https://grass.osgeo.org/learn/overview/> (дата обращения 25.10.2020).

* Работа выполнена при поддержке ЦКП ИИВС ИРНОК, базового проекта АААА-А17-117032210079-1, гранта Минобрнауки России № 075-15-2020-787.

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ЧАСТИЧНО ВЫЧИСЛИМЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ*

Е.В. Амелина

Новосибирский государственный университет

А.Ю. Горнов

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

gornov@icc.ru

При построении алгоритмов оптимизации исследователями неявно вводится гипотеза о гарантированной возможности вычисления функции и/или функционала, минимум которого надо найти, а также функций-ограничений в любых точках допустимого множества. При таких удобных свойствах вариации в алгоритмах возможно строить в любых допустимых направлениях, что и позволяет создавать высокоэффективные вычислительные схемы. Можно утверждать, что вся современная теория оптимизации опирается на справедливость указанной гипотезы. Однако вычислительная практика быстро выявила прецеденты экстремальных задач, в которых эта гипотеза несправедлива. Типичной такая ситуация является в некоторых задачах оптимального управления, где для вычисления функционала требуется решать задачу Коши (см., напр., [1]), в задаче оптимизации потенциала атомно-молекулярных кластеров Леннарда-Джонса, в задачах исследования моделей упруго-напряженных систем (см., напр., [2, 3]) и других. Многие специалисты утверждают даже, что чем ближе исследуемые модели к практике, тем больше вероятность проявления обсуждаемого эффекта. С позиций теории алгоритмов такие функции представляется уместным трактовать как частично вычислимые ([4, 5]).

В докладе обсуждается технология решения задач оптимизации, применяемая в условиях проявления «эффекта частичной вычислимости». Сложность задачи самым существенным образом зависит от геометрии множества точек, в которых оценка значения функционала затруднительна. При несложной геометрии множества в ряде случаев удается найти регуляризирующие «отсекающие условия», при сложной геометрии применяется специальная модификация метода стохастических покрытий, позволяющая игнорировать «отказы» при вычислении функционалов. Для доводки решения используется модификация метода градиентного спуска, также обладающая устойчивостью к «отказам». С применением предложенной методики удалось решить ряд задач оптимизации многослойных гибридных сосудов, применяемых в проектируемых космических орбитальных двигателях нового поколения, при числе «отказов» на стартовом этапе вычислений порядка 85%. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Маджара Т.И., Горнов А.Ю. Тестовая коллекция задач оптимального управления с вычислительными особенностями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. — №3 (23). С. 49–56.
2. Амелина Е.В., Голушко С.К., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Применение методов оптимального управления в задаче проектирования композитной кольцевой пластины // Тез. докл. XVI Байкальской школы-семинара “Методы оптимизации и их приложения”. 2014. С. 120.
3. Амелина Е.В., Голушко С.К., Горнов А.Ю., Юрченко А.В. Задачи проектирования многослойных гибридных сосудов давления // Материалы V Всерос. конф. “Безопасность и живучесть технических систем” (Красноярск, 12-16 октября 2015 г.). 2015. С. 34-40.
4. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции // М., Наука, 1986.
5. Успенский В.А., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения // М., Наука, 1987.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587

МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ*

А.С. Аникин

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

Недетерминированные алгоритмы занимают особую нишу в «алгоритмическом обществе». До настоящего времени доминирующая «вычислительная парадигма», разделяемая большинством специалистов по численному анализу, предполагала, что для решения детерминированных задач вычислительной математики следует обязательно применять детерминированные же вычислительные методы. Однако в последние годы, под давлением большого числа «вычислительных фактов», получаемых в различных задачах, даже самые упорные сторонники этой точки зрения начинают колебаться. К настоящему времени доминирующим можно считать мнение, что, чем сложнее задача, с которой предстоит «бороться» алгоритмам, тем более вероятна полезность применения стохастических элементов для конструирования эффективных алгоритмов. Разработка детерминированных алгоритмов, способных с хорошей точностью аппроксимировать поведение недетерминированных последовательностей, продолжает оставаться одной из актуальных теоретических задач прикладной математики.

В докладе обсуждается методика сравнительной оценки эффективности алгоритмов из сформированной нами коллекции генераторов псевдослучайных чисел, включающей популярные `urand` и `rand` из стандарта в C/C++, `mt19937` (Mersenne Twister, [1]), `ranlxs0`, `ranlxs1`, `ranlxs0` ([2]), `mrng` ([3]), `cmrg` ([4]), `taus`, `taus2` ([5]), `gfsr4` ([6]). Одной из самых сложных задач вычислительной математики является, на наш взгляд, задача глобальной оптимизации; эта задача и выбрана для построения методики. Методика включает двухконтурную оптимизационную процедуру, в которой и внешний контур («холодный перезапуск»), и внутренний контур («горячий перезапуск») начинаются с формируемых исследуемым генераторами новых приближений. Для локальных спусков используется традиционный вариант метода сопряженных градиентов Флетчера-Ривса с одномерным поиском Брента. В качестве минимизируемых функций использованы мультиэкстремальные модели атомно-молекулярных потенциалов Леннарда-Джонса, Морса и Гупта.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Matsumoto M., Nishimura T. Mersenne Twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator // ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol.: 8, No.: 1 (Jan. 1998), Pages 3–30.
2. Luscher M. A portable high-quality random number generator for lattice field theory calculations, Computer Physics Communications, 79 (1994) 100–110.
3. L'Ecuyer P., Blouin F., Coutre R. A search for good multiple recursive random number generators // ACM Trans. on Modeling and Comp. Simul., 3, 87–98 (1993).
4. L'Ecuyer P. Combined Multiple Recursive Random Number Generators // Operations Research, 44, 5 (1996), 816–822.
5. L'Ecuyer P. Tables of Maximally Equidistributed Combined LFSR Generators // Mathematics of Computation, 68, 225 (1999), 261–269.
6. Ziff R. Four-tap shift-register-sequence random-number generators // Computers in Physics, 12(4), Jul/Aug 1998, pp. 385–392.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КРИВОЛИНЕЙНОГО ПОИСКА ДЛЯ НЕВЫПУКЛОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.С. Аникин, Т.С. Зароднюк

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН
htower@icc.ru, tz@icc.ru

Проблема поиска решения в невыпуклых задачах оптимального управления, возникающих в различных научно-технических областях, и, как правило, характеризующихся многоэкстремальностью, продолжает оставаться актуальной. Использование современных параллельных технологий позволяет как повысить эффективность имеющихся для исследования подобных задач программных средств, так и создавать новые подходы к обработке потоков входных и возникающих в процессе работы алгоритмов данных.

В представленной работе реализована параллельная технология для исследования управляемых динамических систем, базирующаяся на использовании алгоритма криволинейного поиска. В его основе лежит построение линейных, квадратичных и кубических вариаций управления, позволяющее получить кривые на множестве достижимости управляемой динамической системы, вдоль которых и осуществляется поиск минимума целевого функционала. Для генерации стартовых и вспомогательных управлений используются алгоритмы построения квазислучайных кусочно-линейных и релейных функций, а также кусочно-полиномиальных функций (см., напр., [1]). Для решения вспомогательной задачи одномерного поиска минимального значения целевого функционала вдоль соответствующей кривой применяются методы парабол и комбинация алгоритмов золотого сечения и параболической интерполяции. Разработанный подход позволяет параллельно запускать процессы построения кривых на множестве достижимости с последующим параллельным поиском минимального значения целевого функционала.

В основе предлагаемой технологии лежит перенос процедуры интегрирования динамической системы, которая в большинстве случаев является наиболее затратной операцией, на графический ускоритель. Поскольку современные GPU содержат большое число вычислительных ядер, становится возможным запуск такой процедуры интегрирования в параллельном режиме для всех выбранных точек (управлений) на исследуемом направлении алгоритма криволинейного поиска. Поскольку все вычислительные ядра GPU работают параллельно, «стоимость» интегрирования динамической системы в 1 отдельной точке и, например, 1000 — практически не отличается. И хотя производительность отдельного ядра графического ускорителя значительно меньше, чем у ядра центрального процессора, в силу их количества (4352 для GeForce 2080, например), GPU-алгоритм демонстрирует существенно более высокую итоговую производительность на практике.

Предлагаемые в работе подходы реализованы на языке C/C++ с использованием технологии параллельного программирования NVIDIA CUDA. Вычислительные эксперименты проводились на различных системах, имеющих в своём составе ускорители NVIDIA GeForce 1060, GeForce 1070 и GeForce 2080 Ti. Результаты, полученные в режиме одинарной точности (float), продемонстрировали значительное ускорение расчётов при решении ряда тестовых невыпуклых задач оптимального управления.

1. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S., Finkelstein E.A. Extension technology and extrema selections in a stochastic multistart algorithm for optimal control problems // *Journal of Global Optimization*. 2020. Vol. 76, №3. pp. 533–543.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

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 система нелинейных уравнений с d.c. функциями:

$$f_i(x) = g_i(x) - h_i(x) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где $x \in \mathbb{R}^n$, $g_i(\cdot)$ и $h_i(\cdot)$ – выпуклые функции.

Система уравнений (1) может быть сведена к следующей оптимизационной задаче:

$$F(x) := \sum_{i=1}^m |f_i(x)| \downarrow \min_x, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad (2)$$

целевая функция которой представима в виде d.c. функции:

$$F(x) = G(x) - H(x) \downarrow \min_x, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad (3)$$

где $G(x) = 2 \sum_{i=1}^m \max\{g_i(x), h_i(x)\}$, $H(x) = \sum_{i=1}^m (g_i(x) + h_i(x))$.

Для решения задачи (3) применена теория глобального поиска для задач d.c. минимизации [1]. Разработанный на её основе подход к решению систем нелинейных уравнений состоит из двух основных этапов: специального метода локального поиска и процедуры выхода из критической точки, основанной на условиях глобальной оптимальности.

Идея специального метода локального поиска заключается в последовательном решении частично линейризованных задач следующего вида ($s = 0, 1, 2, \dots$):

$$G(x) - \langle \nabla H(x^s), x \rangle \downarrow \min_x, \quad x \in \mathbb{R}^n. \quad (4)$$

x^{s+1} – приближенное – решение задачи (4) ($x^{s+1} \in \tau\text{-Sol}(4)$).

Линеаризация произведена по базовой невыпуклости, которая генерируется функцией $H(\cdot)$. Задачи (4) оказываются выпуклыми, а значит, могут быть решены с помощью классических методов выпуклой оптимизации и современных пакетов прикладных программ (CPLEX, GUROBI и т.п.). Специальный метод локального поиска является базовым элементом в алгоритме глобального поиска и используется на каждой его итерации.

Апробация разработанного подхода к решению систем нелинейных уравнений проведена на поле известных примеров [2] с квадратичными функциями вида:

$$f_i(x) = \langle x, C_i x \rangle + \langle b^i, x \rangle + d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где $C_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – знаконеопределенные матрицы, $x, b^i \in \mathbb{R}^n$, $d_i \in \mathbb{R}$, $i = 1, \dots, m$.

Результаты сравнительного численного тестирования на системах размерности $n > 900$ показали, что предложенным методом удалось отыскать решения для всех рассмотренных тестовых систем, в то время как специализированные программные средства [3],[4] во многих случаях останавливались довольно далеко от решения, не находя его.

1. Стрекаловский А.С. Элементы невыпуклой оптимизации. Новосибирск: Наука, 2003.

2. Roose A., Kulla V., Lomp M., Meressoo T. Test Examples of Systems on Nonlinear Equations. Tallinn: Estonian Software and Computer Service Company, 1990.

3. Bellavia S., Macconi M., Morini B. STRSCNE: A Scaled Trust Region Solver for Constrained Nonlinear Equations// Computational Optimization and Applications. 2004. V. 28. P.31–50.

4. The Mathworks Inc., Matlab, R2011b.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ

А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.И. Павлов, А.Ю. Юрин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
bafbam@mail.ru, nikoly67@mail.ru, asd@icc.ru, iskander@icc.ru

Разработаны концептуальный алгоритм и архитектура инструментальной системы обеспечивающей самоорганизацию Приложения для решения мультидисциплинарных задач обоснования свойств Сложных Технических Систем. Решение рассматриваемых задач требует обработки огромных объемов данных и знаний различных научных, технических и научно-технических дисциплин. При этом всегда имеет место некоторая неопределенность знаний и их взаимосвязи.

Для решения проблемы обработки таких данных и знаний, снятия в какой-то мере неопределенности, необходимо использовать экспертные знания, а также обеспечить взаимодействие коллектива экспертов различных дисциплин, удовлетворяющее следующим требованиям:

- наличия общего информационного, математического и программного пространства;
- наличия возможностей согласования мнений групп экспертов;
- возможности обработки гетерогенной информации различного уровня структуризации и использования гетерогенного программного обеспечения (открытых программных кодов, программ, собственных разработок, гибридных систем и др.);
- повышения степени автоматизации и адаптивности процесса решения задач.

Одним из подходов для решения таких проблем, может быть искусственная самоорганизация, обеспечивающая автоматическую смену (адаптацию) программы действия (алгоритма принятия решений) при изменении свойств объекта, цели его функционирования или параметров окружающей среды [1-3].

Решение мультидисциплинарных задач осуществляется на основе алгоритма, отражающего структуру процедур. Исходные Данные (ИД) характеризуют воздействующие на объект факторы и технические требования и инициируют иерархию процедур, которые реализуются без внешнего управляющего воздействия и могут корректироваться в зависимости от результатов предыдущей процедуры.

Приложение самоорганизуется (синтезируется) инструментальной системой [4,5] на основе алгоритма в соответствии с ИД и формируемыми ими задачами, решение которых обеспечивает обоснование свойств объекта. Решение задач осуществляется соответствующими Экспертными Системами и Вычислительными Модулями (ВМ).

Самоорганизация приложения осуществляется метаправилами и правилами включенными в базы знаний [6] и реализующими соответствующие процедуры алгоритма. Метаправила и правила могут формироваться и включаться в ЭС в процессе решения задач. Через интерфейс пользователя, исходные данные вводятся в инструментальную систему (рис. 1) и инициируют создание соответствующего приложения.

Архитектура инструментальной системы позволяет пополнять список решаемых задач и методов их решения путем подключения новых ЭС и ВМ. В результате, каждый раз создается новая структура Приложения обеспечивающая обоснование свойств рассматриваемого объекта на основе исходных данных.

Предложенная архитектура, алгоритм, этапы и средства обработки информации отражают концепцию самоорганизации (автоматической реконфигурации) предметно-ориентированных программных систем. Особенности реализации инструментального средства связаны с компонентным подходом и использованием возможностей, разрабатываемой авторами платформы создания систем основанных на знаниях [7-9].

Работа выполнена при частичной поддержке грантами РФФИ №№18-07-01164, 18-08-00560, 19-07-00927.

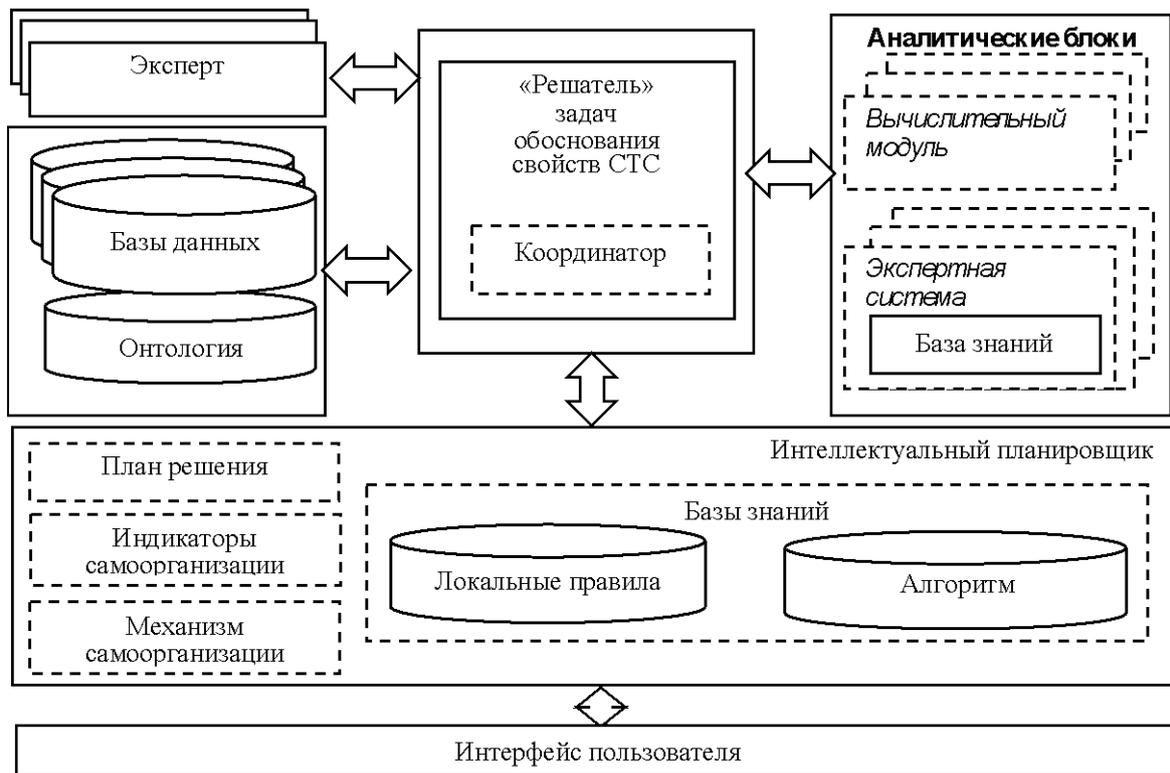


Рис. 1. Архитектура инструментальной системы самоорганизации приложений

1. Корниенко С.В., Корниенко О.А. Искусственная самоорганизация и коллективный искусственный интеллект: на пути от индивидуума к социуму // От моделей поведения к искусственному интеллекту. Под ред. Редько В.Г. Изд.2. — URSS, 2010. — 456 с.
2. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. — 240 с.
3. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. — М.: ИПИ РАН, 2014. 189 с.
4. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Павлов А.И. Принципы информационной технологии решения междисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2019. № 2 (14). С. 5-15.
5. Berman A.F., Nikolaychuk O.A. Self-organizing technology for substantiating the properties of strength reliability of complex mechanical systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 919, 052015. DOI: 10.1088/1757-899X/919/5/052015
6. Берман А.Ф. Искусственная самоорганизация и эвристический подход для обоснования свойств надежности, живучести и безопасности сложных технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2020. — №4. — С. 5-21.
7. Yurin A.Yu., 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, Vol. 35, No. 5, P. 1-23. DOI: doi.org/10.1111/exsy.12291.
8. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Stolbov A.B. The software platform architecture for the component-oriented development of knowledge-based systems // Proceedings of the 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2018.
9. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Технология создания производственных экспертных систем на основе модельных трансформаций / Под. ред. О.А. Николайчук. — Новосибирск: СО РАН-2019. 144 с. ISBN 978-5-7692-1646-6. DOI: 10.15372/TECHNOLOGY2019DNO.

ДВУХУРОВНЕВЫЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ УГРОЗЫ СПЛАНИРОВАННОЙ АТАКИ*

И.Л. Васильев, Т.В. Груздева, А.В. Ушаков

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
{vil, gruzdeva, [aushakov](mailto:aushakov@icc.ru)}@icc.ru

Наиболее печально известные террористические атаки начала века, прежде всего террористические акты 11 сентября 2001 г., и анализ действий властей, связанных с преодолением последствий, привели к значительному росту интереса к математическим методам моделирования для противодействия спланированным террористическим угрозам. Принятый во многих странах широкий спектр контртеррористических мер привел к тому, что террористические группы стали использовать намного более сложные стратегии атаки. Более того, часто отмечается [1], что основными целями атаки в настоящий момент во многих случаях становятся так называемые «мягкие цели» (например, объекты критической инфраструктуры и цепочки поставок). Отметим также, что риск вывода из строя объектов инфраструктуры в последние годы возрос из-за появления все возрастающей угрозы кибертерроризма и кибервойны, примером которой может служить атака США на российские сети электроснабжения в 2019.

В настоящей работе рассматриваются сети снабжения и предоставления услуг, выстроенные на основе известных моделей дискретных задач размещения. В качестве стратегии противодействия атакам большинство работ исследуют подход, предполагающий так называемое «укрепление» предприятий. Общим для всех таких задач является необходимость разместить в уже действующей сети снабжения ограниченное число оборонных (защитных) средств таким образом, чтобы минимизировать ущерб от возможной спланированной атаки. В настоящей работе исследуется альтернативный подход, предполагающий учитывать возможность атаки при первоначальном размещении предприятий, таким образом что потери пунктов обслуживания приведет к наименьшему из возможных ущербов.

В работе рассматриваются постановки подобного рода дискретных задач размещения в виде двухуровневых задач целочисленного линейного программирования, в которых игрок первого уровня выбирает места для обслуживания потребителей с целью минимизации суммарных затрат на обслуживание. В то же время игрок нижнего уровня стремится уничтожить часть предприятий первого игрока таким образом, чтобы максимизировать затраты на обслуживание после атаки. В работе исследуются формулировки таких задач, а также предлагаются методы поиска точных и приближенных решений. Приводятся результаты обширных вычислительных экспериментов, демонстрирующие эффективность предложенных алгоритмов.

1. Chalk P., Hoffman B., Reville R. T., Kasupski A.-B. Trends in Terrorism: Threats to the United States and the Future of the Terrorism Risk Insurance Act. Santa Monica: RAND Corporation, 2005. 97 p.
2. Vasilyev I., Ushakov A. V., Maltugueva N., Sforza A. An effective heuristic for large-scale fault-tolerant k-median problem // Soft Computing. - 2019. - V. 23, № 9. - P. 2959-296.
3. Ushakov A.V., Vasilyev I. Locating Facilities Under Deliberate Disruptive Attacks. In: Kononov A., Khachay M., Kalyagin V., Pardalos P. (eds) Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12095. Cham: Springer, 2020. PP. 359-372.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 18-07-01037.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ 3-D МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА*

А.С. Гаченко, А.Е. Хмельнов

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

В статье авторы представляют метод построения подводного трехмерного рельефа и совмещения его с наземным рельефом в условиях неполных исходных данных. Представлен алгоритм совмещения подводного рельефа с надводным на основе разнородных исходных данных с использованием триангуляции Делоне. В результате совмещения создается качественная 3D-модель рельефа. Эта модель может быть использована для создания прогнозов изменений береговой линии водохранилищ, связанных с расходами воды на гидроэлектростанции. Описанная в работе технология была использована для решения ряда практических задач и показала свою эффективность в рамках научных проектов по комплексным исследованиям оз. Байкал, реки Ангары и Братского водохранилища.

Для объединения данных о поверхностном и подводном рельефе было разработано специальное программное обеспечение с использованием алгоритмов триангуляции Делоне. Для слоев данных их роли указываются при построении триангуляции. Слои содержат информацию о рельефе местности, контурах береговой линии и подводной местности. Для работы с подводным рельефом используется информация о отметках уреза воды. Из этих данных строится вспомогательная триангуляция, из которой в дальнейшем извлекается информация о высотах, к которым привязаны контуры береговых линий и относительно которых измеряются глубины. В результате работы был обработан ряд населенных пунктов и даны оценки возможных затоплений.

Для моделирования уровня воды и совмещения надводного рельефа с подводным разработан оригинальный подход к построению цифровой модели рельефа, использующий алгоритм морфинга (трансформации) электронных карт. Для выполнения морфинга находится непрерывное преобразование плоскости, которое может совместить неточные контура береговых линий (например, лоцманских карт) с более точными (например, спутниковых снимков). Для совмещения карт используются слои береговых линий, находящиеся как на подводном так и на надводном рельефе. Преобразование применяется к различным слоям карты подводного рельефа (изобатам и отметкам глубин). Полученные в результате морфинга модели рельефа хорошо отображают существующее положение вещей.

В настоящее время для больших пространств судоходных участков рек, озер и водохранилищ рельеф дна наиболее детально и полномасштабно отображается на специальных навигационных картах (лоциях), обычно представленных в «бумажной» форме. Для их использования при построении модели рельефа применяются процедуры интерактивной оцифровки. Согласованные 3-D модели подводного с надводным рельефов практически не встречаются. Имеются лишь разрозненные данные по надводным и в малой степени по подводным рельефам. Задачи построения 3-D моделей надводного и подводного рельефов и их совмещения между собой являются актуальными и наукоемкими.

1. Бычков И.В., Никитин В.М. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природные ресурсы. 2015. № 3. С. 5-16.
2. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.

* The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No. 075-15-2020-787 for implementation of large scientific project "Fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation on the Baikal natural territory")

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ НЕВЫПУКЛОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ С ПРОГРАММНЫМ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.Ю. Горнов

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

Задачи оптимизации динамических систем традиционно рассматриваются исследователями в двух вариантах: задачи оптимального управления, в которых правые части системы обыкновенных дифференциальных уравнений включают управляющие функции, зависящие от независимой переменной – чаще всего, времени; «параметрически управляемые» задачи, включающие управления-константы – в этом классе «залегают» задачи параметрической идентификации, задачи управления по начальным состояниям, и другие. Еще одним традиционным классом исследуемых задач можно считать задачи с нефиксированным временем, в том числе, задачи оптимального быстрогодействия. Однако пока практически нет публикаций по задачам, включающим одновременно многомерные управления двух типов.

В докладе рассматривается технология решения задач оптимизации динамических систем, включающих как управления-функции, так и управления-константы. Управления-функции традиционно располагаются в правых частях системы. Управления-константы могут находиться как в правых частях, так и в начальных состояниях, а также и в оптимизируемом функционале, который предполагается невыпуклым. Заметим, что еще в классических работах ([1]) было отмечено, что задачи оптимизации по параметрам в каком-то отношении даже сложнее, чем задачи с управлениями-функциями: условие максимума функции Гамильтона-Понтрягина позволяет динамически исключать управляющие функции при движении вдоль регулярной траектории, но для управляющих параметров необходимо учитывать их влияние на будущие интервалы времени. Предложенная технология включает этап первоначального неявного сканирования множества достижимости системы, выполняемый с помощью модификации метода Лууса-Яколы, что позволяет – в не слишком сложных задачах – найти приближение в области притяжения глобального экстремума. Для улучшения найденного приближения применяется декомпозиционная алгоритмическая градиентная схема, реализующая итеративный спуск сначала по управляющим параметрам, затем по управлениям-функциям.

В качестве примера приведем решение обобщенной задачи успокоения нелинейного маятника, в которой необходимо, помимо стабилизирующего управления, найти также наилучшее начальное положение системы и его скорость. Динамика системы описывается уравнениями $\dot{x}_1 = x_2, \dot{x}_2 = u(t) - \sin(x_1), t \in [0,5]$, на управление наложено ограничение $|u(t)| \leq 1$. Необходимо найти, перебирая $u(t)$ и $x_1(0), x_2(0)$, $\min I(u, x(0)) = \min \|x(5)\|^2 + x_1^2(0) - x_2^2(0)$. Выбрана равномерная сетка дискретизации управления-функции с числом узлов 50. Найдено два глобальных решения с одинаковым оптимальным значением $I(u^*, x^*(0)) = -9.7394$ и следующей структурой управляющего воздействия: $u(t) = -1, t \in [0,3]; +1, t \in (3,5]; x(0) = (-0.4000, 3.2204)$ и $u(t) = +1, t \in [0,3]; -1, t \in (3,5]; x(0) = (0.4000, -3.2204)$.

1. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов // М., Физматлит, 1961. 391 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПК OPTCON ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СРАВНЕНИИ С КОММЕРЧЕСКИМИ ПРОГРАММНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

А.Ю. Горнов

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

Гипотеза о безоговорочном преимуществе популярных зарубежных, так называемых «коммерческих пакетов программ» оптимизации, широко распространенная в среде специалистов-теоретиков в России, к сожалению, длительное время не могла быть подтверждена или опровергнута. Приобретение западных программных технологий, требующее весьма немалых материальных затрат, не поддерживалось руководителями научных организаций; доступ к сравнительному тестированию конкурирующих разработок, по сути, был закрыт. Некоторые легкодоступные для образовательных организаций технологии математического типа (Mathlab и т.п.) оснащались откровенно слабыми оптимизационными блоками (см., напр., RIOTS95), числились, да и были, по факту, «студенческими программами» и специалистами «в расчет не брались».

В докладе обсуждаются проведенные вычислительные эксперименты, направленные на сравнение эффективности алгоритмов, реализованных в программном комплексе OPTCON ([1]), и алгоритмов траекторной оптимизации, построенных на основе ряда коммерческих программных технологий для задач конечномерной оптимизации, включающих такие известные, как DONLP2 (K.Shittkowski, Darmstadt University), LANCELOT (A.Conn, N.Gould, Ph.Toint, Oxford University), MINOS (B.Murtagh, M.Saunders, Stanford University), SNOPT (P.Gill, W.Murray, M.Saunders, Stanford University), LOQO (R.Vanderbei, Princeton University). Для сравнения использована небольшая коллекция тестовых задач оптимизации, предложенная в работе [2] и включающая задачу управления роботом («Non-Interval Robot Arm»), задачу управления дельтапланом («Hang Glider»), задачу управления самолетом («Tangent Steering Problem») и другие. Тестирование производилось на наборе вариантов дискретизации системы, опирающемся на равномерные сетки с числом узлов 10, 50, 100 и 500.

Проведенные эксперименты подтверждают заметное преимущество по скорости алгоритмов, реализованных в ПК OPTCON, над зарубежными аналогами. Такой результат не воспринимается нами как удивительный: специалисты давно заметили, что существуют алгоритмы, построенные на основе методов теории управления, которые позволяют значительно лучше учитывать специфические особенности задач траекторной оптимизации, что и приводит во многих случаях к существенно более «быстрым» расчетам. Кроме того, выполненные в работе [2] вычислительные эксперименты, которые производились не авторами программных комплексов, а независимыми специалистами из Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США, позволили выявить еще целый ряд неожиданных фактов о свойствах этих популярных пакетов при решении задач оптимизации динамических систем: экспоненциальный рост длительности расчетов от числа точек дискретизации, чрезмерно большой процент отказов и т.д. По нашим сравнительным экспериментам, программный комплекс OPTCON показал достаточно высокую надежность. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. Горнов А.Ю. Вычислительные технологии решения задач оптимального управления. Новосибирск, Наука, 2009 г.
2. Bondarenko A. S., Bortz D. M., More J. J. COPS: Large-scale Nonlinearly Constrained Optimization Problems // Mathematics and Computer Science Division, Argonne National Laboratory, Technical Report ANL/MCS-TM-237, 1999.

КОЛЛЕКЦИЯ ТЕСТОВЫХ МНОЖЕСТВ ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМЫХ АЛГЕБРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.Ю. Горнов, Т.С. Зароднюк

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

gornov@icc.ru, tz@icc.ru

Основой любой методики тестирования алгоритмов является коллекция модельных примеров. Такой подход показал себя плодотворным в самых разнообразных задачах вычислительной математики, как статических, так и динамических. В последние годы созданию коллекций тестов специалисты стали уделять особое внимание, что нашло поддержку также у «лиц, принимающих решения» в научной сфере: наличие «уникальных коллекций» объектов включается как один из важных позитивных факторов в формальные системы показателей при оценке эффективности деятельности организаций научного и научно-образовательного профиля.

В докладе обсуждается предлагаемая коллекция тестовых множеств достижимости, сформированная для управляемых алгебро-дифференциальных систем на плоскости. Для построения аппроксимаций были использованы алгоритмы, предложенные и протестированные в работах [1, 2]. Несмотря на небольшие размерности модельных примеров, они вполне могут быть использованы как прецеденты для исследования свойств алгоритмов оптимизации для управляемых систем такого типа. С другой стороны, можно надеяться, что сформированные множества достижимости могут оказаться полезным информационным объектом для специалистов, исследующих свойства самих этих моделей.

В качестве примера рассмотрена модельная управляемая система вида $\dot{x}_1 = x_2 + \cos y$, $\dot{x}_2 = u + \sin(x_1)$, $0 = x_1 + 4y$, $x_1(0) = 5$, $x_2(0) = 0$, $y(0) = -5/4$, определенная на фиксированном временном интервале. На управляющие воздействия накладываются ограничения $|u(t)| \leq 1$.

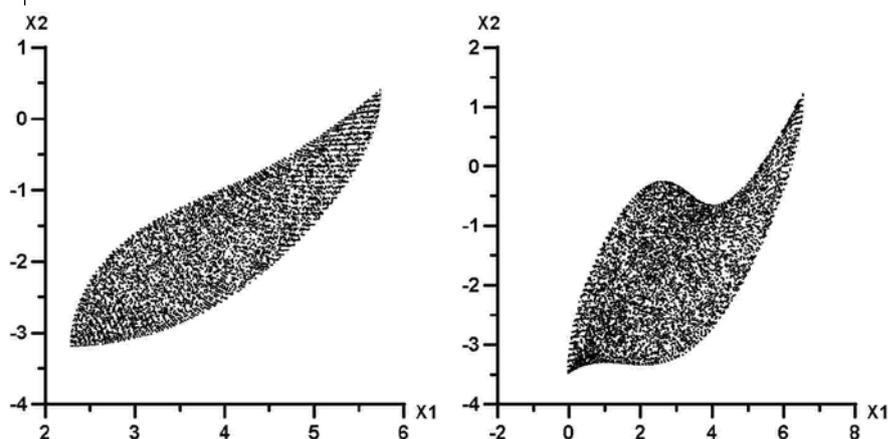


Рис. 2. Множества достижимости в модельной управляемой системе для временных интервалов $t \in [0, 2]$ (слева) и $t \in [0, 3]$ (справа)

На рис. 2 представлены множества достижимости для временных интервалов $t \in [0, 2]$ и $t \in [0, 3]$. Обсуждаются результаты вычислительных экспериментов.

1. Горнов А.Ю. Вычислительные технологии решения задач оптимального управления. Новосибирск, Наука, 2009.
2. Аникин А.С., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С., Сороковиков П.С. Алгоритм аппроксимации множества достижимости управляемой алгебро-дифференциальной системы // Материалы конф. "Ляпуновские чтения". 2018. С. 8.

НОВЫЕ АСПЕКТЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ*

С.А. Горский, А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин, И.А. Сидоров, Т.В. Сидорова

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН
gorsky@icc.ru, agf@icc.ru, kostromin@icc.ru, ivan.sidorov@icc.ru, tuyana_be@mail.ru

В процессе проведения крупномасштабных экспериментов при решении сложных задач математического моделирования зачастую используются приложения, базирующиеся на выполнении научных рабочих процессов (workflows) в различных распределенных вычислительных средах. При этом среды могут включать разнородные вычислительные ресурсы.

Приложения такого вида коррелируют с понятием пакета прикладных программ, архитектура которого становится распределенной из-за использования распределенной среды [1]. Возникают проблемы обеспечения отказоустойчивости в процессе выполнения научных рабочих процессов с учетом изменения как прикладных программ, так и ресурсов среды [2]. Однако поддержка непрерывной интеграции программного обеспечения (ПО) в распределенных пакетах прикладных программ (РППП) до сих пор является нетривиальной задачей [3].

Результаты анализа известных инструментальных средств (см., например, [4-6]), применение которых в той или иной степени возможно при разработке РППП, выявляют проблемы при реализации непрерывной интеграции прикладного и системного ПО для разнородных сред [7]. Кроме того, отдельно взятый инструмент зачастую не решает всех проблем, а совместное применение нескольких инструментов ограничено использованием различных форматов данных, программных протоколов и интерфейсов, что может привести к нарушению процесса непрерывной интеграции в будущем.

В связи с этим для улучшения качества ПО, а также времени его разработки, подготовки и проведения экспериментов должны быть расширены функциональные возможности непрерывной интеграции ПО в инструментальных средствах для его разработки и применения.

В докладе рассматриваются новые аспекты развития непрерывной интеграции прикладного и системного ПО в инструментальном комплексе Orlando Tools [8], предназначенном для создания и применения РППП.

В частности, предлагается специализированная структура репозитория пакетов, включая дерево зависимостей репозитория разных типов. Описываются особенности взаимодействия с внешними системами непрерывной интеграции. Выделяются новые функции, реализованные в Orlando Tools для реализации дополнительных системных операций (работы с взаимосвязанными репозиториями, автоматического размещения и тестирования модулей и их цепочек на ресурсах среды, хранения и обработки результатов тестирования и расчетов). Приводится новый динамический алгоритм непрерывной интеграции в Orlando Tools, поддерживающий работу с репозиториями разных типов и использующий производственную систему для определения условий выполнения системных операций. Обсуждаются вопросы конфигурирования и настройки ресурсов вычислительной среды. Приводятся примеры применения разработанных средств.

Экспериментальные результаты демонстрируют существенное сокращение временных затрат на создание РППП, отладку и тестирование прикладного ПО, а также конфигурирование разнородных ресурсов среды.

* Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-07-00097.

1. Феоктистов А.Г., Сидоров И.А., Горский С.А. Автоматизация разработки и применения распределенных пакетов прикладных программ // Проблемы информатики. 2017. № 4. С. 61–78.
2. Poola D., Salehi M.A., Ramamohanarao K., Buyya R. A taxonomy and survey of fault-tolerant workflow management systems in cloud and distributed computing environments // Software architecture for big data and the cloud. Morgan Kaufmann, 2017. P. 285–320.
3. Bungartz H.J., Reiz S., Uekermann B., Neumann P., Nagel W.E. Software for Exascale Computing-SPPEXA 2016-2019. Springer Nature, 2020.
4. Sochat V. Containershare: Open Source Registry to build, test, deploy with CircleCI // The Journal of Open Source Software. 2018. Vol. 3, № 28. P. 1–3.
5. Soni M. Jenkins Essentials. Packt Publishing Ltd, 2015.
6. Gruver G. Start and Scaling Devops in the Enterprise. BookBaby, 2016.
7. Shahin M., Babar M.A., Zhu L. Continuous integration, delivery and deployment: a systematic review on approaches, tools, challenges and practices // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 3909–3943.
8. Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Фереферов Е.С., Бычков И.В. Непрерывная интеграция функционального наполнения распределенных пакетов прикладных программ в Orlando Tools // Труды ИСП РАН. 2019. Т. 31, № 2. С. 83–96.

РОБАСТНЫЕ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ АТАК В
АЛГЕБРАИЧЕСКОМ КРИПТОАНАЛИЗЕ НА ПРИМЕРЕ
ПОИСКА ПРООБРАЗОВ ХЕШ-ФУНКЦИЙ СЕМЕЙСТВА MD*

И.А. Грибанова

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,
the42dimension@gmail.com

Алгебраический криптоанализ [1] – это направление в криптоанализе, в рамках которого неизвестный прообраз криптографической функции ищется при помощи алгоритмов решения алгебраических уравнений (как правило, над конечным полем).

Пусть $f: \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^*$ – произвольная дискретная функция, заданная некоторым полиномиальным алгоритмом A_f . Тогда этот алгоритм задает семейство функций вида $f_n: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m$ по всем $n \in \mathbb{N}$. Задача поиска прообразов для произвольной f_n (кратко «задача обращения f_n ») формулируется следующим образом: по заданному $\gamma \in \text{Range } f_n$ требуется найти такой $\alpha \in \{0,1\}^n$, что $f_n(\alpha) = \gamma$. Одно из следствий известной теоремы Кука-Левина состоит в том, что данная задача эффективно (за полиномиальное время) сводится к проблеме поиска решений совместной системы уравнений степени не выше 2 над полем $GF(2) = \langle \{0,1\}, \wedge, \oplus \rangle$. Алгоритмы, которые могут использовать для решения таких систем, составляют весьма обширное множество. Как отмечается в [1], SAT решатели являются одним из наиболее перспективных в плане практической эффективности инструментов, применимых для этой цели. SAT решатель – это сложная программа, использующая множество различных эвристик и ускоряющих работу техник. В некоторых случаях не удается даже эффективно оценить сверху время работы SAT решателя на рассматриваемой задаче. В статье [2] был предложен подход, позволяющий строить такого рода оценки для задач алгебраического криптоанализа, при решении которых используется любой полный SAT решатель. Следует отметить, что оценки из [2] выражались в секундах и, соответственно, зависели не только от рассматриваемой платформы, но и от непрогнозируемых факторов (загруженность операционной системы, работа сторонних процессов и т.п.). С учетом сказанного, актуальной выглядит задача оценивания трудоемкости криптографических атак, использующих SAT решатели, в единицах, которые не зависели бы от указанных причин. В рамках доклада будут представлены оценки такого рода, для построения которых использовался специальный инструмент Callgrind, входящий в пакет ПО Valgrind [3] и предназначенный для профилирования программ.

Вычислительные эксперименты проводились на задачах обращения криптографических хеш-функций вида MD4- k – то есть функций, заданных первыми k шагами алгоритма сжатия. Результаты, демонстрирующие слабость таких функций, были получены в недавних работах автора (например, [4],[5]). Однако, как уже говорилось, в качестве меры трудоемкости атаки использовались секунды. В настоящем докладе речь идет о трудоемкости атак, которая выражается числом обращений к кэшу процессора (число выполненных инструкций кэша). Именно для получения этих оценок используется Callgrind. Конкретно, были рассмотрены задачи обращения специальных функций $g_{MD4-48}^{\lambda_1}: \{0,1\}^{128} \rightarrow \{0,1\}^{128}$, $g_{MD4-48}^{\lambda_3}: \{0,1\}^{96} \rightarrow \{0,1\}^{128}$, $g_{MD4-48}^{\lambda_5}: \{0,1\}^{64} \rightarrow \{0,1\}^{128}$, которые были построены с использованием ослабляющих ограничений [5], накладываемых на промежуточные значения функции сжатия. Для каждой из данных функций сначала находилась лучшая по значению оценочной функции (в секундах) инверсная лазейка (Inverse Backdoor Set, IBS) [2]. Для этой цели использовались алгоритмы метаэвристической оптимизации. Конкретно,

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-07-00746 А и стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-3545.2019.5.

для минимизации оценочных псевдобулевых black-box функций использовались следующие алгоритмы: поиск с запретами (Tabu Search, TS) [6], алгоритм (1+1)-FEA, описанный в [7], а также специальный вариант генетического алгоритма из [8]. Все эти алгоритмы были интегрированы в пакет ПП PD SAT [9]. Полученные оценки сравнивались с оценками обращения рассмотренных функций методом грубой силы. С этой целью рассматриваемые функции были реализованы в виде программ на C++, а для оценивания числа выполненных инструкций кэша, полученных при выполнении этих программ, использовался Callgrind. В приведенной ниже таблице для рассмотренных функций приведены результаты, по лучшим (в смысле эффективности соответствующей атаки) IBS.

	Трудоёмкость задачи обращения в обращениях к кэшу (число выполненных инструкций кэша)		
	$g_{MD4-48}^{\lambda_1}$	$g_{MD4-48}^{\lambda_3}$	$g_{MD4-48}^{\lambda_5}$
Метод полного перебора	4.35561E+43	1.01412E+34	2.36118E+24
IBS-метод	7.86194E+43	1.28393E+33	2.41142E+22

В качестве комментария отметим, что представленные результаты демонстрируют большую эффективность IBS-атак в сравнении с атаками методом полного перебора даже для полнораундовой функции сжатия алгоритма MD4.

1. Bard G. Algebraic cryptanalysis. Springer. 2009.
2. Semenov A., Zaikin O., Otpuschennikov I., Kochemazov S., Ignatiev A. On Cryptographic Attacks Using Backdoors for SAT // In Proc. Of AAAI 2018. Pp. 6641–6648.
3. <https://valgrind.org/>.
4. Gribanova I., Semenov A. Using automatic generation of relaxation constraints to improve the preimage attack on 39-step MD4 // In Proc. Of MIPRO 2018. Pp. 1174–1179.
5. Gribanova I. Semenov A. Constructing a Set of Weak Values for Full-Round MD4 Hash Function // In Proc. of MIPRO 2020. Pp. 1469–1474.
6. Glover F., Laguna M. Tabu Search. New York, USA: Kluwer Academic Publishers, 1997.
7. Doerr B., Le H.P., Makhmara R., Nguyen T.D. Fast genetic algorithms // In: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) 2017. Pp. 777–784.
8. Pavlenko A., Semenov A., Ulyantsev V. Evolutionary computation techniques for constructing SAT-based attacks in algebraic cryptanalysis // In Proc. of EvoApplications 2019. LNCS, vol. 11454, Pp. 237–253.
9. Заикин О.С., Семёнов А.А. Применение метода Монте-Карло к прогнозированию времени параллельного решения проблемы булевой выполнимости // Вычислительные методы и программирование. 2014. Т.15. N1. С. 22–35.

ПОЗИЦИОННЫЙ ПРИНЦИП МИНИМУМА ВТОРОГО ПОРЯДКА В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В.А. Дыхта

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

Как известно [1, 2], позиционный принцип минимума является необходимым условием глобальной оптимальности программного управления (стандартного управляемого процесса) в нетрадиционном классе сравнения с позиционными управлениями спуска по функционалу. Позиционные управления сравнения являются экстремальными стратегиями, вдоль траекторий которых (в смысле Каратеодори и конструктивных движений Красовского-Субботина [3]) не возрастает линейная опорная мажоранта функционала (слабо убывающее решение неравенства Гамильтона-Якоби [4]). Хотя опорная мажоранта, и сам позиционный принцип, используют исключительно конструкции классического принципа максимума Понтрягина (его основной атрибут – решение сопряженной системы), обсуждаемое необходимое условие оказалось существенно более эффективным и алгоритмичным.

Но нетрудно указать ряд ситуаций или классов задач, в которых позиционный принцип минимума оказывается недостаточно эффективным. Отметим, например, задачи с особыми и скользящими режимами, или с раздельной зависимостью переменных управления и состояния. Именно для этих случаев (но не только) предназначен позиционный принцип минимума второго порядка, базирующийся на новой квадратичной опорной мажоранте функционала. Она зависит не только от котраектории $\psi(t)$ исследуемого процесса, но и матричного импульса Р. Габасова $\Psi(t)$ – атрибута многих необходимых условий высокого порядка локальной оптимальности (см. обзор [5]).

Сформулируем конечный результат, следуя логике статьи [2], свободной от оперирования неравенствами Гамильтона-Якоби.

Рассмотрим следующую задачу:

$$\dot{x} = f(t, x, u), \quad x(t_0) = x_0, \tag{1}$$

$$u(t) \in U, \quad t \in T = [t_0, t_1], \tag{2}$$

$$J[x, u] = l(x(t_1)) \rightarrow \min. \tag{3}$$

Здесь $U \subset R^m$ – компактное множество, все функции задачи непрерывны и дважды гладкие по x , f удовлетворяет условию сублинейного роста. Задача рассматривается на допустимом множестве Σ пар функций $(x, u) \in AC^n \times L_\infty^m$.

Для $(\bar{x}, \bar{u}) \in \Sigma$ обычным образом определим решение $\psi(t)$ сопряженной системы с граничным условием $\psi(t_1) = l_x(\bar{x}(t_1))$ и $n \times n$ матричную функцию $\Psi(t)$ посредством линейного уравнения

$$\dot{\Psi} = -H_{x\psi} \Psi - \Psi H_{\psi x} - H_{xx}, \quad \Psi(t_1) = l_{xx}(\bar{x}(t_1)),$$

в котором производные функции Понтрягина $H(t, x, \psi, u)$ вычисляются вдоль $(\bar{x}(t), \psi(t), \bar{u}(t))$. Введем вектор-функцию

$$q(t) = \psi(t) + l_x(x) - l_x(\bar{x}(t)) + [\Psi(t) - l_{xx}(\bar{x}(t))] \cdot (x - \bar{x}(t))$$

и экстремальное многозначное отображение

$$U_q(t, x) = \text{Argmin} \{ q(t, x) \cdot f(t, x, u) \mid u \in U \}.$$

Обозначим через V_q множество всех его селекторов $\{v = v(t, x)\}$, а через $X(v)$ – множество всех траекторий управляемой системы, соответствующих $v \in V_q$.

Позиционный принцип второго порядка состоит в следующем.

Теорема. Если пара (\bar{x}, \bar{u}) оптимальна в задаче (1)-(3), то выполняется неравенство

$$l(\bar{x}(t_1)) \leq l(x(t_1)) \quad \forall x \in X(v), \quad v \in V_q.$$

Подчеркнем, что эта теорема независима от позиционного принципа первого порядка и тоже усиливает классический принцип максимума.

1. Дыхта В.А. Вариационные необходимые условия оптимальности с позиционными управлениями спуска в задачах оптимального управления // Доклады Академии Наук. 2015. Т. 462, № 6. С. 653-656.
2. Дыхта В.А. Позиционные усиления принципа максимума и достаточные условия оптимальности // Труды института математики и механики УрО РАН. 2015. Т. 21. № 2. С. 73-86.
3. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Физматлит, 1974. 456 с.
4. Clarke F.H., Ledyaev Yu.S., Stern R.J., Wolenski P.R. Nonsmooth Analysis and Control Theory. New York: Springer-Verlag, 1998.
5. Gorokhovik V.V. High order necessary optimality conditions for control problem with terminal constraints // Optimal Control. Applications and Methods. 1983. V. 4. P. 103-127.

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ*

М.Л. Жарков*, А.А. Лемперт*, М.М. Павидис**

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

**Иркутский государственный университет путей сообщения

zharkm@mail.ru, lempert@icc.ru, pavidismiha1994@mail.ru

Разработка и исследование математических моделей различных участков железнодорожной сети, под которым мы понимаем совокупность железнодорожных станций (сортировочных, грузовых, пассажирских и т.д.), взаимодействующих между собой на относительно небольшой площади [1 – 3], в настоящее время имеет большое значение для повышения эффективности работы транспорта и снижения задержек по доставке грузов и пассажиров.

В общем виде участок железнодорожной сети представляет собой детерминированно-стохастическую транспортную систему, т.е. ее структура практически неизменна, а вот протекающие в ней технические процессы подвержены влиянию множества случайных факторов. Поездотоки при движении по сети проходят многоэтапное обслуживание на станциях, причем последовательность их посещения может меняться [3]. Для учета стохастической составляющей эффективным математическим аппаратом являются вероятностные модели, в частности, на основе теории массового обслуживания. Однако применение наиболее изученных – однофазных – систем массового обслуживания (СМО) не позволяет учесть сетевую структуру транспортной системы. В данном случае требуются более сложные схемы.

Ранее с использованием аппарата теории массового обслуживания авторами было выполнено математическое описание работы сортировочных железнодорожных станций, характеризующихся линейной многоуровневой структурой и сложным входящим поездотоком [4]. Они рассматриваются как отдельные, независимые объекты, т.е. как микрологистические системы. Для описания структуры применяются многофазные СМО [5], в которых фаза отображает работу отдельной функциональной подсистемы (уровня обслуживания). Для моделирования поездотока используется модель *ВМАР* [6], благодаря чему возможно учитывать наличие нескольких подпотоков с различными характеристиками. Это позволило обобщенно отобразить устройство и функционирование выбранного объекта. Дальнейшее развитие предложенного подхода произошло за счет использования сетей массового обслуживания (СеМО) [5]. В итоге стало возможным детально отобразить маршрут движения вагонов (заявок) в системе с нелинейной иерархической структурой, а также описать новый класс станций – грузовые железнодорожные станции [7].

Сеть массового обслуживания представляет собой совокупность конечного числа S СМО (узлов), в которой заявки переходят из одного узла в другой, в соответствии с маршрутной матрицей P [5]. Для описания железнодорожных станций применяются открытые СеМО, так как поездотоки зарождаются и поступают в нее из внешнего источника. Тогда, если принять его в качестве дополнительного узла с индексом 0, то маршрут заявки определяется стохастической матрицей $P = \|P_{ij}\|$. Здесь P_{0j} и P_{j0} – вероятности поступления заявки из источника в j -й узел и покидания заявкой сети после обслуживания в j -м узле, соответственно; P_{ij} – вероятность перехода заявки из узла i в узел j ($i, j = \overline{1, S}$). Очевидно, что в этом случае $\sum_{j=0}^S P_{ij} = 1$ ($i = \overline{0, S}$), $P_{00} = 0$.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00724, РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-47-383002.

В рамках развития методических принципов моделирования работы транспортных систем на основе теории массового обслуживания авторами предлагается совершенствование указанного подхода за счет использования различных дисциплин принятия заявок (полный отказ и полное принятие) и его применение для математического описания движения поездопотоков на участках железнодорожной сети, т.е. для описания мезологистических систем.

Математическая модель движения поездопотоков на участках железнодорожной сети мы строим в два этапа: вначале описываем входящий поток, а затем его обработку.

Поездопоток в своем составе имеет различные категории поездов, т.е. несколько подпотоков с различными параметрами. Отдельный состав мы рассматриваем как группу заявок, так как, во-первых, число вагонов в нем может изменяться при движении по железнодорожной сети, во-вторых, вагоны занимают определенные пути на станции. Для описания потока заявок используем *ВМАР*-поток [6], который позволяет объединить несколько входящих потоков с различными характеристиками в единую структуру.

Для описания участков железнодорожной сети применяются открытые СеМО, в которых узлы соответствуют железнодорожным станциям, а корреспонденция между ними определяется маршрутной матрицей P . Каждый узел имеет m каналов – число путей, по которым поезда покидают станцию, и очередь максимальной длины n – ее вместимость. Распределения времени обслуживания групп заявок и их размеров в канале, вообще говоря, свои. Группы принимаются в узлы СеМО согласно одной из дисциплин: полный отказ – если не хватает места хотя бы для одной заявки из группы, то теряется вся группа заявок; полное принятие – если есть место хотя бы для одной заявки из группы, то принимается вся группа. В системе предусмотрены временные блокировки работы каналов узла при отсутствии свободных мест для принятия заявок в последующем узле.

В докладе будет представлено математическое описание участка железнодорожной сети Иркутской области в виде СеМО с *ВМАР*-поток и имитационная модель для ее исследования.

1. СП 237.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования. Утв. приказом Минтранс России № 208 от 02.12.2014 г.
2. СП 225.1326000.2014. Станционные здания, сооружения и устройства. Утв. приказом Минтранс России № 331 от 06.07.2015 г.
3. Правдин Н.В., Шубко В.Г. Железнодорожные станции и узлы. М.: Маршрут, 2005. 502 с.
4. Жарков М.Л., Павидис М.М. Моделирование железнодорожных станций на основе сетей массового обслуживания // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып. 3. / под ред. И. В. Бычкова, А. Л. Казакова. Иркутск : Издательство ИГУ, 2020. С. 79–84.
5. Bolch G., Greiner S., De Meer H., Trivedi K. Queueing Networks and Markov Chains: Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications. NY: John Wiley & sons, 2006. 896 p.
6. Дудин А.Н., Клименок В.И. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. Мн.: БГУ, 2000.
7. Казаков А.Л., Павидис М.М. Об одном подходе к моделированию работы сортировочных станций // Транспорт Урала. 2019. №1. С. 29–35.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ДИССИПАЦИИ ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ*

Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин

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

Задачи исследования свойств наноструктур все чаще формулируются на основе динамических моделей, что означает переход от исследования атомно-молекулярных структур к исследованию нанопроцессов. Кроме того, наблюдается естественный прогресс перехода от применения удобных для аналитического анализа линейных моделей к моделям в виде систем нелинейных дифференциальных уравнений. Наряду с повышением мощности и гибкости используемого аппарата возрастает сложность изучения новых моделей и, особенно, их количественных характеристик, в общем случае, описываемых невыпуклыми функционалами (см. напр., [1]).

В докладе обсуждается одна из классических задач исследования наноструктур – задача диссипации двухатомных молекул [2, 3]. Динамика процесса описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Рассмотрены два вида управляющих воздействий в правых частях системы, соответствующие двум основным вариантам «лазерного типа управления». В продолжение работ, выполненных в [4], расширен набор исследуемых моделей: к атомно-молекулярным потенциалам Морса, Леннарда-Джонса, Гупта, Саттон-Чена, рассмотренным ранее, добавлены потенциалы Дзугутова, Z1 и Z2 (см., напр., [5]). Для исследования сформированных моделей применялась методика, основанная на аппроксимации множества достижимости системы. Учет специфических особенностей задачи позволил построить технологию аппроксимации, опирающуюся на форму варьирования управления, способную создать достаточно плотные наборы кривых, покрывающих множество достижимости.

Вычислительные эксперименты продемонстрировали совпадение результатов расчетов по предложенному алгоритму с результатами, полученными ранее проверенными методами [6].

1. Печень А.Н. Некоторые математические задачи управления квантовыми системами // Квантовые вычисления, Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз., 138, ВИНТИ РАН, М., 2017, 76–81.
2. Goggin M.E., Milonni P.W. Driven Morse oscillator: Classical chaos, quantum theory and photodissociation // Phys. Rev. A. 1988. V. 37. № 3. P.796. 145.
3. Yu C., Gross P., Ramakrishna V., Rabitz H., Mease K., Singh H. Control of classical regime molecular objectives – applications of tracking and variations of the theme // Automatica. 1997. № 9. P. 1617–1633.
4. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Численное решение траекторных задач молекулярной динамики для систем с различными типами потенциалов // Материалы конференции "Ляпуновские чтения". 2019. С. 24.
5. The Cambridge Energy Landscape Database. URL: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>.
6. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Метод “криволинейного поиска” глобального экстремума в задаче оптимального управления // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. — №3 (23). С. 19–26.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ АППРОКСИМАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ВОРОНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОЛИЭДРАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин

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

В работе представлен подход к решению задач аппроксимации интегральной воронки для полиэдрально управляемых динамических систем с применением технологий параллельного программирования. В его основе лежит редукция исходной задачи к задачам фазового оценивания и оптимального управления с ограничениями более простой структуры [1]. Используемые для исследования вспомогательных задач обобщенные методы стохастической аппроксимации множества достижимости управляемой динамической системы опираются на построение управлений в виде функций релейного типа с заданным числом точек переключения. Для параллельной генерации допустимых управлений из полиэдрального множества с последующим интегрированием дифференциальной системы с целью нахождения соответствующего значения функционала применялись современные графические ускорители.

Разработанная коллекция тестовых задач с полиэдральными управляющими воздействиями использована для тестирования предложенных алгоритмов и программных средств. В качестве примера на рис.3 представлены последовательные аппроксимации множества достижимости для управляемой динамической системы

$$\dot{x}_1 = 0.1u_2 \sin x_2, \quad \dot{x}_2 = u_1 - |x_1|^{x_1}$$

с фиксированными начальными значениями траектории $x_1(t_0) = 0.1$, $x_2(t_0) = 0$ и полиэдральными ограничениями на управления: $u(t) \in U_i, i = \overline{1,5}$.

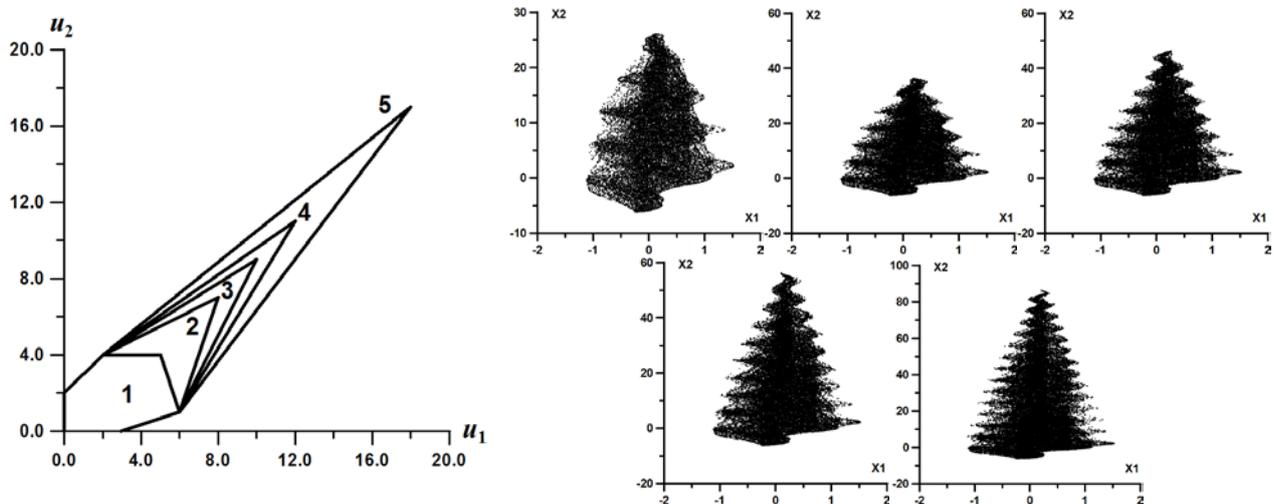


Рис. 3. Полиэдральные множества допустимых управлений и аппроксимация множества достижимости управляемой динамической системы для рассмотренного семейства тестовых задач

Проведенные вычислительные эксперименты опирались на использование ускорителей NVIDIA GeForce и продемонстрировали эффективность разработанного подхода для решения задачи аппроксимации интегральной воронки динамической системы с полиэдральным управлением.

1. Zarodnyuk T., Gornov A., Anikin A., Sorokovikov P. Numerical Technologies for Investigating Optimal Control Problems with Free Right-Hand End of Trajectories // Advances in Intelligent Systems and Computing: 6th International Conference on Computer Science, Applied Mathematics and Applications (ICCSAMA 2019; Hanoi; Viet Nam; December 19-20, 2019). 2020. Vol. 1121. pp. 99-105.

О КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ В ИНТЕГРИРУЕМЫХ СИСТЕМАХ

В.Д. Иртегов, Т.Н. Титоренко

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

irteg@icc.ru

В докладе представлены результаты исследования колебательных движений в консервативных системах. Для анализа задачи применялись обобщения метода Рауса-Ляпунова и средства компьютерной алгебры.

Как известно, задача качественного анализа интегрируемых систем по Пуанкаре сводится к выделению особых множеств и исследованию их окрестности. Для выделения особых множеств используются необходимые условия экстремума комбинаций первых интегралов, для исследования их окрестности -- достаточные. При таком подходе некоторой спецификой обладают колебательные движения систем. Они, как правило, доставляют стационарное значение нелинейным комбинациям первых интегралов и условия их устойчивости налагают ограничения на постоянные первых интегралов. В докладе приведен ряд примеров исследования колебательных движений.

В качестве первого примера рассмотрим семейство уравнений:

$$\begin{aligned}
 \dot{s}_1 &= \alpha(r_1 s_2 - \alpha r_2 r_3) - (\beta r_3 - s_2)(\beta r_2 + s_3), \\
 \dot{s}_2 &= (\alpha^2 + \beta^2)r_1 r_3 - (\alpha r_1 + \beta r_2)s_1 + (\alpha r_3 - s_1)s_3, \\
 \dot{s}_3 &= (\beta r_1 - \alpha r_2)s_3, \\
 \dot{r}_1 &= r_2(\alpha r_1 + \beta r_2 + 2s_3) - r_3 s_2 - x((\alpha^2 + \beta^2)r_3 s_2 + \beta s_3^2), \\
 \dot{r}_2 &= r_3 s_1 - r_1(\alpha r_1 + \beta r_2 + 2s_3) + x((\alpha^2 + \beta^2)r_3 s_1 + \alpha s_3^2), \\
 \dot{r}_3 &= r_1 s_2 - r_2 s_1 + x(\beta s_1 - \alpha s_2)s_3
 \end{aligned} \tag{1}$$

Эти уравнения допускают первые интегралы:

$$2H = s_1^2 + s_2^2 + 2s_3^2 + 2(\alpha r_1 + \beta s_2)s_3 - (\alpha^2 + \beta^2)r_3^2 = 2h,$$

$$V_1 = r_1 s_1 + r_2 s_2 + r_3 s_3 = c_1, \quad V_2 = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + x(s_1^2 + s_2^2 + s_3^2) = c_2,$$

$$V_3 = k_1 k_2 = c_3, \quad \text{где}$$

$$k_1 = s_3, \quad k_2 = (s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + x(\beta s_1 - \alpha s_2)^2)s_3 + 2(\alpha s_1 + \beta s_2)(r_1 s_1 + r_2 s_2)$$

$$s_3(\alpha r_1 + \beta r_2)(\alpha r_1 + \beta r_2 + 2s_3) - (\alpha^2 + \beta^2)(2(r_1 s_1 + r_2 s_2) + r_3 s_3)r_3.$$

Здесь α, β – некоторые постоянные, x – произвольный параметр. При $x > 0, x = 0$ и $x < 0$ уравнения (1) соответствуют уравнениям Эйлера на алгебрах Ли $so(4), e(3)$ и $so(3,1)$. При $x = 0$ эти уравнения описывают движение твердого тела в идеальной жидкости, а при $x = 1$ – твердого тела с полостями, заполненными вихревой несжимаемой жидкостью, или четырехмерного волчка.

Легко проверить, что решение

$$s_1 = s_2 = r_3 = 0 \tag{2}$$

системы (1) доставляет стационарное значение нелинейной связке интегралов

$$K = H^2 - V_3.$$

Дифференциальные уравнения рассматриваемой системы на инвариантном многообразии (2) имеют вид

$$\dot{s}_3 = (\beta r_1 - \alpha r_2)s_3, \quad \dot{r}_1 = r_2(\alpha r_1 + \beta r_2 + 2s_3) - x\beta s_3^2, \quad \dot{r}_2 = -r_1(\alpha r_1 + \beta r_2 + 2s_3) + x\alpha s_3^2$$

и определяют маятниковоподобные колебания системы.

Аналогичная ситуация имеет место в случае Ковалевской движения твердого тела в постоянном поле тяжести. Здесь уравнения стационарности нелинейной связки интегралов $K = H^2 - V$, где

$$H = 2(p^2 + q^2) + r^2 + 2x_0\gamma_1 = 2h, \quad V = (p^2 - q^2 - 2x_0\gamma_1)^2 + (2pq - x_0\gamma_2)^2 = k^2,$$

имеют решение

$$p = q = \gamma_2 = 0. \quad (3)$$

Дифференциальные уравнения на этом инвариантном многообразии записываются так:

$$2\dot{q} = x_0\gamma_3, \quad \dot{\gamma}_1 = -q\gamma_3, \quad \dot{\gamma}_3 = -q\gamma_1.$$

Движения на многообразии (3) устойчивы при условии $h < 0$. Последнее означает, что колебания тела будут устойчивыми, когда центр масс тела находится ниже точки подвеса.

1. Голубев В.В. Лекции по интегрированию уравнений движения тяжелого твердого тела около неподвижной точки. М.: ГИТ-ТЛ, 1953.
2. Sokolov V.V., Wolf T. Integrable quadratic classical Hamiltonians on $so(4)$ and $so(3,1)$ // J. Phys. A: Mat. Gen. 2006. Vol. 39, № 8. P.1915-1926.

ПОСТРОЕНИЕ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО
УРАВНЕНИЯ С ОЦЕНКОЙ ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ
В ОДНОМ ЧАСТНОМ СЛУЧАЕ*

Казаков А.Л., Кузнецов П.А.

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

В докладе рассматривается краевая задача для нелинейного параболического уравнения теплопроводности [1] (фильтрации [2,3]) со степенным источником

$$u_t = uu_{xx} + u_x^2 / \sigma + \alpha u^\beta, \quad (1)$$

$$u(t, x)|_{x=a(t)} = 0. \quad (2)$$

Здесь $u(t, x)$ – неизвестная функция, $\alpha \neq 0$, $\sigma > 0$ и $\beta \geq 1$ – константы, $a(t)$ – достаточно гладкая функция, причем $a'(0) \neq 0$. Решение задачи (1), (2) представляет собой тепловую [1] (фильтрационную [3]) волну, распространяющуюся по нулевому фону с конечной скоростью. Геометрически такие волны представляют собой два решения уравнения (1) (тривиальное $u \equiv 0$ и возмущенное $u \geq 0$), непрерывно состыкованные вдоль линии $x = a(t)$, определяющей фронт волны.

Настоящая работа продолжает большой цикл публикаций авторов, посвященных исследованиям подобного рода решений. Данные исследования проводились в классе аналитических функций и включали в себя построение решения в виде ряда Тейлора и доказательство его сходимости без определения радиуса $R > 0$ [4,5]. Основным результатом настоящей работы состоит в том, что в случае линейного фронта $a(t) = \mu t$, $\mu > 0$ – const («бегущая волна») для (1), (2) получены оценки радиуса сходимости ряда, в виде которого представлено решение, что позволяет оценить область его существования.

С помощью замены $u = v(z)$, $z = x - \mu t$ задачу (1), (2) можно привести к виду

$$vv'' + (v')^2 / \sigma + \mu v' + \alpha v^\beta = 0, \quad (3)$$

$$v(0) = 0, \quad v'(0) = -\sigma\mu. \quad (4)$$

К краевому условию (4) мы добавляем новое равенство $v'(0) = -\sigma\mu$, гарантирующее существование возмущенной неотрицательной составляющей тепловой волны [6]. Чтобы максимально упростить полученную задачу Коши, порядок ОДУ (3) понижается подстановкой $p = v'(h)$, $h = v^\beta$. Задача принимает вид

$$\beta h p p' + p^2 / \sigma + \mu p + \alpha h = 0, \quad (5)$$

$$p(0) = -\mu\sigma. \quad (6)$$

Отметим, что редукция к ОДУ – стандартный прием исследования задач о построении тепловых волн в виде точных решений [5,6].

Решение строится в виде ряда Тейлора

$$p(h) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n \frac{h^n}{n!}, \quad p_n = p^{(n)}(0) \quad (7)$$

согласно известной процедуре [4,5]. Из краевого условия (6) следует, что $p_0 = -\mu\sigma$. Коэффициент p_1 получим, положив в уравнении (5) $h = 0$:

$$p_1 = \alpha / \mu(1 + \sigma\beta). \quad (8)$$

Остальные коэффициенты p_n ряда (7) определяются n -кратным дифференцированием уравнения (5) при $h = 0$. На n -м шаге имеем формулу

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-47-380001, а также РФФИ и Министерства по науке и технологиям Тайваня в рамках научного проекта № 20-51-S52003.

$$p_n = \frac{1}{\sigma\mu(1+n\sigma\beta)} \sum_{k=1}^{n-1} [1+\sigma\beta(n-k)] C_n^k p_k p_{n-k}, \quad n \geq 2. \quad (9)$$

Таким образом, коэффициенты p_n однозначно определены. Формулы (8), (9) можно существенно упростить.

Лемма. Коэффициенты (8), (9) можно представить в виде

$$p_n = \sigma\mu(1+\sigma\beta) \left[\frac{\alpha}{\sigma\mu^2(1+\sigma\beta)} \right]^n \frac{n!q_n}{1+n\sigma\beta}, \quad n \geq 1, \quad (10)$$

где q_n определяются из рекуррентного соотношения

$$q_1 = q_2 = 1, \quad q_n = (1+\sigma\beta) \sum_{k=1}^{n-1} \frac{q_k q_{n-k}}{1+k\sigma\beta}, \quad n \geq 2.$$

Лемма легко доказывается подстановкой (10) в (9).

Пусть теперь $\alpha > 0$ и $\sigma\beta \geq 1$. В этом частном случае авторам удалось получить оценки радиуса сходимости ряда (7). Индукцией по n можно доказать следующее утверждение.

Утверждение. Для всех $n \in \mathbb{N}$ справедливо двойное неравенство

$$1 \leq q_n \leq M^{n-1} / n, \quad (11)$$

в котором

$$M = (1+\sigma\beta) \left(1 + \frac{2}{1+2\sigma\beta} + 2 \max_{n \geq 2} \frac{\ln(n/2)}{1+n\sigma\beta} \right).$$

Замечание. В частном случае $\sigma\beta = 1$ можно существенно уточнить константу $M \approx 2,818$.

Используя оценку (11), а также известную формулу Адамара $R = 1/L$, $L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{p_n / n!}$, можно показать, что радиус сходимости ряда (7) лежит в интервале

$$R \in \left(\frac{\sigma\mu^2(1+\sigma\beta)}{\alpha M}; \frac{\sigma\mu^2(1+\sigma\beta)}{\alpha} \right).$$

Таким образом, полученные оценки обладают достаточной степенью точности, что критично при использовании построенного решения для верификации численных расчетов [4]. Подводя итог, отметим, что подобные исследования радиуса сходимости в задаче (1), (2) ранее не проводились.

1. Самарский А.А., Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Михайлов А.П. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений. М.: Наука, 1987.
2. Vazquez, J.L. The Porous Medium Equation: Mathematical Theory. Oxford: Clarendon Press, 2007.
3. Сидоров, А.Ф. Избранные труды: Математика. Механика. М.: Физматлит, 2001.
4. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F. Analytical and numerical construction of heat wave type solutions to the nonlinear heat equation with a source // Journal of Mathematical Sciences. 2019. V. 239, No. 2. P. 111–122.
5. Казаков А.Л. О точных решениях краевой задачи о движении тепловой волны для уравнения нелинейной теплопроводности // Сибирские электронные математические известия. 2019. Т. 16. С. 1057–1068.
6. Казаков А.Л. Построение и исследование точных решений со свободной границей нелинейного уравнения теплопроводности с источником // Математические труды. 2019. Т. 22, № 2. С. 54–75.

СТРАТЕГИИ ЭКСТРЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ
ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГРУПП МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ КОММУНИКАЦИИ

М.Ю. Кензин

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

Эффективность использования связанной группы мобильных роботов при выполнении динамических поисково-обследовательских миссий во многом определяется ее способностью оперативно реагировать возникающие изменения. Так, например, один из членов группы может обнаружить потенциально опасный объект, ставящий под угрозу успех миссии. В случае высокой важности новой информации робот должен прекратить свою текущую деятельность и оповестить остальных роботов, которые, по мере информирования, также будут прекращать свою работу и присоединяться к задаче оповещения. Дополнительным ограничением здесь становится малая дальность коммуникационных каналов связи, когда обмен данными может быть осуществлен только между физически близкими роботами. Приведем математическую постановку задачи.

Пусть регион выполнения миссии будет представлен в виде связного невзвешенного графа $G = (V, E)$ из m вершин. Миссию выполняет группа из n идентичных роботов a_1, a_2, \dots, a_n , каждый из которых перемещается по графу G на дискретном времени $T = \{T_0, T_1, T_2, \dots\}$ по заранее известному маршруту $R_i = \{r_{i0}, r_{i1}, \dots, r_{iq}\}$ (путь на графе). Под состоянием робота i в j -ый момент времени понимается совокупность его местоположения и статуса $a_i(T_j) = \langle v_{ij}, s_{ij} \rangle$. Статус $s_{ij} \in \{0, 1\}$ отражает, является ли робот i уже оповещенным в T_j или еще нет. В начале миссии все роботы не оповещены $s_{i0} = 0, i = 1, \dots, n$. В некоторый момент (без потери общности, в T_1) случайный робот x получает важную информацию $s_{x1} = 1$. С этого момента любой оповещенный робот может:

1. Прекращать движение по своему маршруту и становиться объектом управления;
2. Оповещать других роботов в пределах общей вершины $s_{kj} = \max_{i=1, \dots, n} \{s_{ij} \mid v_{ij} = v_{kj}\}$.

Таким образом, задача группового оповещения заключается в поиске такого маршрута-решения в матричной форме $A = \{a_i(T_j)\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, f$, что:

1. В начале миссии роботы являются неоповещенными $a_i(T_0) = \langle r_{i0}, 0 \rangle, i = 1, \dots, n$;
2. Неоповещенные роботы действуют согласно своим маршрутам $\{v_{ij} = r_{ij} \mid s_{ij} = 0\}$;
3. Случайный робот x становится оповещенным в момент $T_1, a_x(T_1) = \langle r_{x1}, 1 \rangle$;
4. Уже оповещенные роботы оповещают других роботов в общей вершине;
5. Все роботы должны быть оповещены не позднее времени $T_q, \prod_{i=1}^n s_{if} = 1, f \leq q$;
6. Предпочтительными являются решения с наименьшим значением $f, \min_f(A)$.

Для решения задачи оповещения в докладе предлагается использование набора конструктивных эвристик для построения начальных групповых маршрутов приемлемого качества, а также процедура локального поиска для их дальнейшего улучшения. Для представления решения используется оригинальная схема кодирования маршрута в виде списка команд. Осуществлена программная реализация предложенного подхода, а также разработан ряд алгоритмических схем для генерации набора реалистичных тестовых задач. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ БЕНТОСА В РАЙОНЕ СБРОСОВ БАЙКАЛЬСКОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА

Д.Е. Копылов
Иркутский государственный университет
38dunn@gmail.com

Рассмотрена динамика популяции бентоса в окрестности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Используются данные за период с 1970 по 1991 год, предоставленные ФГБОУ ВО «ИГУ» [1]. Решалась проблема выбора наиболее адекватной модели и ее параметров для описания динамики развития популяции. В простейшем случае не принималось во внимание возрастное распределение членов популяции и пространственные координаты. Единственной независимой переменной в этом случае является время наблюдения.

Первоначально исследовалась классическая модель Ферхюльста [2], описываемая обыкновенным дифференциальным уравнением

$$\frac{dN}{dt} = aN\left(1 - \frac{N}{K}\right),$$

где функция N определяет численность популяции, a – коэффициент роста, K – предельное количество особей. Определение коэффициентов осуществлялось методом наименьших квадратов средствами языка Python 3.8 с использованием модуля `scipy.optimize`. Адекватного подбора коэффициентов добиться не получилось, что свидетельствует либо о неправильном выборе простейшей модели, либо о том, что определяемые параметры нельзя считать константами. Недостаточное количество данных наблюдений не позволило рассмотреть эту же модель, в которой коэффициент роста являлся бы не постоянной величиной, а функцией, значения которой зависят от сезонов года.

В то же время, воспользовавшись сплайн функцией `interp1d` из модуля `scipy.interpolate` в Python 3.8 и изучив полученные графики, было обнаружено, что популяция совершает колебания, что характерно для модели типа «хищник-жертва». Система двух обыкновенных дифференциальных уравнений (для численности бентоса и абстрактного хищника), описывающих процесс в данном случае достаточно адекватно соответствует данным наблюдений. Данный вывод также не противоречит реальным данным за многолетний период (серия библиографических источников приведена в [3]).

В качестве дальнейшего направления исследований можно обозначит выяснение вопроса о том, связаны ли колебания численности с реальными хищниками (рыбами) или выбросами Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, активно работавшего в рассматриваемый период.

1. База данных № 2020620736: Пространственно-временная изменчивость популяций олигохет в районе сброса промышленных очищенных сточных вод Байкальского целлюлозно-бумажного комбината: заявл. 03.04.2020; опубл. 29.04.2020 / А. В. Аргучинцев, Л.С. Кравцова, В. С. Кедрин, И. М. Добринец.
2. Алексеев В.В., Крышев В.И., Сазыкина Т.Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
3. Аргунова Ю.Ю. История рыбного хозяйства байкальского региона в отечественной историографии // Иркутский историко-экономический ежегодник: 2014. Иркутск, 2014. С. 505-508.

ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЯМИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ*

Р.О. Костромин, А.Г. Феоктистов

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

kostromin@icc.ru, agf@icc.ru

В настоящее время остается актуальной проблема автоматизации процессов доставки программного обеспечения и настройки ресурсов в распределенной вычислительной среде для обеспечения функционирования цифровых двойников [1]. Такие двойники активно используются при решении сложных научных и прикладных задач, в том числе при оценке эффективности использования природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов. Последнее обусловлено тем, что сегодня внедрение и широкое использование экологически чистых технологий чрезвычайно важно во всем мире [2]. Ожидается, что применение цифровых двойников на основе их координации в процессе решения общей задачи повышения эффективности работы оборудования позволит продемонстрировать преимущества перехода от существующих технологий к природосберегающим.

Как правило, цифровые двойники характеризуются достаточно сложной многоуровневой структурой. Жизненный цикл цифрового двойника требует многократного ресурсоемкого выполнения его компонентов (моделей, модулей, приложений) в плане вычислительной нагрузки. В связи с этим двойники зачастую функционируют с использованием высокопроизводительных вычислительных сред как для анализа текущей производительности исследуемых объектов, так и для прогнозирования результатов работы объекта в будущем. Поэтому для поддержки жизненного цикла цифрового двойника требуется регулярное обновление и настройка его программного обеспечения, а также ресурсов среды. Осуществление этих процессов коррелирует с методологией и практикой повышения эффективности разработки и эксплуатации программного обеспечения, объединенными общим названием DevOps [3].

Сегодня мы можем использовать достаточно широкий спектр хорошо известных инструментов для управления конфигурацией программного обеспечения [4, 5]. Однако для большинства из них остается ряд нерешенных проблем [6]. Среди них выбор ресурсов, подготовка и запуск виртуальных машин, а также поддержка модульных приложений для гетерогенных распределенных вычислительных сред.

В связи с этим в докладе предложен новый инструмент для реализации следующих системных процессов: подготовки, отладки, доставки, тестирования, развертывания и настройки виртуализированного программного обеспечения цифровых двойников. В настоящее время авторы доклада участвуют в разработке таких двойников для анализа эффективности функционирования природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов, расположенных в пределах Байкальской природной территории [7].

В отличие от других подобных средств, предложенный инструмент основан на интегрированном применении методов и инструментов инженерии знаний, мультиагентных технологий, концептуального и сервис-ориентированного программирования, а также администрирования гибридных распределенных вычислительных систем. Предполагается, что такие системы могут включать как персональные ресурсы, так и ресурсы центров коллективного пользования, грид-систем, облачных или туманных платформ.

Предварительные результаты экспериментов по применению прототипа предложенного инструмента показали существенное улучшение выполнения вышеупомянутых процессов.

* Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 19-07-00097 и № 20-47-380002.

1. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 108952–108971.
2. Krawczyk J.B., Lifran R., Tidball M. Use of coupled incentives to improve adoption of environmentally friendly technologies // Journal of Environmental Economics and Management. 2005. Vol. 49, № 2. P. 311–329.
3. Kim G., Humble J., Debois P., Willis J. The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations. IT Revolution Press, 2016.
4. Chef Infra. URL: <https://www.chef.io/products/chef-infra/> (дата обращения 18.11.2020).
5. SaltStack. URL: <https://www.saltstack.com/> (дата обращения 18.11.2020).
6. Quigley J.M., Robertson K.M. Configuration Management: Theory, Practice, and Application. Auerbach Publications, 2015.
7. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Сидоров И.А. Сервис-ориентированный подход к имитационному моделированию процессов функционирования инфраструктурных объектов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 9. С. 76–81.

ПОДСИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Д. Костылева¹, В.В. Парамонов^{1,2}

¹ Институт математики и информационных технологий Иркутского государственного университета

² Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
deltaonshape@mail.ru, slv@icc.ru

Формирование и представление различного рода статистических отчетов является неотъемлемой частью оценки работы любого медицинского учреждения. Сотрудники отдела ракового регистра Иркутского областного онкологического диспансера создают большое количество таких отчетов. Часть из них генерируется автоматически различными информационными системами, однако часть заполняется вручную используя данные, полученные в других отчетах и их калькуляцию. Одним из таких отчетов является массив показателей оперативных данных, отражающий статистику заболеваемости и смертности на территории Иркутской области, включая стандартизованные и грубые показатели [1]. Таблица оперативных данных (ТОД) представляет собой статистические показатели ежемесячной заболеваемости и смертности населения по административным субъектам Иркутской области. Всего по каждой территории заносятся порядка 840 показателей, на основе которых по формулам вычисляются еще 360 показателей. Всего с ТОД рассматривается 45 административных территорий (районы, некоторые города) Иркутской области. Таким образом формирование ТОД является очень трудоемким и трудозатратным процессом. Учитывая, что источником для первичных данных являются другие отчеты при переносе информации нередки ошибки и опечатки. С целью автоматизации формирования ТОД и исключения возможных ошибок был разработан программный модуль, обеспечивающий сбор данных, их обработку и выгрузку в виде электронной таблицы. Источником информации для ТОД является база данных (БД) медицинской информационной системы Популяционный раковый регистр (МИС ПРР) областного онкологического диспансера. В связи с этим подсистема формирования ТОД является модулем фреймворка Django на котором работает МИС ПРР.

Состав разработанного программного модуля включает модель, описывающую структуру таблицы, в которой хранятся сведения об отчёте и данные; набор SQL-запросов для извлечения информации из баз данных; файл обработки данных в котором реализована бизнес-логика; шаблон HTML-страницы для взаимодействия с пользователем (выбор необходимых критериев для отчёта); CSS-таблицы, для задания стилей оформления элементов HTML-страницы; набор JQuery сценариев для помощи пользователю в выборе критериев (блокировка ненужных полей для определенного вида отчёта, вывод сообщений для упрощения заполнения БД и т.д.); шаблон отчета ТОД.

Разработанный модуль позволяет выгружать оперативные данные по количеству злокачественных новообразований (ЗНО): выявленных впервые, посмертно, активно, на различных стадиях заболевания. Модуль также позволяет вывести число пациентов: стоящих на учете на момент формирования запроса или более пяти лет, умерших, в т.ч. трудоспособного возраста. В отчет включается информация о проводимом лечении и/или об отказах/противопоказаниях; проводится автоматический подсчет процентных соотношений пациентов: по стадиям, трудоспособного возраста, выявленных активно.

Чтобы получить готовый отчёт, сформированный в формате Excel, необходимо реализовать взаимодействие пользователя с формой, с помощью которой выбирается месяц и год, территория/поликлиника. Учитывая данный выбор, формируются запросы, на основе которых создается большая часть отчёта, который в свою очередь заносится в отдельную таблицу в БД. Запись содержит информацию о выбранных ранее на форме полях, авторе

запроса, дате запроса и собственно массив данных в формате json^{*}, в котором хранятся все значения, полученные на основе запросов к БД числа.

Чтобы в дальнейшем провести различные вычисления с, ранее созданными, данными и выгрузить готовый отчет необходимо работать с записями в таблице БД. Для этого из записи в таблице берется готовый json и преобразовывается в числовой массив, для того чтобы сделать запись в ячейки таблицы Excel.

В результате работы была создана подсистема формирования ТОД. Автоматизация процесса позволила значительно сократить трудоемкость и повысить качество составления отчетов.

1. Петрова Г.В., Грецова О.П., Каприн А.Д., Старинский В.В. Характеристика и методы расчета медико-статистических показателей, применяемых в онкологии М.: ФГБУ МНИОИ им. П.А. Герцена Минздрава РФ, 2014. – 40 с.

* <https://www.json.org>

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АДАПТАЦИЯ SAT-ПОДХОДА НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ КРИПТОАНАЛИЗА ШИФРА VIVIUM*

С.Е. Кочемазов

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

Одним из популярных подходов к решению задач в рамках алгебраического криптоанализа является подход, основанный на применении алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости (SAT) [1]. Он предполагает представление оригинальной задачи криптоанализа в виде примера SAT и использование современных SAT-решателей для решения полученного примера.

Интересная особенность SAT-подхода состоит в том, что существует несколько различных способов построения SAT кодировки оригинальной задачи. Помимо этого, есть много вариантов реализаций SAT-решателей, которые демонстрируют различную эффективность на отдельных классах тестов. Дополнительно, большинство SAT-решателей позволяют управлять значениями широкого набора числовых параметров используемых алгоритмами эвристик. Всё это позволяет рассматривать задачу адаптации SAT-подхода для конкретной задачи (или узкого класса задач): подобрать такие способы кодирования в SAT и соответствующие им конфигурации SAT-решателей, которые будут обеспечивать максимальную эффективность.

В докладе будет рассмотрен вариант такого рода адаптации в контексте задачи криптоанализа шифра Vivium. Будут представлены результаты большого набора вычислительных экспериментов, в рамках которых проведен анализ эффективности современных SAT-решателей, победивших в соревнованиях соответствующих алгоритмов последних лет, на рассматриваемом классе тестов, эффективности нескольких разных кодировок задачи криптоанализа, построенных при помощи системы Transalg [2], а также рассмотрены некоторые сочетания параметров эвристик решателей, отличные от таковых по умолчанию.

1. Handbook of Satisfiability / edited by Biere A., Heule M., Van Maaren H., Walsh T. IOS Press, 2009.
2. A. Semenov, I. Otpuschennikov, I. Gribova, O. Zaikin, S. Kochemazov Translation of Algorithmic Descriptions of Discrete Functions to SAT With Applications to Cryptanalysis Problems // Logical Methods in Computer Science. 2020. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 29:1-29:42.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-07-00746.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АПОЛИПОПРОТЕИНА А1 В КРОВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ШЕПАРДА*

В.В. Кузьменко

Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования

А.Ю. Горнов, А.С. Аникин

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

kw7@mail.ru, gornov@icc.ru

Построение моделей физиологических и патологических процессов позволяет более полно понять описываемый объект и взаимодействие его компонентов. Кроме того, моделирование дает возможность выявить ключевые факторы, воздействием на которые можно направлено повлиять на изучаемый объект или процесс. Выбор метода моделирования определяется структурой рассматриваемого объекта, размером анализируемой обучающей выборки, наличием выпадающих значений, ресурсоемкостью расчетов.

Нарушения липидного обмена являются ведущими звеньями патогенеза атеросклероза и ожирения, приводят к развитию патологии сердечно-сосудистой системы, головного мозга, множеству других патологических состояний, которые существенно влияют на качество и продолжительность жизни. Современные методы лечения позволяют снизить распространенность сердечно-сосудистых заболеваний. Эти мероприятия наиболее эффективны при начальных нарушениях метаболизма, до появления клинических симптомов. Именно поэтому так важна ранняя диагностика нарушений обмена липидов и, соответственно, возможно более раннее начало терапии выявленных нарушений. Метод Шепарда, предложенный для конструирования моделей на основе экспериментальных данных более 50 лет назад (см., напр., [1, 2]), до настоящего времени, к сожалению, мало известен практикующим специалистам по машинному обучению. Наши предыдущие попытки его применения оказались достаточно успешными ([3]), однако в данной задаче возможностей классического метода Шепарда по точности аппроксимации оказалось недостаточно. Для построения модели была использована обобщенная модель Шепарда, предложенная в работе [4]. Модификация заключалась во введении дополнительного аддитивного параметра в знаменатели дробных функций, что позволило, при разумном использовании этой новой степени свободы, избежать строгой интерполируемости в узлах сетки.

Созданные и протестированные модели концентрации аполипопротеина А1 позволили значительно, в несколько раз, уменьшить погрешности расчетов, и могут служить основой для практического использования, в частности, для оценки отсутствующих данных при обследовании пациентов.

1. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proc. of the 23 ACM National Conference, ACM Press, 1968, pp. 517–524.
2. Caira R., Dell'Accio F. Shepard-Bernoulli operators // J. Mathematics of computation, 257(2), 2007, pp. 299–321.
3. Kuz'menko V.V., Gornov A.Yu., Anikin A.S. Estimation of mathematical models accuracy for calculation of LDL-cholesterol concentration // Advances in Intelligent Systems Research, volume 158, 2018, pp. 111–116.
4. Gornov A.Yu., Finkelstein E.A. The Shepard's method for approximating tabularly defined functions and its generalization // Proc. 9th International conf. Intellectualization of information processing, 2012, pp. 98–101.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБРАТНОГО ВОЛНОВОГО ОПЕРАТОРА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА В ВИДЕ КОНТИНУАЛЬНОГО ИНТЕГРАЛА ПО ТРАЕКТОРИЯМ

Ю.А. Марков, М.А. Маркова, А.И. Бондаренко
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
markov@icc.ru, markova@icc.ru, 370omega@mail.ru

Предлагается подход к построению представления функции Грина массивной векторной частицы во внешнем поле Максвелла в виде интеграла по траекториям в парасуперпространстве в рамках формализма Дэффина-Кеммера-Петье (ДКП) с деформацией [1] и параферми-статистики порядка $p = 2$, основанной на алгебре Ли ортогональной группы $SO(2M+2)$.

Основным моментом данного подхода является связь между деформированной ДКП-алгеброй и расширенной системой парафермионных трilinearных соотношений для операторов уничтожения и рождения a_k^\pm и оператора a_0 , возникающего в качестве некоторого дополнительного элемента алгебры $SO(2M+2)$ [2]. В терминах генераторов ортогональной группы $SO(2M)$ L_{kl} , M_{kl} и N_{kl} находится явный вид a_0 , правильно воспроизводящий действие данного оператора на вектора состояния конечномерного пространства Фока:

$$a_0 = -\frac{1}{4}(\{L_{12}, M_{12}\} + \{N_{12}, N_{21}\} - \{N_1, N_2\}).$$

Задача построения функции Грина $D_{\alpha\beta}(x', x; z)$ массивной векторной частицы в электромагнитном поле

$$\left[A \left(\frac{i}{\varepsilon^{1/3}(z)} \eta_\mu(z) D_\mu + mI \right) \right]_{\alpha\gamma} D_{\gamma\beta}(x', x; z) = \delta_{\alpha\beta} \delta(x' - x)$$

сводится к построению оператора, обратного к

$$\hat{L}(z) \equiv \hat{L}(z, \hat{D}) = \hat{A} \left(\frac{i}{\varepsilon^{1/3}(z)} \hat{\eta}_\mu(z) \hat{D}_\mu + m\hat{I} \right).$$

Оператор $\hat{L}^{-1}(z, \hat{D})$ действует в пространстве \mathcal{H} прямого произведения двух представлений – квантовой алгебры Гейзенберга для импульса и координаты частицы и операторной спин-1 ДКП-алгебры

$$[\hat{p}_\mu, \hat{x}_\nu] = i\delta_{\mu\nu}, \quad \hat{\beta}_\mu \hat{\beta}_\nu \hat{\beta}_\lambda + \hat{\beta}_\lambda \hat{\beta}_\nu \hat{\beta}_\mu = \delta_{\mu\nu} \hat{\beta}_\lambda + \delta_{\lambda\nu} \hat{\beta}_\mu.$$

Функция Грина $D(x', x; z)$ является матричным элементом оператора $\hat{L}^{-1}(z, \hat{D})$ в базисе $\{|x\rangle; x \in R^4\}$ и в матричном базисе $\{|\alpha\rangle; \alpha = 1, 2, \dots, 10\}$:

$$D_{\alpha\beta}(x', x; z) = \langle x', \alpha | \hat{L}^{-1}(z, \hat{D}) | x, \beta \rangle.$$

Для построения представления в виде интеграла по траекториям используется базис парафермионных когерентных состояний. Вводится в рассмотрение парафермионные операторы рождения и уничтожения $a_1^\pm = \hat{\beta}_1 \pm i\hat{\beta}_2$, $a_2^\pm = \hat{\beta}_3 \pm i\hat{\beta}_4$, для которых пространство \mathcal{H} может быть реализовано как пространство Фока. Когерентные состояния определяются как функции параграсмановых чисел ζ_k [3]:

$$|(\xi)_2\rangle = \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{l=1}^2 [\xi_l, a_l^+]\right) |0\rangle, \quad \langle(\bar{\xi})_2| = \langle 0 | \exp\left(\frac{1}{2} \sum_{l=1}^2 [\bar{\xi}_l, a_l^-]\right),$$

так что $a_k^- |(\xi)_2\rangle = \xi_k |(\xi)_2\rangle$, $\langle(\bar{\xi}')_2| a_k^+ = \langle(\bar{\xi}')_2| \bar{\xi}'_k$.

Определяется обобщенный оператор Гамильтона, явно зависящий от времени, и оператор эволюции:

$$\hat{H}(\tau; z) = \hat{H}(z) + \frac{1}{2} \left[\chi, \hat{L}(z) \right] + \frac{1}{4} \tau \left[\chi, \hat{L}(z) \right]^2, \quad 0 \leq \tau \leq T; \quad \hat{U}(T, 0) = e^{-i \int_0^T ds \hat{H}(\tau; s)}.$$

Процедура построения конечнократных аппроксимаций искомого континуального представления в соответствующем фазовом пространстве задается посредством вставки разложений единицы в ядро оператора эволюции с учетом парасупервремени [4]:

$$\langle x', \bar{\xi}' | \hat{U}(T, 0) | x, \xi \rangle = \langle x', \bar{\xi}' | \hat{I}_x^{(N)} \hat{I}_p^{(N)} \hat{U}(\tau_N, \tau_{N-1}) \hat{I}_x^{(N-1)} \hat{I}_p^{(N-1)} \hat{U}(\tau_{N-1}, \tau_{N-2}) \hat{I}_x^{(N-2)} \hat{I}_p^{(N-2)} \dots \hat{U}(\tau_2, \tau_1) \hat{I}_x^{(1)} \hat{I}_p^{(1)} \hat{U}(\tau_1, \tau_0) | x, \xi \rangle.$$

Это, в свою очередь, приводит к задаче вычисления следующего матричного элемента в базисе парафермионных когерентных состояний:

$$\langle (k)'_p | \hat{U}(\tau_k, \tau_{k-1}) | (k-1)_x \rangle \square \\ \square \langle (k)'_p | 1 - i\Delta\tau \left\{ \hat{H}(z) + \frac{1}{2} \left[\chi, \hat{L}(z) \right] + \frac{1}{8} (\tau_k + \tau_{k-1}) \left[\chi, \hat{L}(z) \right]^2 \right\} | (k-1)_x \rangle.$$

На основе найденных матричных элементов операторов a_0, a_0^2 , коммутаторов $[a_0, a_n^\pm]$, $[a_0^2, a_n^\pm]$ и произведения $\hat{A}[a_0, a_n^\pm]$, где $\hat{A} \equiv \exp\left(-i \frac{2\pi}{3} a_0\right)$, находится явный вид матричного элемента вклада, линейного по ковариантным производным D_μ , в операторе Гамильтона $\hat{H}(\tau; z)$ [5].

1. Markov Yu.A., Markova M. A., and Bondarenko A. I. Third order wave equation in Duffin-Kemmer-Petiau theory: Massive case // Physical Review D. – 2015. – V. 92. – P. 105017(24).
2. Geyer B. On the generalization of canonical commutation relations with respect to the orthogonal group in even dimensions // Nuclear Physics B. – 1968. – V. 8. – P. 326 – 332.
3. Omote, M., Kamefuchi S. Para-Grassmann algebras and para-Fermi systems // Lettere al Nuovo Cimento. – 1979. – Vol. 24. – P. 345 – 350.
4. Борисов Н. В., Кулиш П. П. Интеграл по траекториям в суперпространстве для релятивистской спинорной частицы во внешнем калибровочном поле // Теоретическая и Математическая Физика. – 1982. – Т. 51. – С. 335 – 343.
5. Markov Y. A., Markova M. A. and Bondarenko A. I. Path integral representation for inverse third order wave operator within the Duffin-Kemmer-Petiau formalism. Part I. // Journal of High Energy Physics. – 2020. – No. 94. – P. 1 – 34.

ГАМИЛЬТОНОВ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ БОЗОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.А. Марков, М.А. Маркова, Н.Ю. Марков

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
markov@icc.ru, markova@icc.ru, informer578@gmail.com

Рассмотрена задача построения гамильтоновой теории для коллективных продольно-поляризованных бесцветных возбуждений (плазмонов) в высоко-температурной глюонной плазме. Для решения этой задачи применяется общий формализм построения теории волн в нелинейных средах с дисперсией, развитый В.Е. Захаровым [1, 2]. В рамках данного подхода в [3] получено в явном виде специальное каноническое преобразование в форме функционального разложения по квази-частичным операторам рождения и уничтожения плазмонов $\hat{c}_k^{\dagger a}$ и \hat{c}_k^a :

$$\hat{a}_k^a = \hat{c}_k^a + \int \frac{d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2}{(2\pi)^6} \left[V_{k,k_1,k_2}^{(1)a a_1 a_2} \hat{c}_{k_1}^{a_1} \hat{c}_{k_2}^{a_2} + V_{k,k_1,k_2}^{(2)a a_1 a_2} \hat{c}_{k_2}^{\dagger a_2} \hat{c}_{k_1}^{a_1} + V_{k,k_1,k_2}^{(3)a a_1 a_2} \hat{c}_{k_1}^{\dagger a_1} \hat{c}_{k_2}^{\dagger a_2} \right] + \dots,$$

позволяющее упростить исходный гамильтониан взаимодействия мягких глюонных возбуждений, исключив из него вклад третьего порядка по взаимодействию \hat{H}_3 и тем самым определить новый эффективный гамильтониан четвёртого порядка \hat{H}_4 , описывающий процесс упругого рассеяния двух бесцветных плазмонов друг на друге

$$\hat{H}_4 = \frac{1}{2} \int \frac{d\mathbf{k} d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 d\mathbf{k}_3}{(2\pi)^{12}} \tilde{T}_{k,k_1,k_2,k_3}^{a a_1 a_2 a_3} \hat{c}_k^{\dagger a} \hat{c}_{k_1}^{\dagger a_1} \hat{c}_{k_2}^{a_2} \hat{c}_{k_3}^{a_3} (2\pi)^3 \delta(\mathbf{k} + \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3),$$

где

$$\tilde{T}_{k,k_1,k_2,k_3}^{a a_1 a_2 a_3} = T_{k,k_1,k_2,k_3}^{a a_1 a_2 a_3} - 2 \frac{U_{-(k_2+k_3),k_2,k_3}^{b a_2 a_3} U_{-(k+k_1),k,k_1}^{*b a a_1}}{\omega_{-(k+k_1)}^l + \omega_k^l + \omega_{k_1}^l} - 2 \frac{V_{k_2+k_3,k_2,k_3}^{b a_2 a_3} U_{k+k_1,k,k_1}^{*b a a_1}}{\omega_{k+k_1}^l - \omega_k^l - \omega_{k_1}^l} - \dots$$

— эффективная амплитуда плазмон-плазмонного взаимодействия, $U_{k_1,k_2,k_3}^{a_1 a_2 a_3}$ и $V_{k_1,k_2,k_3}^{a_1 a_2 a_3}$ — эффективные трехплазмонные вершины взаимодействия. Эффективная амплитуда $\tilde{T}_{k,k_1,k_2,k_3}^{a a_1 a_2 a_3}$ имеет простую диаграммную интерпретацию, которая представлена на рис. 4.

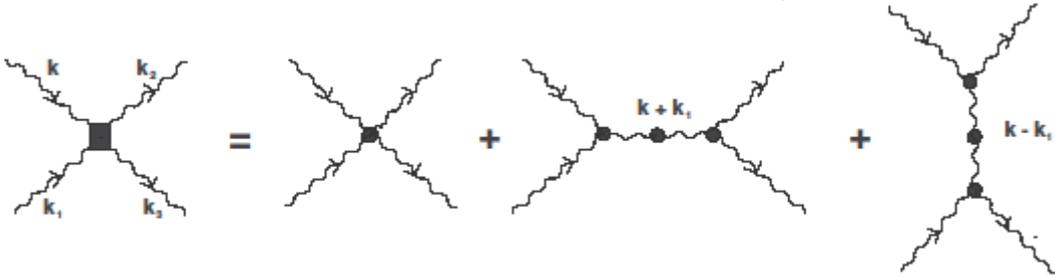


Рис. 4. Матричный элемент для четырехплазмонного распада. Волновые линии обозначают плазмоны

Введена в рассмотрение корреляционная функция следующего вида: $\langle \hat{c}_k^{\dagger a} \hat{c}_{k'}^b \rangle = \delta^{ab} (2\pi)^3 \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}') N_k^l$, где N_k^l — функция распределения числа плазмонов. Дан анализ корреляционных функций четвёртого и шестого порядка по операторам рождения и уничтожения плазмонов $\hat{c}_k^{\dagger a}$ и \hat{c}_k^a , удовлетворяющим уравнениям Гейзенберга

$$\frac{\partial \hat{c}_k^{\dagger a}}{\partial t} = i [\hat{H}, \hat{c}_k^{\dagger a}], \quad \frac{\partial \hat{c}_k^a}{\partial t} = i [\hat{H}, \hat{c}_k^a]$$

и каноническим коммутационным соотношениям для бозе-операторов

$$[\hat{c}_k^a, \hat{c}_{k'}^{\dagger b}] = \delta^{ab} (2\pi)^3 \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}'), \quad [\hat{c}_k^a, \hat{c}_{k'}^b] = [\hat{c}_k^{\dagger a}, \hat{c}_{k'}^{\dagger b}] = 0.$$

Здесь $[\ ,]$ обозначает коммутатор, $\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_4$ — оператор Гамильтона с учетом взаимодействия,

$$\hat{H}_0 = \int \frac{d\mathbf{k}}{(2\pi)^3} \omega_k^l \hat{c}_k^{\dagger a} \hat{c}_k^a$$

– гамильтониан невзаимодействующих плазмонов и $\omega_{\mathbf{k}}^l \equiv \omega^l(\mathbf{k})$ – дисперсионное соотношение для плазмонов, удовлетворяющее соответствующему дисперсионному уравнению $\text{Re } \varepsilon^l(\omega, \mathbf{k}) = 0$.

Развитый подход использован далее для построения кинетического уравнения бозе-газового типа, которое описывает процесс упругого рассеяния мягких бозонных возбуждений в чисто глюонной плазме и эффект так называемого нелинейного затухания Ландау. Данное уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dN_{\mathbf{k}}^l}{dt} \equiv \frac{\partial N_{\mathbf{k}}^l}{\partial t} + \mathbf{v}_{\mathbf{k}}^l \cdot \frac{\partial N_{\mathbf{k}}^l}{\partial \mathbf{x}} = -\hat{\mathcal{V}}\{N_{\mathbf{k}}^l\}N_{\mathbf{k}}^l - N_{\mathbf{k}}^l\Gamma_d[N_{\mathbf{k}}^l] + (1 + N_{\mathbf{k}}^l)\Gamma_i[N_{\mathbf{k}}^l],$$

где $\mathbf{v}_{\mathbf{k}}^l = \frac{\partial \omega_{\mathbf{k}}^l}{\partial \mathbf{k}}$, $\hat{\mathcal{V}}\{N_{\mathbf{k}}^l\} = \frac{4}{d_A} \int \frac{d\mathbf{k}_1}{(2\pi)^3} N_{\mathbf{k}_1}^l \text{Im} \left[\tilde{T}_{\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}, \mathbf{k}_1}^{a_1 a_2 a_3} \right]$ – групповая скорость продольных колебаний и декремент нелинейного затухания Ландау, соответственно. Обобщенная скорость распада Γ_d и обратная скорость регенерации Γ_i представляют собой нелинейные функционалы плотности числа плазмонов:

$$\begin{aligned} \Gamma_d[N_{\mathbf{k}}^l] &= \int dT^{(3)} w_4(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1; \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3) N_{\mathbf{k}_1}^l (1 + N_{\mathbf{k}_2}^l) (1 + N_{\mathbf{k}_3}^l), \\ \Gamma_i[N_{\mathbf{k}}^l] &= \int dT^{(3)} w_4(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1; \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3) (1 + N_{\mathbf{k}_1}^l) N_{\mathbf{k}_2}^l N_{\mathbf{k}_3}^l. \end{aligned}$$

Здесь мера интегрирования определена как

$$dT^{(3)} \equiv (2\pi)^4 \delta(\omega_{\mathbf{k}}^l + \omega_{\mathbf{k}_1}^l - \omega_{\mathbf{k}_2}^l - \omega_{\mathbf{k}_3}^l) \delta(\mathbf{k} + \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3) \frac{d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 d\mathbf{k}_3}{(2\pi)^9},$$

а функция $w_4(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1; \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3) = \frac{6}{d_A} \tilde{T}_{\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3}^{a_1 a_2 a_3} \tilde{T}_{\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3}^{*a_1 a_2 a_3}$ представляет собой вероятность упругого рассеяния двух плазмонов, $d_A = N_c^2 - 1$ – размерность цветовой группы.

Проведено детальное сравнение эффективной амплитуды плазмон-плазмонного взаимодействия, найденной в рамках классической гамильтоновой теории, и соответствующего матричного элемента, вычисленного в рамках высокотемпературной квантовой хромодинамики, что позволило определить границы справедливости чисто классического подхода, представленного в работе. Определены в явном виде трёхплазмонные и четырёхплазмонные вершинные функции в рамках приближения жёстких температурных петель и аппроксимация эффективного глюонного пропагатора в плазмонном полюсе. Намечены возможные пути обобщения гамильтонового описания на случай сильновозбужденной горячей глюонной плазмы.

1. Захаров В. Е. Гамильтоновский формализм для волн в нелинейных средах с дисперсией // Известия Вузов. Радиофизика. – 1974. – Т. 17. – С. 431-453.
2. Захаров В. Е., Кузнецов Е.А. Гамильтоновский формализм для нелинейных волн // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – № 11. – С. 1137-1167.
3. 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.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В СИСТЕМЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ADSKIT *

О.А. Николайчук, А.И. Павлов, А.Б. Столбов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
nik@icc.ru, asd@icc.ru, stolboff@icc.ru

Система ADSkit (Agent Development Support kit) [1] реализует многоэтапную последовательность действий по созданию прототипов агентных имитационных моделей (АИМ), выполняемых специалистами в области агентного моделирования, экспертами в предметной области, инженерами по знаниям и программистами. Оригинальной отличительной особенностью процесса разработки АИМ с использованием ADSkit является формализации основных элементов АИМ в форме множества взаимосвязанных информационных моделей. При этом всё множество моделей явно разделено на три типа:

- модели для описания структурной составляющей АИМ [2];
- модели для описания поведенческой составляющей АИМ [2].
- модели для описания параметров вычислительных экспериментов.

Информационные модели третьего типа, определяющие особенности формирования вычислительного эксперимента в системе ADSkit, содержат описание начальных условий и шаблонов вариации элементов АИМ для проведения вычислительных экспериментов:

- шаблон вариации поведения типа «база знаний», содержащий идентификатор поведения элемента в спецификации АИМ и соответствующее множество баз знаний, которые можно использовать для реализации поведения этого типа.
- шаблон вариации поведения типа «поток работ», содержащий идентификатор поведения элемента в спецификации АИМ и соответствующее множество потоков работ, которые можно использовать для реализации поведения этого типа.
- шаблон вариации агента/объекта АИМ, содержащий: значения свойств агента/объекта, количество и время появления агентов/объектов.
- начальные значения свойств элемента АИМ, описывающего состояние окружающей среды агентной модели.
- общие параметры вычислительного эксперимента (продолжительность моделирования, временной шаг и т.п.)

Таким образом, ADSkit поддерживает итеративный процесс разработки за счёт варьирования состава и значений свойств элементов конкретной АИМ и использования альтернативных вариантов поведения этих элементов. Оценка результатов моделирования осуществляется в ручном режиме непосредственно пользователями системы.

1. Pavlov A.I., Stolbov A.B., Dorofeev A.S. The architecture of the software tool for the agent-based simulation models specification development // CEUR Workshop Proceedings, 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019. 2019. Vol. 2463. pp. 112-121.
2. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Stolbov A.B. The Agent-Based Modeling Method For The Study Of Unique Mechanical Systems // Advances in Intelligent Systems Research. 2019. Vol. 166. P. 201–206.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке №18-07-01164.

О ЛОКАЛЬНОМ ПОИСКЕ В ДВУХУРОВНЕВЫХ D.C.-ВЫПУКЛЫХ
ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧАХ

А.В. Орлов

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН
anor@icc.ru

В работе исследуется один класс нелинейных двухуровневых задач [1] в оптимистической постановке с общей задачей d.c. оптимизации на верхнем уровне и выпуклой оптимизационной задачей на нижнем уровне:

$$\left. \begin{aligned} F(x, y) &:= g_0(x, y) - h_0(x, y) \downarrow \min_{x, y}, \\ x \in X &:= \{x \in R^m \mid g_i(x) - h_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, p\}, \\ y \in Y_*(x) &:= \text{Arg min}_y \{G(x, y) \mid y \in Y(x)\}, \end{aligned} \right\} \quad (BP)$$

где $Y(x) := \{y \in R^n \mid \varphi_j(x, y) \leq 0, \quad j = 1, \dots, q\}$, функции $g_0(\cdot)$, $h_0(\cdot)$ и $\varphi_j(\cdot)$, $j = 1, \dots, q$ являются выпуклыми по совокупности x and y на R^{m+n} , функции $g_i(\cdot)$, $h_i(\cdot)$, $i = 1, \dots, p$ – выпуклы на R^m , функция $y \rightarrow G(x, y)$ выпукла по y на $R^n \quad \forall x \in X$.

Указанный класс задач был выбран для исследования, поскольку представляется наиболее общим классом, которой может быть решен путем применения известного ККТ-подхода к отысканию оптимистических решений в двухуровневых задачах, заключающегося в замене задачи нижнего уровня ее условиями оптимальности типа Каруша–Куна–Таккера (соотношениями двойственности) [2]. Применяя к задаче (BP) указанный подход, получим следующую задачу математической оптимизации с комплементарным ограничением:

$$F(x, y) \downarrow \min_{x, y, v}, \quad x \in X, \quad \nabla_y L(x, y, v) = 0_n, \quad \varphi(x, y) \leq 0_q, \quad v \geq 0_q, \quad \langle v, \varphi(x, y) \rangle = 0, \quad (P)$$

где $L(x, y, v) = G(x, y) + \langle v, \varphi(x, y) \rangle$ – нормальная функция Лагранжа задачи нижнего уровня.

Получившаяся задача исследуется с помощью новых Условий глобальной оптимальности (УГО), доказанных в [3] А.С. Стрекаловским для общих задач d.c. оптимизации с ограничениями типа неравенств и равенств. УГО являются ядром Теории глобального поиска (ТГП), которая позволяет строить эффективные численные методы для решения задач невыпуклой оптимизации и исследования операций, в том числе задач с двухуровневой структурой [4,5].

Для того, чтобы применить ТГП к задаче (P), будем предполагать, что все функции, входящие в постановку задачи, могут быть представлены в виде разности двух выпуклых функций. Это означает, что задача (P) может быть записана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} F(x, y) &:= g_0(x, y) - h_0(x, y) \downarrow \min_{x, y, v}, \\ (x, y, v) \in S &:= \{(x, y, v) \mid \varphi(x, y) \leq 0_q, \quad v \geq 0_q\}, \\ f_i(x) &:= g_i(x) - h_i(x) \leq 0, \quad i \in \{1, \dots, p\} =: I, \\ f_i(x, y, v) &:= g_i(x, y, v) - h_i(x, y, v) = 0, \quad i \in \{p+1, \dots, p+n+1\} =: E, \end{aligned} \right\} \quad (DCC)$$

где g_i , h_i , $i \in E$ выпуклы по совокупности всех своих переменных, множество S выпукло. Нетрудно видеть, что множество ограничений I представляет собой ограничения, задающие в исходной задаче множество X , а множество ограничений E порождается ограничениями-равенствами из постановки (P).

Далее, используя точный штраф [3], можно представить задачу (DCC) в следующем виде:

$$\Phi_{\sigma}(x, y, v) := F(x, y) + \sigma W(x, y, v) \downarrow \min_{(x, y, v)}, \quad (x, y, v) \in S, \quad (DC(\sigma))$$

где $\sigma > 0$ – штрафной параметр, а штрафная функция $W(\cdot)$ определена следующим образом:

$$W(x, y, v) := \max\{0, f_1(x), \dots, f_p(x)\} + \sum_{i \in E} |f_i(x, y, v)|.$$

Известно, что ключевым моментом использования Теории точного штрафа является вопрос существования порогового значения $\hat{\sigma} > 0$ штрафного параметра σ для которого $W[\sigma] = 0 \quad \forall \sigma \geq \hat{\sigma}$. В этом случае множества решений задач (DCC) и $(DC(\sigma))$ совпадают, и для отыскания глобального решения в задаче (DCC) нет необходимости как в классической теории штрафа (см., например, [2]) решать последовательность задач $(DC(\sigma))$ при стремлении параметра σ к бесконечности.

Нетрудно показать [6], что при фиксированном значении параметра σ задача $(DC(\sigma))$ принадлежит классу задач d.c. минимизации [7]. Поэтому для осуществления локального поиска в задаче $(DC(\sigma))$ может быть применен известный Специальный метод локального поиска (СМЛП), разработанный в [7] и базирующийся на идее линейризации выпуклой функции задающей базовую невыпуклость в исследуемой задаче. Однако в этом случае вопрос отыскания порогового значения штрафного параметра (которое обеспечивает равенство $\text{Sol}(DCC) = \text{Sol}(DC(\sigma))$) остается открытым и должен быть решен заранее до осуществления локального поиска.

В данной работе предлагается производить поиск порогового значения штрафного параметра внутри локального поиска. Сохраняя идеологию линейризации и используя последние результаты касающиеся управления штрафными параметрами в нелинейной оптимизации [8] и локального поиска [9] в общей задаче d.c. оптимизации, для задачи $(DC(\sigma))$ разработан Специальный штрафной метод локального поиска (СШМЛП), который обеспечивает построение критической точки в задаче $(DC(\sigma))$, являющейся допустимой в задаче (DCC) (см. также [6]).

1. Dempe S. Foundations of bilevel programming. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
2. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М.: Мир, 1982.
3. Strekalovsky A.S. On a Global Search in D.C. Optimization Problems. / In: Jacimovic M. et al. (eds.) Optimization and Applications. OPTIMA 2019. Communications in Computer and Information Science, Vol. 1145, 2020. P. 222–236.
4. Стрекаловский А.С., Орлов А.В. Линейные и квадратично-линейные задачи двухуровневой оптимизации. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019.
5. Strekalovsky, A.S., Orlov, A.V.: Global Search for Bilevel Optimization with Quadratic Data. / In: Dempe S., Zemkoho A. (eds.) Bilevel optimization: advances and next challenges, 2020 (в печати).
6. Orlov A.V. On a Solving Bilevel D.C.-Convex Optimization Problems. / In: Yu. Kochetov et al (eds) MOTOR 2020. Communications in Computer and Information Science. Vol 1275, 2020. P. 179–191.
7. Стрекаловский А.С. Элементы невыпуклой оптимизации. Новосибирск: Наука, 2003.
8. Byrd R.H., Nocedal J., Waltz R.A. Steering exact penalty methods for nonlinear programming // Optimization Methods and Software. 2008. Vol. 23. P. 197–213.
9. Strekalovsky A.S. Local search for nonsmooth DC optimization with DC equality and inequality constraints / In Bagirov A. et al. (eds.) Numerical Nonsmooth Optimization – State of the Art Algorithms, 2020. P. 229–261.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИКИ СКЛЕИВАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ К ТРУДНЫМ ВАРИАНТАМ MAXSAT

И.В. Отпущенников, А.А. Семенов

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,
otilya@yandex.ru, biclop Rambler@yandex.ru

Псевдоболева функция [1] – это произвольная функция вида

$$f: \{0,1\}^n \rightarrow \mathbf{R}. \quad (1)$$

Во многих задачах, возникающих на практике, об аналитических свойствах функции f не известно ничего. В таких случаях обычно предполагают, что значения f выдаются некоторым оракулом O_f , а саму f называют «черным ящиком» (black-box function).

В статье [2] была описана метаэвристическая техника, нацеленная на задачи оптимизации псевдоболевых black-box-функций. В основе этой техники лежит процедура преобразования исходной задачи в задачу оптимизации вспомогательной функции на специальном пространстве D^μ с метрикой Хэмминга. Данная функция называется μ – сопряженной к f и обозначается через $F_{f,\mu}$. Здесь μ – это отображение $\mu: X \rightarrow Y$, $|Y| < |X|$, где X – множество булевых переменных, интерпретирующих координаты векторов гиперкуба $\{0,1\}^n$, Y – новое множество переменных, которые в общем случае не являются булевыми, но принимают значения в конечных доменах. Отображение μ естественным образом индуцирует биекцию $\phi_\mu: \{0,1\}^n \rightarrow D^\mu$. Пусть $\mathfrak{R}_1(\{0,1\}^n)$ и $\mathfrak{R}_1(D^\mu)$ – системы, образованные окрестностями Хэмминга радиуса 1 в $\{0,1\}^n$ и D^μ . Можно привести множество примеров, когда точка $\alpha \in \{0,1\}^n$, являющаяся локальным экстремумом f в $\mathfrak{R}_1(\{0,1\}^n)$, при отображении ϕ_μ переходит в точку $\alpha' \in D^\mu$, которая не является локальным экстремумом $F_{f,\mu}$ в $\mathfrak{R}_1(D^\mu)$. В этом случае обычный алгоритм «восхождения к вершине» (Hill Climbing), запущенный из α' в $\mathfrak{R}_1(D^\mu)$ улучшит значение $F_{f,\mu}(\alpha')$, что может дать улучшение текущего рекорда f на $\{0,1\}^n$. Таким образом, описанная в [2] техника позволяет в ряде случаев выходить из локальных экстремумов f в $\mathfrak{R}_1(\{0,1\}^n)$. На самом деле, как показано в [2], μ и ϕ индуцируют систему окрестностей $\tilde{\mathfrak{R}}^\mu(\{0,1\}^n)$ в $\{0,1\}^n$, причем для любой $\alpha' \in D^\mu$ и $\alpha \in \{0,1\}^n: \alpha' = \phi_\mu(\alpha)$ существует биекция между $N(\alpha') \in \mathfrak{R}_1(D^\mu)$ и $N(\alpha) \in \tilde{\mathfrak{R}}^\mu(\{0,1\}^n)$ и $N_1(\alpha) \subset N(\alpha)$, где $N_1(\alpha)$ – окрестность Хэмминга радиуса 1 точки α в $\{0,1\}^n$. Таким образом, техника склеивания переменных представляет собой частный случай известной общей стратегии поиска с переменными окрестностями (Variable Neighborhood Search, VNS) [3].

В докладе предполагается представить результаты применения техники склеивания переменных для решения ряда трудных вариантов задачи о максимальной выполнимости (MAXSAT). Конкретно, в форме MAXSAT были поставлены задачи поиска прообразов нескольких криптографических хеш-функций с ограничениями на хеш, а также задачи из одного класса задач о размещении (Location Problems). На большинстве тестов алгоритмы, основанные на склеивании переменных, превзошли по эффективности известные решатели, побеждавшие на специализированных соревнованиях.

1. Boros, E., Hammer, P.L.: Pseudo-Boolean Optimization // Discrete Appl. Math. 2002. Vol 123. Iss 1–3. Pp. 155–225.
2. Semenov A. Merging Variables: One Technique of Search in Pseudo-Boolean Optimization // CCIS. 2019. Vol. 1009 (MOTOR-2019). Pp. 86-102.
3. Mladenovich N., Hansen P. Variable Neighborhood Search // Computers and Operations Research. 1997. Vol. 24. Iss. 11. Pp. 1097-1100.

ОПЫТ ГЕОКОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ ОБ АКТИВНОСТИ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ*

В.В. Парамонов

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

Ежегодно в Иркутской области регистрируется более 10 тысяч случаев укусов людей иксодовым клещами – переносчиками и резервуарами возбудителей различных инфекционных заболеваний как человека, так и домашних животных. При этом отмечается рост активности иксодовых клещей. Среди инфекций, связанных с клещами, на территории России наиболее значимыми являются клещевой энцефалит, Крымская геморрагическая лихорадка, иксодовые клещевые боррелиозы [1]. Большинство людей, пострадавших от укусов клещей, как правило, обращаются в специализированные медицинские учреждения (Центр клещевых инфекций НЦ ПЗСРЧ СО РАМН, Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области и др.) для удаления клеща, забора крови, проведения лабораторных исследований, получения консультативной и профилактической помощи. При обращении в Центр клещевых инфекций НЦ ПЗСРЧ СО РАМН проводится анкетирование и опрос пациента, пострадавшего от укуса. При этом занесение информации в базу данных о месте, где предположительно был укус, проводится со слов пострадавшего в произвольной форме.

Создание информационно-аналитического ресурса, обеспечивающего построение динамических тематических карт укусов и инфицированности клещей представляет интерес как для научных исследований, так и с целью информирования граждан. Для привязки пространственных данных к названию территорий, на которых был укус требуется геокодирование этих названий. Однако, учитывая произвольность обозначения («Кая», «кладбище Ново-Ленино», «РФ Стеклянка», «Ангарская область» и т.п.) территории укуса геокодирование, внесение пространственных данных о месте укуса затруднено. Для проведения геокодирования в полуавтоматическом режиме была проведена предобработка данных об укусах и разработан сервис в рамках развиваемого геопортала ИДСТУ СО РАН.

Реестр обращений представляет собой электронную таблицу с обезличенными данными. Обозначение места укуса есть объединение информации, представленной в столбцах «Административная территория» (РФ или другие страны, область, район и т.п.), «Местность» (город, посёлок и т.п.), «В черте города» (район города, городская территория). При этом у оператора нет требований к обязательному заполнению информации – данные могут содержаться, например, только в одном из столбцов. В связи с этим была сделана предобработка данных, связанная с добавлением столбца, объединяющего значения всех полей, характеризующих местность. Учитывая, что более 80% обращений связаны с укусами на территории Иркутской области, в случае отсутствия данных в столбцах «Административная территория», «Местность» добавлялся префикс «Иркутская область».

Сервис проводит запрос по названию местности к API OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>) и, в случае, если точность геокодирования больше 0,5 в базу данных геопортала записываются координаты точки. Однако, достаточно большое количество названий не было геокодировано. Для этого в базе данных геопортала были созданы таблицы с названием местности и возможными псевдонимами. Данные в таблицу вносятся экспертом. Эксперт указывает точку, характеризующую местность на карте, а также точность. В дальнейшем, сервис сопоставляет название территории и информацию в базе данных для последующей автоматической привязки. Для сравнения названий используется нечёткое сравнение строк методом триграмм [2]. Это позволяет автоматически

* Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, грант в форме субсидии на выполнение Крупного научного проекта № 075-15-2020-787

осуществлять привязку к местности в случае наличия в поисковом запросе опечаток, различного порядка слов и т.п.

Используя данный подход удалось геокодировать большинство мест активности иксодовых клещей, для которых со значительной долей вероятности можно определить местность.

1. Цапко Н.В. Список видов иксодовых клещей (Acari: Ixodidae) России // Паразитология Т. 54, № 4. – 2020. С. 341-352. DOI: 10.31857/S1234567806040069
2. Кусок Е. Н. Разработка методов распознавания текста с использованием N-грамм для коррекции результатов. – 2017.

О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОЙ ВЫРОЖДЕННОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ

П.С. Петренко

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

Рассматривается система уравнений, содержащая в своей динамике подсистемы как с непрерывным, так и с дискретным временем

$$A(t)x'(t) = B(t)x(t) + C_k y_k + U_k u_k(t), \quad t \in T_k = [t_k, t_{k+1}), \quad k = \overline{0, m}; \quad (1)$$

$$y_k = D_{k-1}x(t_{k-1}) + \sum_{i=0}^{k-1} G_{k-1,i} y_i + V_{k-1} v_{k-1} + V_{k-1} v_{k-1}, \quad k = \overline{1, m+1}, \quad (2)$$

где $A(t), B(t), C_k, U_k, D_k, G_k, V_k$ – заданные вещественные матрицы соответствующих размеров, при этом $\det A \equiv 0$; $x(t) \in C^1(T_k)$ – n -мерная непрерывная, а y_k – s -мерная дискретная компонента, описывающие состояние системы; $u_k(t) \in R^l$ и $v_k \in R^\lambda$ – непрерывное и дискретное управляющее воздействие соответственно ($k = \overline{0, m}$). Систему (1), (2) будем называть вырожденной гибридной.

Определение 1. Решением системы (1), (2) будем называть набор векторов y_1, \dots, y_{m+1} и вектор-функцию $x(t) \in C^1(T_k)$ ($k = \overline{0, m}$), которые обращают уравнения (1), (2) в тождества при подстановке на $T = [t_0, t_{m+1}]$.

Пусть для системы (1), (2) определены начальные данные в виде

$$x(t_k + 0) = a_k \quad (k = \overline{0, m}), \quad y_0 = b. \quad (3)$$

Из уравнений (1), (2) определим векторы y_1, \dots, y_{m+1} :

$$y_k = S_k y_0 + \sum_{i=0}^{k-1} P_{k,i} x(t_i) + \sum_{i=0}^{k-1} L_{k,i} v_i, \quad k = \overline{1, m+1}, \quad (4)$$

где коэффициенты $S_k, P_{k,i}, L_{k,i}$ определяются через соответствующие рекуррентные соотношения. Пусть $x_k = x(t)$, $t \in T_k$ ($k = \overline{0, m}$). Тогда, подставляя выражения для y_k из (4) в уравнение (1), получим семейство дифференциально-алгебраических уравнений [1]:

$$A(t)x_k'(t) = B(t)x_k(t) + C_k (S_k y_0 + \sum_{i=0}^{k-1} P_{k,i} x_i(t_i) + \sum_{i=0}^{k-1} L_{k,i} v_i) + U_k u_k(t), \quad t \in T_k, \quad k = \overline{0, m}. \quad (5)$$

Анализ работы существенным образом опирается на методику исследования вырожденных систем обыкновенных дифференциальных уравнений и является продолжением работ [2, 3]. Для гибридной системы (1), (2) исследуются вопросы разрешимости. Получены необходимые и достаточные условия существования решения задачи (1) - (3) на отрезке T .

1. Щеглова А.А., Петренко П.С. R -наблюдаемость и R -управляемость линейных алгебро-дифференциальных систем // Известия вузов. Математика. 2012. Т. 3. С. 74-91.
2. Петренко П.С. К вопросу о разрешимости вырожденной гибридной системы // Материалы межд. симпозиума “Динамические системы, оптимальное управление и математическое моделирование”. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019. С. 163-166.
3. Щеглова А.А. Наблюдаемость линейных гибридных систем с постоянными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 2004. Т. 11. С. 86-101.

О ПРОЦЕССАХ ВЫМЕТАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ МЕР

Н.И. Погодаев

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

Классические процессы выметания, введенные Ж.Ж. Моро в [1], описывают траекторию точки, движение которой обусловлено взаимодействием с границей некоторого движущегося множества. Часто нас интересует эволюция целого (возможно, бесконечного) семейства точек. Такое семейство удобно описывать вероятностной мерой, которая сопоставляет каждому измеримому множеству число, равное вероятности обнаружить в нем точку из семейства. Эволюция меры под действием движущегося множества впервые была исследована в работе [2], авторы которой назвали соответствующую динамическую систему процессом выметания в пространстве мер. Отметим, что в [2] рассмотрен лишь самый простой случай: движущееся множество считается выпуклым и никакого внешнего (не связанного с движением множества) воздействия на меру не предполагается. Данные предположения значительно ограничивают применимость полученных в [2] результатов.

В настоящем докладе мы покажем, что указанные предположения могут быть существенно ослаблены. А именно, мы будем считать, что движущееся множество $C(t)$ является -проксимально гладким, для каждого t , а на меры, помимо $C(t)$, действует внешнее нелокальное векторное поле $V(\rho_t)$. Типичным примером такого поля является свертка: $V(\rho_t) = \int K(x - y)d\rho_t(y)$, где $K: R^d \rightarrow R^d$ — заданное отображение.

Возмущенным процессом выметания в пространстве мер назовем систему вида

$$\begin{cases} \partial_t \rho_t + \nabla \cdot (v_t \rho_t) = 0, \\ v_t(x) - V(\rho_t)(x) \in -N_{C(t)}(x), \\ \text{spt}(\rho_t) \subset C(t), \end{cases}$$

где V — оператор, отображающий меры в векторные поля, $N_A(x)$ — проксимальный нормальный конус к $A \subset R^d$ в точке x , $\text{spt} \rho$ — носитель меры ρ .

Мы докажем, что такая система имеет единственное решение для любого начального распределения ρ_0 . Кроме того, мы продемонстрируем, как такие процессы выметания в пространстве мер могут быть использованы для моделирования движения популяции (биологического сообщества) в областях с движущимися препятствиями.

1. Moreau J.J. On unilateral constraints, friction and plasticity // *New variational techniques in mathematical physics* (Centro Internaz. Mat. Estivo (C.I.M.E.), II Ciclo, Bressanone, 1973), pp. 171-322. Edizioni Cremonese, Rome, 1974.
2. Di Marino S., Maury B., Santambrogio F. Measure sweeping processes // *J. Convex Anal.* 2016, V 23, pp. 567–601.

К ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛОКАЛЬНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ УРАВНЕНИЕМ ПЕРЕНОСА В ПРОСТРАНСТВЕ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ МЕР

Н.И. Погодаев, М.В. Старицын

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

nickpogo@gmail.com, starmax@icc.ru

Доклад посвящен исследованию нелокального неоднородного уравнения типа переноса

$$\partial_t \mu_t + \nabla \cdot (V_u(t, \mu_t) \mu_t) = G_u(t, \mu_t), \quad \mu_0 = \vartheta, \quad t \in [0, T], \quad (1)$$

на пространстве знакопеременных мер на R^d . Подобные уравнения называют также уравнениями баланса.

Здесь $T > 0$ – фиксированный момент времени; u – параметр, принимающий значения в метрическом пространстве U . При каждом $t \in [0, T]$, μ_t является знакопеременной борелевской мерой на R^d ; $V_u(t, \cdot)$ и $G_u(t, \cdot)$ – параметрические семейства отображений, переводящие знакопеременные меры в векторные поля и в знакопеременные меры, соответственно. Типичные примеры таких отображений (зависимость от t и u опускаем):

$$V(\mu)(x) = \int K(x - y) d\mu(y), \quad G(\mu) = g\mu,$$

где $K: R^d \rightarrow R^d$, $g: R^d \rightarrow R$ — заданные функции.

Одной из интерпретаций таких моделей может служить описание динамики бесконечного ансамбля взаимодействующих заряженных частиц, движущихся в пространстве под воздействием векторного поля V_u , в присутствии «источника» G_u , моделирующего процесс появления новых частиц, их исчезновения или изменения заряда.

Изучаются вопросы существования и единственности слабого решения уравнения (1) на множестве мер с конечным первым моментом. Основной результат работы — доказательство непрерывной зависимости пучка решений от параметра u .

Приводятся примеры векторных полей V и источников G , возникающие в математической биологии. Обсуждаются приложения полученных результатов в теории управления неконсервативными мультиагентными системами (случай, когда параметр u играет роль управляющего воздействия). Даются содержательные постановки экстремальных задач и обсуждается вопрос существования их решения.

Исследование обобщает некоторые результаты [1]. При доказательстве основной теоремы применяется техника сжимающих отображений в метрике Канторовича [3, 4].

1. Piccoli B., Rossi F., Tournus M. A Wasserstein norm for signed measures, with application to non-local transport equation with source term // 2019. <https://arxiv.org/abs/1910.05105>
2. Добрушин Р.Л. Уравнения Власова // Функциональный анализ и его приложения. 1979. Т. 13. № 2.
3. Bogachev V., Krylov N., Rockner M., Shaposhnikov S. Fokker-Planck-Kolmogorov equations. Providence, Rhode Island: American Mathematical Society, 2015. 479 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО КОСМОСНИМКАМ

А.К. Попова

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН
chudnenko@icc.ru

При традиционном подходе для оценки загрязнения воды берут пробы с разных глубин. Полученные пробы анализируются в лаборатории для определения физических и химических свойств воды. Также устанавливают автоматические станции и запускают автономные подводные аппараты, способные определять параметры воды. Такие методы точны, но требуют затрат времени, денег, обученных специалистов и лабораторного оборудования. В некоторых районах оценка качества воды в водоеме осложнена низкой транспортной доступностью.

Устранить эти проблемы можно с помощью применения технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые обеспечивает пространственные измерения в режиме, близком к реальному времени, практически в любых районах. Они позволяют обнаруживать, отслеживать и картировать водные загрязнители – разливы нефти и химических веществ, цветение водорослей и высокие концентрации взвешенных веществ.

Качество воды можно определить по ее оптическим свойствам, которые зависят от многих факторов, например, от количества взвешенных органических и неорганических частиц и растворенных веществ. Чаще всего для оценки качества используют показатели: концентрация хлорофилла-а (Chl-a) и общего взвешенного вещества (TSM), коэффициент поглощения окрашенных растворенных органических веществ (CDOM) и прозрачность воды по диску Секки (глубина Секки, SD) [1].

В прибрежных водах биомасса фитопланктона служит важным параметром качества воды, поскольку обилие водорослей потенциально может указывать на степень эвтрофикации в конкретном водоеме. На практике биомасса фитопланктона обычно количественно определяется с помощью заместителя, например, путем измерения концентрации хлорофилла-а (Chl-a), который является повсеместным фотосинтетическим пигментом, присутствующим во всех видах водорослей.

Фитопланктон является эффективным поглотителем света в синей и красной полосах из-за присутствия внутриклеточных пигментов. В результате дистанционное зондирование фитопланктона обычно основывается на обнаружении сигнала поглощения им света. В настоящее время не существует общепринятых алгоритмов для точного получения Chl-a в прибрежных водах на основе коэффициента отражения дистанционного зондирования $R_{rs}(\lambda)$, где λ – длина волны света в вакууме [2].

В работе исследуется задача выбора алгоритма для определения Chl-a. Большинство алгоритмов ДЗЗ для определения Chl-a в воде основаны на принципах изменения поглощения света в ответ в зависимости от количества пигмента водорослей. Высокое содержание Chl-a приводит к увеличению поглощения на длине волны 443 нм и около 675 нм. Среди множества алгоритмов определения коэффициента отражения более предпочтительны основанные на отношениях спектральных полос, поскольку они помогают уменьшить влияние освещенности, атмосферы и поверхности воды [3].

1. Toming K. et al. Mapping water quality parameters with Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument imagery in the Baltic Sea // *Remote Sens.* 2017. Vol. 9, № 10.
2. Guangming Zheng, Paul M. DiGiacomo. Remote sensing of chlorophyll-a in coastal waters based on the light absorption coefficient of phytoplankton // *Remote Sensing of Environment*, Volume 201, 2017. Pp. 331-341
3. Topp S.N. et al. Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications // *Water (Switzerland)*. 2020. Vol. 12, № 1. P. 1–40.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ОЦЕНИВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПРИМЕСИ*

Рапута В.Ф.

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

Рассматривается задача поиска положения $\vec{X} = (X, Y, Z) \in \Omega$ и мощности Q точечного источника примеси в трехмерной области $\Omega = \omega \times [0, H]$ из условия минимума функционала

$$J_n(\vec{X}, Q) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2} \left[r_i - \int_{\Omega_r} \eta_i(\vec{x}, t) \cdot q(\vec{x}, t, \vec{X}, Q) d\vec{x} dt \right]^2. \quad (1)$$

$$r_i = \int_{\Omega_r} \eta_i(\vec{x}, t) q(\vec{x}, t, \vec{X}, Q) d\vec{x} dt + \varepsilon_i,$$

Здесь

$$E[\varepsilon_i] = 0, \quad E[\varepsilon_i \varepsilon_{i'}] = \delta_{ii'} \sigma_i^2, \quad i, i' = \overline{1, n},$$

(2)

результаты наблюдений, $\eta_i(\vec{x}, t)$ - функция, отражающая усредняющее действие по пространству и времени измерительного прибора, E - операция математического ожидания, $\delta_{ii'}$ - символ Кронекера. Концентрация примеси в функционале (1) находится из решения уравнения [1]

$$Lq \equiv \frac{\partial q}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla q + pq - \tilde{\Delta} q = f_1(\vec{x}, t) + Q \delta(\vec{x} - \vec{X}) \cdot \gamma(t), \quad (3)$$

при дополнительных начальных и граничных условиях, $\gamma(t) = 0$ при $t \leq t_0$, $\gamma(t) = 1$ при $t > t_0 > 0$.

Предложен экономичный численный метод решения задачи поиска местонахождения и мощности источника, основанный на использовании сопряженных уравнений переноса примесей и позволяющий свести исходную задачу к конечномерной задаче [2]. Суть метода состоит в представлении функционала (1) в следующем виде

$$J_n(\vec{X}, Q) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2} \left[R_i - Q \int_0^T q_i^*(\vec{X}, t) dt \right]^2, \quad (4)$$

где $R_i = r_i - \int_{\Omega_r} \eta_i F(\vec{x}, t) d\vec{x} dt$, $i = \overline{1, n}$, а $q_i^*(\vec{x}, t)$ - есть решения набора сопряженных задач

дач

$$L^* q_i^* = \eta_i(\vec{x}, t),$$

$$l^* q_i^* \Big|_{z=0} = 0, \quad \nu \frac{\partial q_i^*}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0, \quad q_i^* \Big|_S = 0, \quad q_i^* \Big|_{t=T} = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

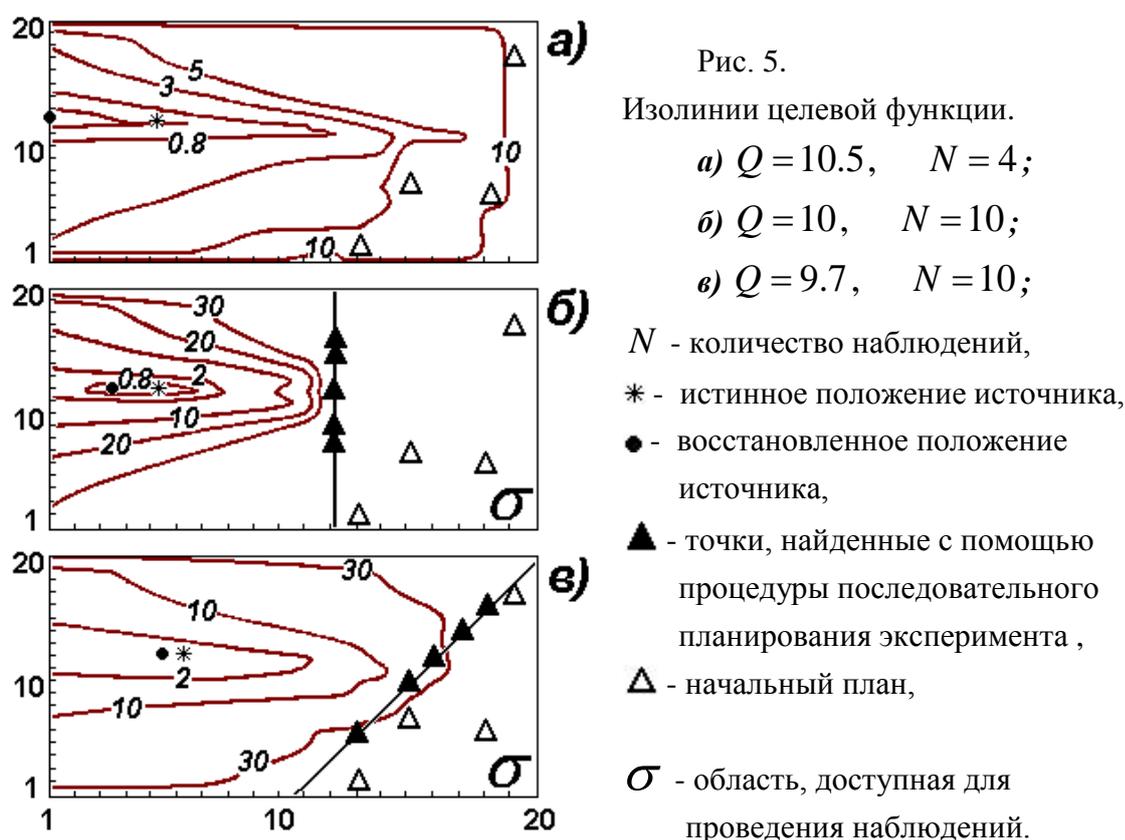
где L^* - оператор, сопряженный к L в смысле Лагранжа [3].

Таким образом, для задания функции (4) достаточно решить n сопряженных задач (5), а поиск минимума функции $J_n(\vec{X}, Q)$ в представлении (5) является вполне типичной задачей нелинейного программирования [4].

В общем случае ответ на вопрос о единственности решения обратной задачи (1) -(3) является неоднозначным. Требуется проведение специальных исследований. Приведены аналитические и численные примеры, показывающие зависимость единственности решения обратной задачи от выбора плана наблюдений.

Предложена процедура численного построения локально D - оптимальных планов эксперимента для решения обратной задачи поиска параметров источника. Она состоит в последовательном анализе данных наблюдений и корректировке плана эксперимента.

На рис. 5 приведён примеры численного построения локально оптимальных планов наблюдений и оценивания на этих планах положения источника.



Проведенные численные эксперименты показывают эффективность применения итерационной процедуры планирования эксперимента для уточнения параметров источника. Оценки параметров заметно улучшаются по сравнению с исходными значениями. Определитель информационной матрицы, характеризующий эффективность планирования в окрестности истинных значений параметров, также заметно меняется и возрастает на несколько порядков, что указывает на существенную неоптимальность начального плана. Выбор оптимального плана позволяет значительно локализовать область возможного нахождения источника.

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
2. Рапута В.Ф., Панарин А.В. Задача определения положения и мощности источника // Известия СО АН СССР. Серия технических наук. 1986. № 10. Вып. 2. С. 92-96.
3. Владимиров В.С., Марчук Г.И. Об определении сопряжённого оператора для нелинейных задач // Доклады РАН. 2000. Т. 372, № 2. С. 843 - 847.
4. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983. 384 с.

* Работа поддержана грантом в форме субсидии № 075-15-2020-787, проектом РФФИ и Правительства Новосибирской области № 19-47-540008.

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРЕДСКАЗАНИЙ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТАБЛИЦ В PDF ДОКУМЕНТАХ

Е. В. Рожков, А. А. Михайлов, А.О. Шигаров
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
rozhcow1@gmail.com

Произвольные документы являются распространённым способом представления информации. Они повсеместно распространены в веб-пространстве. Большой объем и свойства структуры таких документов делают их ценным источником в приложениях науки о данных и бизнес-аналитики. Однако, как правило, они не сопровождаются явной семантикой необходимой для машинной интерпретации своего содержания так, как задумано их автором. Накапливаемая в них информация часто является неструктурированной и не стандартизированной. Анализ этих данных нуждается в их предварительной трансформации к структурированному представлению с заданной формальной моделью.

Одна из важных задач для анализа и понимания таких документов заключается в извлечении из них таблиц. Извлечение таблиц является составной задачей и включает в себя два этапа: обнаружение таблиц (восстановление ограничивающей рамки таблицы в документе) и распознавание структуры таблицы (восстановление строк, столбцов и ячеек). За последние два десятилетия было предложено множество методов и программных средств для извлечения таблиц из изображений и PDF документов [1, 2, 3].

Начиная с 2017 большинство авторов сосредоточились на применении методов глубокого обучения для решения задачи извлечения таблиц. Современные подходы на основе глубоких нейронных сетей для обнаружения таблиц в изображениях документов [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] демонстрируют высокую точность на соревновательных наборах данных. Кроме того, них предлагается общий подход, который также может быть применен для извлечения таблиц из PDF документов. Но на практике, модели на основе глубоких нейронных сетей часто ошибаются. Например, некоторые диаграммы или абзацы текста могут быть ошибочно распознаны как таблицы.

В работе рассматривается двухэтапный подход к обнаружению таблиц в PDF-документах. На первом этапе используются глубокие нейронные сети для обнаружения таблиц-кандидатов. На втором этапе из кандидатов отбираются таблицы путем их верификации с помощью верификационного классификатора на основе алгоритма «случайный лес». Для обучения и тестирования классификатора были подготовлены размеченные данные. На основе графового представления текстовых блоков внутри прогнозируемой области таблицы выбраны 32 классификационных признака. Экспериментально показано, что полученный классификатор позволяет исключить значительное количество ложноположительных срабатываний нейросетевых моделей обнаружения таблиц. Применение верификационной модели в составе двухэтапного подхода позволило повысить точность обнаружения таблиц на соревновательном наборе данных «ICDAR 2013 Table Competition» более чем на 10% по сравнению с одноэтапным подходом на основе глубоких нейронных сетей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-71-10001.

1. Correa A., Zander P. Unleashing tabular content to open data: A survey on PDF table extraction methods and tools. Proc. 18th Int. Conf. On Digital Government Research. 2017. pp. 54-63.
2. Hu J., Liu Y. Analysis of Documents Born Digital. 2014. pp. 775-804.
3. Khusro S., Latif A., Ullah I. On methods and tools of table detection, extraction and annotation in PDF documents. J. Inf. Sci. 2015. 41(1), 41-57.
4. Arif S., Shafait F. Table detection in document images using foreground and background features. Digital Image Computing: Techniques and Applications. 2018. pp. 1-8.

5. Gilani A., Qasim S.R., Malik I., Shafait F.: Table detection using deep learning. Proc. 14th IAPR Int. Conf. on Document Analysis and Recognition. 2017. vol. 1, pp. 771-776.
6. Huang Y., Yan Q., Li Y., Chen Y., Wang X., Gao L., Tang Z. A YOLO-based table detection method. Proc. 15th Int. Conf. Document Analysis and Recognition. 2019. pp. 813-818.
7. Paliwal S.S., Vishwanath, D., Rahul R., Sharma M., Vig L.: TableNet: deep learning model for end-to-end table detection and tabular data extraction from scanned document images. Proc. 15th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition. 2019. pp. 128-133.
8. Schreiber S., Agne S., Wolf I., Dengel A., Ahmed S. Deep-DeSRT: deep learning for detection and structure recognition of tables in document images. Proc. 14th IAPR Int. Conf. on Document Analysis and Recognition. 2017. vol. 1, pp. 1162-1167.
9. Siddiqui S.A., Malik M.I., Agne S., Dengel A., Ahmed S.: DeCNT: Deep deformable CNN for table detection. IEEE Access. 2018. 6, 74151-74161.
10. Sun N., Zhu Y., Hu X. Faster R-CNN based table detection combining corner locating. Proc. 15th Int. Conf. Document Analysis and Recognition. 2019. pp. 1314-1319.

КОМПОНЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МОНИТОРИНГА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Г.М. Ружников, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов,
А.К. Попова, Т.И. Маджара, Е.С. Фереферов

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

Байкальская природная территория (БПТ) представлена уникальными ландшафтами, требующими сохранения в естественном виде согласно «Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО» и законодательства Российской Федерации [1]. Сохранение озера Байкал, как природного участка с уникальной фауной и флорой, является главной природоохранной задачей России и важнейшим условием её устойчивого развития.

Основные направления научных исследований озера Байкал отмечены в Указе Президента РФ №204 от 7 мая 2018 года «Сохранение уникальных водных объектов, в том числе реализации задач по сохранению озера Байкал». Постановлением Правительства РФ от 2 февраля 2015 г. N 85 «Об утверждении Положения о государственном экологическом мониторинге уникальной экологической системы озера Байкал» отмечено, что он является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).

К особенностям экологического мониторинга БПТ и озера Байкал, можно отнести:

- множественность участников мониторинга, а также локализованность ведомственных схем наблюдений, а также территориальную распределённость программно-аппаратных комплексов мониторинга;
- формирование пространственно-временных данных (далее – данные) мониторинга, которые не скоординированы между собой, в параметрическом, хронологическом и других аспектах, а также их разноформатность;
- отсутствие систем интегрированного комплексного непрерывного мониторинга, оценки и анализа состояния экологии БПТ;
- ограниченность доступа к данным мониторинга, что осложняет принятие управленческих решений, а также проведение междисциплинарных научных исследований.



Рис. 5. Виды государственного экологического мониторинга БПТ и озера Байкал

Это обосновывает актуальность современного тренда технологического развития экологического мониторинга БПТ и озера Байкал - внедрение цифровой трансформации (цифровизации), предполагающей внедрение киберфизических систем, переход на цифровой способ передачи данных, а также использование цифровых экосистем и платформ,

использующих сервис-ориентированные, сквозные технологии, облачные и распределённые вычисления, большие данные (Big Data) и т.д.

Под цифровой экосистемой (ЦЭС) мониторинга БПТ и озера Байкал понимается система взаимовыгодного сотрудничества участников с производителями ключевых цифровых технологических платформ (оборудование и системное ПО) и новых «умных» устройств, а также со сторонними поставщиками решений (прикладных интернет-сервисов, данных и услуг т.п.), способная принести каждому участнику преимущества и новые результаты [4]. Наиболее рационально создавать экосистемы отдельно для каждого вида государственного мониторинга БПТ и озера Байкал.

В этом случае, ЦЭС можно рассматривать, как открытую площадку, формирующую пул участников цифрового мониторинга БПТ и озера Байкал, каждый из которых может выбрать любого исполнителя или самому стать исполнителем. Участники ЦЭС акцентируют усилия на своих сильных сторонах, отдавая на аутсорсинг непрофильные направления деятельности и услуги. Таким образом, создаётся основа партнерства при цифровой трансформации мониторинга для пользователей, а также создателей новых устройств, инструментов и цифровых услуг. Формируется синергетический эффект от использования ЦЭС. Увеличивается скорость внедрения услуг, а системные компоненты становятся доступными в качестве сервисов. Отпадает необходимость разработки технологической архитектуры, основанной на сервисах и интерфейсах прикладного программирования (API), для подключения к другой ЦЭС. ЦЭС мониторинга предоставляет участникам услуги через телекоммуникационную магистраль, также формируется облачная среда, в которой участники могут создавать собственные сервисы, приложения, предлагать новые услуги, часто через SaaS и API.

В настоящее время сформировались новые условия для создания ЦЭС, мониторинга БПТ и озера Байкал, поддерживаемых цифровыми платформами, аккумулирующих в себе новейшие технологии и предоставляющих участникам (производителям, потребителям) открытый доступ к данным, сервисам их обработки, цифровым инструментам и услугам. По определению, цифровая платформа (ЦП, digital platforms) – это открытая система алгоритмизированного сетевого взаимодействия независимых участников мониторинга, объединенных единой информационной средой, приводящая к снижению транзакционных издержек и к повышению эффективности услуг, за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными (хранения, обработки, анализа и т.д.) и изменения системы организации труда.

Таким образом, для ЦЭС каждого вида цифрового экологического мониторинга БПТ, формируется своя цифровая платформа, которая должна включать совокупность баз цифровых пространственно-временных данных, алгоритмов, сервисов, моделей и инструментов, информационно-технологически объединенных единой информационной средой и телекоммуникационной инфраструктурой.

По уровню обработки информации выделяют базовые типы цифровых платформ мониторинга: инструментальную, инфраструктурную, прикладную [2]. Цифровые платформы могут образовывать иерархию, в которой инструментальные входят в состав инфраструктурных, а инфраструктурные, в свою очередь, обеспечивают функционирование прикладных ЦП [2].

Применение ЦП мониторинга БПР позволит

- оперативно обновлять и анализировать цифровые профили участников мониторинга БПТ;
- поддерживать доступ участников ЦП к структурированной информации мониторинга БПТ;
- интегрировать необходимые информационные технологии, услуги и предоставлять всем участникам пространственно-временные данные, сервисы их обработки;
- объединять несколько услуг (в том числе, удаленных), предоставляемых разными участниками, в том числе, сторонними, а также сокращать издержки на их получение.

При формировании ЦП мониторинга БПТ и озера Байкал учитываются большие объёмы, пространственно-временной характер и распределённость данных, что обосновывают необходимость использования стандартов Open Geospatial Consortium (OGC), основ инфраструктуры пространственных данных (ИПД) интеграционного типа, сервис-ориентированной парадигмы, а также внедрения сквозных технологий и больших данных, а также современной телекоммуникационной инфраструктуры для организации взаимодействия участников [3,4].

В настоящее время для проведения междисциплинарных научных исследований Байкальской природной территории акцент сделан на формирование инструментальной и инфраструктурной цифровой платформ, в частности на:

- мониторинг и анализ существующих цифровых ресурсов;
- создание геопортальной информационно-аналитической среды, использующей базы пространственно-временных данных мониторинга, наборы и комбинации тематических Web-сервисов со стандартизированными интерфейсами, интегрированных с помощью стандартных протоколов (SOAP, WSDL и т.п.);
- создание набора взаимосвязанных цифровых ресурсов и программно-реализованных в виде WPS-сервисов методов обработки данных;
- разработку архитектуры подсистемы хранения пространственно-временных данных мониторинга, а также средств эффективного доступа к этой информации;
- создание прототипа подсистемы управления сервисами и рекомендаций по оформлению в виде сервисов методов математического моделирования, алгоритмов и информационно-вычислительных ресурсов;
- разработку инфраструктурных компонент представления, отображения пространственно-временных данных в виде таблиц, диаграмм, карт;
- развитие программно-аппаратного обеспечения центра обработки данных ИДСТУ СО РАН для обеспечения цифрового мониторинга БПТ.

Предложен подход цифровой трансформации мониторинга БПТ и озера Байкал, основанный на использовании сервис-ориентированной парадигмы, инфраструктурного подхода и Web-технологий. Сбор больших объёмов цифровых данных (Big Data) экологического мониторинга в едином центре обработки данных позволит сочетать оперативность получения, on-line передачи с сервисами обработки информации о текущем состоянии БПТ и озера Байкала, что повысит качество принимаемых решений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования, грант 075-15-2020-787, проектов СО РАН № АААА-А17-117032210079-1, РФФИ № 18-07-00758 а. Результаты получены с использованием ЦКП ИИВС ИРНОК

1. Федеральный закон «Об охране озера Байкал» № 94-ФЗ от 1 мая 1999 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1999. — № 18, ст. 2220.
2. Цифровые подходы к определению и типизации / Ростелеком. – 2018. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://d-russia.ru/wpcontent/uploads/2018/04/digital_platforms.pdf (Дата обращения 21.06.2020).
3. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Фёдоров Р.К. Инфраструктура информационных ресурсов и технологий и создания информационно-аналитических систем территориального управления. Н-ск: Издательство СО РАН, 2016. 242 с.
4. Bychkov I., Ruzhnikov G., Hmelnov A., Fedorov R, Popova A. Digital Monitoring of Lake Baikal and its Coastal Area. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019), CEUR Workshop Proceedings, 2019, Vol.2463, pp. 13-23.

ПРЕДСКАЗАНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРЫ foF2 С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ РЕКУРРЕНТНОЙ LSTM СЕТИ

Б.Г. Салимов

Институт солнечно-земной физики СО РАН

salimov@iszf.irk.ru

А.Е. Хмельнов

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

hmelnov@icc.ru

Предсказание космической погоды и ключевых характеристик околоземного пространства имеет важное значение для использования различных технических средств радиосвязи, навигации. Одной из таких важных характеристик является критическая плазменная частота ионосферы foF2, соответствующая максимуму электронной концентрации в ионосфере. Зная данную частоту можно эффективно использовать средства радиосвязи с помощью отраженной от ионосферы электромагнитной волны. Поскольку ионосфера является неоднородной, постоянно меняющейся средой, то и частота foF2 постоянно меняется. Имеют место, как суточные, так и сезонные вариации, а также зависимость от различных геомагнитных индексов, которые также изменяются со временем [1]. Из этого вытекает задача предсказания критической частоты foF2.

Одним из современных методов решения подобных задач является машинное обучение, в частности нейронные сети. В данной работе мы предполагаем, что существует зависимость состояния ионосферы от её предыдущих состояний. Поэтому для предсказания её состояния в будущем можем воспользоваться рекуррентными нейронными сетями. Существуют работы, где используются такие нейронные сети для предсказания частоты foF2, в частности рекуррентная сеть Элмана [2]. Однако сеть Элмана обладает некоторыми сложностями при обработке больших временных последовательностей. В частности имеет место проблема исчезающего градиента при обучении нейронной сети. Данная проблема была исследована в работе [3].

В 1997 г. был представлен вариант архитектуры рекуррентной нейронной сети под названием Long Short-Term Memory, позволяющей эффективно обрабатывать долговременные последовательности [4]. Именно такая сеть используется в данном исследовании.

В качестве данных для анализа использовались измеренные значения частоты foF2 со скважностью в 1 час, полученные на среднеширотном Иркутском ионозонде DPS-4, а также индекс геомагнитной возмущенности Dst и индекс f10.7 интенсивности солнечного излучения на длине волны 10.7 см за период с 2009 по 2016 г., полученные из базы данных OMNI. Выборка размером 61675 элементов была разделена в следующей пропорции: 80% – обучающая, 20% – тестовая. Пропущенные значения были заполнены линейной интерполяцией, дополнительно ступенчатые данные индекса f10.7 были сглажены квадратичной кривой.

Для подачи значений ячейке рекуррентной сети LSTM, необходимо преобразовывать данные к многомерному массиву, где каждый элемент представляет собой наблюдения частот и индексов за месяц со скважностью в 1 час. Целевыми данными обучения являются 24 значения частоты foF2, следующими за точкой предсказания. Таким образом, один элемент данных, представляет собой массив размером (720,3) и соответствующий ему вектор частот размером (24). На следующем этапе была выбрана скважность данных элементов. Для того чтобы модель быстрее обучалась и при этом не была привязана к суточным границам (это необходимо для улучшения обобщающей способности), данное число должно быть более 1 и не должно быть кратно 24. При выбранной скважности в 5 часов, получились следующие выборки: обучающая выборка размером 10929 элементов, тестовая – 2186 элементов.

вая выборка размером 2513 элементов. Помимо ячеек LSTM в нейронной сети также был использован слой с 24 обычными нейронами (персептронами) с линейной функцией активации, каждый из этих нейронов отвечает за предсказание одного из 24-х часов (рис. 6).

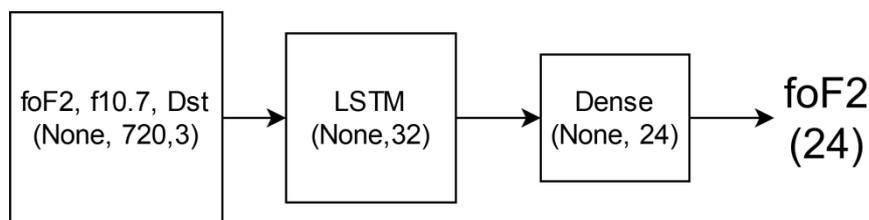


Рис. 6. Архитектура нейронной сети

Следующим этапом проводилось обучение модели. Использовались следующие настройки модели: оптимизатор Adam, функция потерь MSE (среднеквадратичная ошибка). При обучении модели было использовано 200 эпох обучения, коэффициент скорости обучения (learning rate) – 0,001. Задача модели – предсказать значения частоты foF2 на 24 часа вперед.

После обучения была произведена оценка качества полученной модели. При сравнении предсказанных и измеренных значений в тестовой выборке были выявлены следующие показатели качества: коэффициент корреляции Пирсона – 0.923, корень среднеквадратичной ошибки (RMSE) – 0.605, средняя абсолютная ошибка в процентах (MAPE) – 10.067, что позволяет сделать вывод о хорошей эффективности данного метода предсказания критической частоты ионосферы foF2.

1. Деминов М.Г., Иванов-Холодный Г.С., Непомнящая Е.В. Зависимость квазидвухлетних вариаций критической частоты F2-слоя от индексов солнечной и геомагнитной активности. // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42, №1, с. 112-115
2. Бархатов Н.А., Королев А.В., Левитин А.Е., Ревунов С.Е., Сахаров С.Ю., Урядов В.П. Технология искусственных нейронных сетей в моделировании и прогнозировании элементов магнитосферной и ионосферной активности. // Конференция ИКИР, 2003.
3. Y. Bengio, P. Simard and P. Frasconi, "Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult," in *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 5, no. 2, pp. 157-166, March 1994, doi: 10.1109/72.279181.
4. Sepp Hochreiter; Jürgen Schmidhuber (1997). "Long short-term memory". *Neural Computation*. 9 (8): 1735–1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735.

О НЕКОТОРОМ КЛАССЕ ДИСКРЕТНЫХ УРАВНЕНИЙ И ИХ РЕШЕНИЯХ

А.К. Свинин

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

Рассматривается некоторый двухпараметрический класс дискретных уравнений на искомую функцию одной дискретной переменной, которые как было показано в работе [1], обладают так называемым представлением Лакса. В этом смысле об этих уравнениях можно сказать, что они являются интегрируемыми. Это представление, в принципе, позволяет для каждого из этих уравнений строить наборы первых интегралов. В работе [2] был представлен способ построения первых интегралов для дискретных уравнений этого класса независимо от их представления Лакса.

Показывается, что для каждого уравнения этого класса существует единственная подстановка, позволяющая привести это уравнение к квази-билинейной форме. При этом необходимо использовать 2-интеграл для каждого из этих уравнений. Для некоторых частных случаев, уравнения преобразуются к чисто билинейному виду. В этих случаях получаются так называемые уравнения Сомоса или точнее сказать их неавтономная версия. Как показано в литературе, эти уравнения обладают свойством Лорана.

Цель данного доклада анонсировать некоторые предварительные результаты, касающиеся этого класса дискретных уравнений. А именно, в докладе определяется так называемая W -последовательность, которая, по предположению является решением для всех уравнений этого двухпараметрического класса. Это в свою очередь, дает бесконечный набор нетривиальных тождеств на W -последовательность. Интерес к этой последовательности состоит в том, что в частном случае она является так называемой эллиптической делимостью последовательностью (elliptic divisibility sequence), тесно связанной с теорией эллиптических кривых. Также частным случаем этой последовательности является класс последовательностей Лемера, Люка и в частности числа Фибоначчи. Предположение достаточно хорошо проверено с помощью методов компьютерной алгебры и является основой дальнейших исследований.

1. Svinin A.K. On some classes of discrete polynomials and ordinary difference equations// J. Phys. A: Math. Theor. V. 47, No. 15. Art. No. 155201.
2. Svinin A.K. On integrals for some class of ordinary difference equations admitting a Lax representation// J. Phys. A: Math. Theor. V. 49, No. 9. Art. No. 095201.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИАГРАММ В ЗАДАЧАХ ОБРАЩЕНИЯ ИНЪЕКТИВНЫХ ФУНКЦИЙ*

А.А. Семёнов, В.С. Кондратьев

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,
biclop.rambler@yandex.ru, vikseko@gmail.com

Дизьюнктивные диаграммы (DJD) были введены в работе [1]. Они позволяют эффективно (за полиномиальное время) представлять формулу, заданную дизьюнктивной нормальной формой (ДНФ), в виде специального графа. В случае, когда ДНФ является совершенной (СДНФ), DJD совпадает с упорядоченной сокращенной двоичной диаграммой решений (ROBDD) [2].

Пусть $D_f(\gamma)$ – ДНФ, полученная отрицанием КНФ $C_f(\gamma)$, которая кодирует задачу поиска прообразов (обращения) произвольного $\gamma \in Range f$. Пусть X – множество переменных встречающихся в $D_f(\gamma)$ и в $C_f(\gamma)$. Везде далее полагаем, что рассматривается $f: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m$ – вообще говоря, частичная функция, которая различные элементы из $Dom f \subseteq \{0,1\}^n$ переводит в различные элементы из $Range f$. Будем называть такую функцию инъективной. Построим по $D_f(\gamma)$ ее представление в виде DJD, используя алгоритмы из [1]. Обозначим полученную диаграмму через $R_f(\gamma)$. Данная диаграмма имеет две терминальные вершины, одной из которых приписан символ 1, а другой – специальный символ ?. Каждый путь в $R_f(\gamma)$ из корневой вершины в терминальную естественным образом (как и в случае с ROBDD) порождает набор значений переменных, приписанных вершинам этого пути. Если π – произвольный такой путь, то через X_π обозначим множество переменных, которые приписаны его вершинам, а через α_π обозначим индуцированный π набор значений переменных из X_π . Пусть $\Pi_?$ – множество всех путей в $R_f(\gamma)$ в вершину ?, а $\Delta_?$ – множество наборов значений переменных из $X_{\Pi_?} = \bigcup_{\pi \in \Pi_?} X_\pi$, которые индуцируются всеми путями из $\Pi_?$. Рассмотрим произвольный $\pi \in \Pi_?$ и обозначим через α_π набор значений переменных из X_π , индуцированный π . Пусть $\neg\alpha_\pi$ – набор, полученный побитовой инверсией набора α_π . Используя свойства дизьюнктивных диаграмм, можно показать, что если α – набор, выполняющий $C_f(\gamma)$, то обязательно найдется такой $\alpha_\pi \in \Delta_?$, что множество значений координат вектора $\neg\alpha_\pi$ образует подмножество в множестве значений координат вектора α . С другой стороны, опять-таки из свойств DJD следует, что мощность множества $\Delta_?$ ограничена полиномом от размера формулы $C_f(\gamma)$. Таким образом, мы можем попытаться найти набор, выполняющий $C_f(\gamma)$, решая проблему SAT для КНФ вида $C_f(\gamma, \neg\alpha_\pi)$ по всем $\pi \in \Pi_?$. На практике данный подход дает хорошие результаты лишь для относительно простых КНФ. Если КНФ $C_f(\gamma)$ кодирует некоторую трудную задачу (например, обращение криптографической функции), то КНФ вида $C_f(\gamma, \neg\alpha_\pi)$, как правило, весьма трудны. Однако для целого ряда инъективных (в указанном выше смысле) функций диаграммы вида $R_f(\gamma)$ демонстрируют весьма интересные свойства, которые не имеют строгого доказательства, но подтверждается статистически. Конкретно, рассмотрим множество $\Pi_?$, а также множество L_X всех литералов над X . Для произвольной переменной $x \in X$ рассмотрим все пути из $\Pi_?$. В каждом пути $\pi \in \Pi_?$ переменная x может не встречаться вообще, встречаться в виде литерала x , либо же встречаться в виде литерала $\neg x$. Пройдем все пути $\Pi_?$, проверяя их на предмет встречи в них литерала из множества $\{x, \neg x\}$. Если в результате мы делаем вывод, что переменная x входила в пути из $\Pi_?$ как литерал $l(x) \in \{x, \neg x\}$, но не входила как литерал $\neg l(x)$, то назовем литерал $l(x)$ уникальным. Обозначим через U_X множество всех уникальных литералов в L_X . Как следует из свойств DJD, множество U_X строится эффективно (за полиномиальное от размера $C_f(\gamma)$

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 19-07-00746-А.

время). Для некоторых инъективных функций процент совпадений инверсий уникальных литералов с литералами из набора, выполняющего КНФ $C_f(\gamma)$, может быть очень высоким (80% и более). Для ряда функций это позволяет построить криптографические атаки на рассматриваемые функции, которые оказываются существенно эффективнее известных атак.

Опишем атаку такого типа на функцию $g_{MD4-43}^{\lambda_1}: \{0,1\}^{128} \rightarrow \{0,1\}^{128}$ из [3], [4]. Рассматриваем обращение $\gamma \in Range(g_{MD4-43}^{\lambda_1})$, имеющих один прообраз. Первое наблюдение: в диаграммах вида $R_{g_{MD4-43}^{\lambda_1}}(\gamma)$ доля инверсий уникальных литералов, совпавших с литералами из выполняющего набора, составила 95% (в среднем по нескольким десяткам тестов). Пусть $U_X^\gamma, U_X^\gamma \subseteq U_X$ – множество литералов из U_X , которые совпадают с литералами из набора, выполняющего $C_{g_{MD4-43}^{\lambda_1}}(\gamma)$. Выберем в U_X^γ случайное подмножество $\tilde{U}_X^\gamma: |\tilde{U}_X^\gamma| \approx \frac{1}{2} \cdot |U_X^\gamma|$. Второе наблюдение: подстановка в $C_{g_{MD4-43}^{\lambda_1}}(\gamma)$ инверсий литералов из \tilde{U}_X^γ дает КНФ, полный выполняющий набор которой находится менее чем за 1 минуту работы решателя Glucose 3 [5]. Рассмотрим все пути в Π_γ в DJD $R_{g_{MD4-43}^{\lambda_1}}(\gamma)$. Выделим множество уникальных литералов U_X . Выберем из U_X случайным образом $N = \lfloor \frac{1}{2} \cdot |U_X^\gamma| \rfloor$ литералов. Используем классическую урновую схему [6] для оценки вероятности совпадения всех этих литералов с литералами, присутствующими в наборе, выполняющем исходную КНФ: в урне имеется Q белых и M черных шаров, наугад выбираются $N < Q$ шаров. Вероятность того, что все шары белые есть $P_1 = \binom{Q}{N} / \binom{Q+M}{N}$. Вероятность выбрать хотя бы один черный шар есть $1 - P_1$. Пусть P_2 – вероятность того, что при S повторениях эксперимента найдется такая выборка из N шаров, в которой не будет ни одного черного шара. Очевидно, $P_2 = 1 - (1 - P_1)^S$. Допустим, что мы хотим добиться ситуации, когда $P_2 \geq 0,98$ (тогда п. н. в одном из S экспериментов мы обратим нашу функцию). Для функции $g_{MD4-43}^{\lambda_1}$: при $N = 500$, $Q = 1138$, $M = 55$ (данные из экспериментов) имеем трудоемкость атаки $\approx 3 \cdot 10^{19}$ секунд, что существенно лучше времени обращения данной функции полным перебором.

1. Семенов А.А., Отпущенников И.В. Об одном классе решающих диаграмм // Автоматика и телемеханика. 2016. Т. 77. №4. С. 617-628.
2. Bryant R. Graph-Based Algorithms for Boolean Functions Manipulation. IEEE Trans. on Comp. 1986. V. 100 (8). Pp. 677-691.
3. Грибанова И.А., Семенов А.А. Об аргументации отсутствия свойств случайного оракула у некоторых криптографических хеш-функций // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2019. N12. С. 95-98.
4. Griбанова I. Semenov A. Constructing a Set of Weak Values for Full-Round MD4 Hash Function // In Proc. of MIPRO 2020. pp. 1174–1179.
5. Audemard G., Simon L. Predicting Learnt Clauses Quality in Modern SAT Solvers // In Proceedings of IJCAI. 2009. Pp. 399-404.
6. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т.1. М.:Мир. 1984.

О КОЛЛОКАЦИОННО-ВАРИАЦИОННЫХ РАЗНОСТНЫХ СХЕМАХ С 2 ТОЧКАМИ КОЛЛОКАЦИИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ*

Л.С. Соловарова

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

В докладе рассмотрены системы дифференциальных уравнений

$$A(t)x'(t) + B(t)x(t) = f(t), \quad t \in [0,1], \quad (1)$$

$$x(0) = x_0, \quad (2)$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – $(n \times n)$ -матрицы, $f(t)$ и $x(t)$ – заданная и искомая n -мерные вектор-функции, причем $\det A(t) \equiv 0$. Такие задачи принято называть дифференциально-алгебраическими уравнениями (ДАУ). Предполагается, что для ДАУ (1) начальное условие (2) согласовано с правой частью, т.е. рассматриваемая задача имеет достаточно гладкое решение.

Для численного решения таких задач хорошо себя зарекомендовали коллокационно-вариационные разностные схемы [1], построение которых основано на решении специальной задачи математического программирования.

Итак, зададим на отрезке интегрирования $[0,1]$ сетку $t_i = ih, i = 0, 1, \dots, N, N = 1/h$ и обозначим $A_i = A(t_i), B_i = B(t_i), f_i = f(t_i), x_i \approx x(t_i)$. Рассмотрим задачу математического программирования

$$\begin{aligned} & \|x_{i+3} - 3x_{i+2} + 3x_{i+1} - x_i\| \rightarrow \min \\ & \begin{cases} A_{i+3}(11x_{i+3} - 18x_{i+2} + 9x_{i+1} - 2x_i) + 6hB_{i+3}x_{i+3} = 6hf_{i+3}, \\ A_{i+2}(2x_{i+3} + 3x_{i+2} - 6x_{i+1} + x_i) + 6hB_{i+2}x_{i+2} = 6hf_{i+2}, \end{cases} \end{aligned}$$

решение которой эквивалентно решению системы линейных алгебраических уравнений

$$\begin{pmatrix} 11A_{i+3} + 6hB_{i+3} & -18A_{i+3} & 9A_{i+3} \\ 2A_{i+2} & 3A_{i+2} + 6hB_{i+2} & -6A_{i+2} \\ E & -3E & 3E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{i+3} \\ x_{i+2} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2A_{i+2} \\ -A_{i+1} \\ E \end{pmatrix} x_1 + 6h \begin{pmatrix} f_{i+3} \\ f_{i+2} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

В результате получим частный случай коллокационно-вариационных схем с двумя точками коллокации.

Для рассматриваемых алгоритмов получены функции устойчивости, приведены результаты численных расчетов тестовых примеров, обсуждается выбор стартовой точки.

1. Bulatov M.V., Solovarova L.S. Collocation-variation difference schemes for differential-algebraic equations // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2018. Vol. 41, №18.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00643_а.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОМЫСЛА РЫБ С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ И ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

С.П. Сорокин, П.Г. Сорокина *

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН;
БГУ, ЛИН СО РАН

sorsp@mail.ru, ermolaeva_polina@mail.ru

Доклад посвящен исследованию модели рационального промысла популяции рыб, учитывающей трехуровневую возрастную структуру особей. Одним из основных предположений является использование лишь искусственного воспроизводства популяции (т.е. особи рождаются и подращиваются только в акватории рыбного хозяйства). Рассматриваемая модель представляет незначительную модификацию Задачи 1 из [1].

Динамика численности особей в каждой возрастной группе (x_1 – молоди, x_2 – среднего возраста, x_3 – старшего возраста) описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = A_2 x_2^{\alpha_2} + A_3 x_3^{\alpha_3} - k_1 x_1, \quad \dot{x}_2 = \gamma_2 x_1 - (\lambda_2 + k_2) x_2 - x_2 u_2, \quad \dot{x}_3 = \gamma_3 x_2 - (\lambda_3 + k_3) x_3 - x_3 u_3.$$

Здесь $A_i = (\sigma_i \lambda_i)^{\alpha_i}$, $i = 2, 3$, λ_2 и λ_3 – доля рыб второй и третьей группы, концентрирующихся на нерестилищах (с последующими их выловом и инкубацией на территории рыбного хозяйства), σ_2 , σ_3 – усредненные характеристики плодовитости рыб соответствующих возрастных групп, параметры α_2 , α_3 , которые характеризуют внешние (возможно, неблагоприятные) факторы для двух старших групп, удовлетворяют условиям $0 < \alpha_2 < 1$, $0 < \alpha_3 < 1$. Специфика этих параметров и структур объясняется в [1, 2]. Параметры γ_2 и γ_3 описывают прирост численности второй и третьей группы за счет взросления особей младших групп, коэффициенты выбытия k_1 и k_2 для первой и второй группы отражают естественную смертность и переход в следующую возрастную группу, k_3 характеризует смертность старших особей.

Управляющими переменными в предлагаемой модификации модели выступают $u_2, u_3 \in [0, 1]$, характеризующие интенсивность лова особей второй и третьей возрастных групп популяции. Отличие представленной модели от прототипа состоит, с одной стороны, во введении ограничений на управления, а во-вторых, во включении билинейных слагаемых в правые части дифференциальных уравнений системы.

Планируется представить результаты аналитического и численного исследования некоторых задач оптимального управления в рассматриваемой модели на базе классических и новых методов, главным образом, – позиционного принципа минимума В.А. Дыхты (см. [3] и публикации в источнике).

1. Дыхта В.А., Топорков И.Г. Модель рыбной популяции и её эксплуатация // Модели природных систем / Отв. ред. В.И. Гурман, И.П. Дружинин. – Новосибирск, Наука, 1978. – С. 86-94.
2. Динамическая теория биологических популяций // Под ред. Р.А. Полуэктова. – М.: Наука, 1974. 456 с.
3. Dykhta V.A. Approximate Feedback Minimum Principle for Suboptimal Processes in Non-Smooth Optimal Control Problems // Lecture Notes in Control and Information Sciences. 2020. P. 127-132.

* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект «Эколого-экономическая оценка функционирования пресноводных биогеоценозов, фундаментальный и прикладные аспекты», № гос. регистрации АААА-А19-119070190033-0, № МИНОБРНАУКИ 0279-2019-0003.

ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МНОГОЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ*

П.С. Сороковиков

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

Широко применяемым инструментом исследования задач глобальной оптимизации являются поисковые методы нулевого порядка. В докладе обсуждается разработанная первая версия пакета программ МЕОРТ («Multi-Extremal OPTimization»), предназначенного для решения многоэкстремальных задач параметрической идентификации нелинейных моделей. Описываемый в работе проект включает в себя следующие компоненты: 1) программный каркас, обеспечивающий единообразный подход к реализации алгоритмов и включающий базовый функционал (организация процесса численных исследований, оценочные средства, модули случайных вычислений и т.п.); 2) библиотеки алгоритмов оптимизации; 3) коллекция тестовых задач с известными решениями (описаны ниже); 4) сервисные модули (табличные и графические средства визуализации результатов расчетов, средства протоколирования процесса вычислений и т.п.).

В состав реализованных библиотек оптимизационных алгоритмов включены как методы многомерной невыпуклой оптимизации, так и алгоритмы решения вспомогательных задач глобального одномерного поиска (см., напр., [1]). Библиотека алгоритмов многомерного нелокального поиска включает в себя алгоритмы, основанные на методах глобальной одномерной оптимизации (модификации методов «парабол», Пауэлла, Розенброка, туннельного, сферического, криволинейного поиска, партан-метода), алгоритмы, не использующие методы одномерного поиска (методы Лууса–Яколы, Растригина, поиска с запретами, случайных покрытий, экспертный метод), «биоинспирированные» алгоритмы (модификации методов генетического поиска, дифференциальной эволюции, биогеографии, роя частиц, светлячков, опыления цветков, гармонического поиска, культурного алгоритма, Teaching–Learning–Based Optimization), а также двухметодные вычислительные схемы на основе «биоинспирированных» алгоритмов и методов локального спуска. Для решения вспомогательных задач минимизации функции одной переменной может быть применен один из следующих алгоритмов: модификации методов Евтушенко, Пиявского, Стронгина, «парабол», Брента, Лера–Сергеева, «сжимающего перебора», комбинированный алгоритм на основе методов Стронгина и «парабол», семейство «вероятностных» Р-алгоритмов Жиглявского–Жилинскаса.

Для тестирования программного пакета МЕОРТ автором проекта развивается специализированная коллекция тестовых задач, характеризующихся различными уровнями сложности и моделирующих специфические трудности, свойственные исследуемым классам задач. Библиотека тестовых задач включает в себя как задачи математического программирования, так и проблемы оптимизации динамических систем. Первый вариант коллекции тестовых задач содержит 102 конкретных модельных примера.

Пакет программ разработан с использованием языка С и компилятора GCC, функционирует под операционными системами семейств Linux, Windows и Mac OS. К настоящему времени выполнены макетные реализации основных модулей пакета. Произведено техническое тестирование первой версии программного обеспечения.

1. Сороковиков П.С. Численное исследование свойств алгоритмов невыпуклой оптимизации различного генезиса // Современные проблемы математики и её приложений: тезисы Международной (51-й Всероссийской) молодёжной школы-конференции. 2020. С. 37–38.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-37-90065.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛОВ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ*

П.С. Сороковиков, А.Ю. Горнов

Институт динамики систем и теории управления им В.М. Матросова СО РАН
sorokovikov.p.s@gmail.com, gornov@icc.ru

Задача поиска низкопотенциальных атомно-молекулярных кластеров является одной из классических проблем вычислительной химии и сводится к поиску глобального экстремума невыпуклых потенциальных функций – специальных моделей (см., напр., [1]). Основной сложностью указанного класса задач является астрономический рост количества локальных оптимумов с увеличением числа атомов. Тем не менее, современные оптимизационные алгоритмы, запущенные на высокопроизводительной вычислительной технике, способны находить «наилучшие из известных» решения, являющиеся, возможно, глобальными экстремумами.

Для решения задач оптимизации потенциалов атомно-молекулярных кластеров реализована трехэтапная вычислительная технология, включающая на каждом этапе различные методы из базового набора. Первый этап основан на стохастической аппроксимации окрестности известной рекордной точки с помощью набора алгоритмов-генераторов разнохарактерных начальных приближений. На втором этапе решается задача быстрого спуска из приближений, полученных на первом этапе. Для решения указанной проблемы применяется один из «алгоритмов-стартеров» – алгоритмов, позволяющих, в самом деле, находить уже низкопотенциальные кластеры с минимальными вычислительными затратами. Реализованы семь вариантов «алгоритмов-стартеров»: модификация метода Б.Т. Поляка 1969 г. [2], «рейдер-метод» [3], три модификации нелокального дихотомического метода [4], два варианта алгоритма «Q-поиска». Для уточняющих локальных спусков, реализуемых на третьем этапе, применяются квазиньютоновский метод L-BFGS и модификация метода сопряженных градиентов.

В работе произведено статистическое тестирование предложенной вычислительной технологии, в рамках которого численно исследовались всевозможные комбинации алгоритмов из базовой коллекции на каждом этапе. В качестве тестовой задачи рассматривалась проблема поиска низкопотенциальных кластеров Морса (80 атомов) [1].

В ходе исследования были протестированы 98 вариантов реализованной вычислительной технологии (7 алгоритмов-генераторов начальных приближений, 7 «алгоритмов-стартеров», 2 метода локального поиска). Все исследованные варианты успешно справились с решением задачи, найдя «наилучшее из известных» решение. При сравнении эффективности алгоритмов локального спуска метод L-BFGS оказался быстрее метода сопряженных градиентов приблизительно в 3.2 раза. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

1. The Cambridge Energy Landscape Database. URL: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>.
2. Polyak B.T. Minimization of nonsmooth functionals // USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1969. Vol. 9, No. 3. P. 14–29.
3. Горнов А.Ю. Рейдер-метод для квазисепарабельных задач безусловной оптимизации // Материалы конференции «Ляпуновские чтения». Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2018. С. 28.
4. Gornov A.Yu., Andrianov A.N., Anikin A.S. Algorithms for the solution of huge quasiseparable optimization problems // Международный семинар «Ситуационное управление, интеллектуальные, агентные вычисления и кибербезопасность в критических инфраструктурах». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2016. С. 76.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587.

НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КЛАСТЕРЫ МОРСА РАЗМЕРНОСТЕЙ ОТ 330 ДО 460 АТОМОВ*

П.С. Сороковиков, А.Ю. Горнов

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

sorokovikov.p.s@gmail.com, gornov@icc.ru

Возрастающая с каждым днем производительность вычислительных систем предоставляет возможность численного исследования различных содержательных задач глобальной оптимизации сверхбольших размерностей. Одной из таких проблем является поиск низкопотенциальных состояний атомно-молекулярных кластеров Морса (см., напр., [1, 2]), который сводится к минимизации многоэкстремальной потенциальной функции, имеющей следующую структуру:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N e^{\rho(1-r_{ij})} (e^{\rho(1-r_{ij})} - 2) \rightarrow \min, \rho = 3,$$
$$r_{ij} = \sqrt{\left(x_{3(i-1)+1} - x_{3(j-1)+1}\right)^2 + \left(x_{3(i-1)+2} - x_{3(j-1)+2}\right)^2 + \left(x_{3(i-1)+3} - x_{3(j-1)+3}\right)^2}.$$

Работа посвящена поиску вероятных оптимальных конфигураций для кластеров Морса сверхбольших размерностей. С помощью алгоритмов и вычислительных технологий, представленных в [3], были выполнены системные вычислительные эксперименты для кластеров из 330 – 460 атомов с шагом 10 (см. табл. 1). В качестве метода глобальной оптимизации использовалась модификация известного алгоритма MSBH («Monotonic Sequence Basin-Hopping»), методов локального поиска – квазиньютоновский алгоритм L-BFGS, «рейдер-метод», модификация нелокального метода дихотомии.

Таблица 1. Наилучшие найденные значения

N	Значение	N	Значение
330	-4185.823810024	400	-5280.028312629
340	-4341.617312037	410	-5439.956025052
350	-4495.258746330	420	-5605.374049457
360	-4652.526830072	430	-5771.164824487
370	-4808.833595751	440	-5928.212283347
380	-4963.857118315	450	-6086.447626399
390	-5117.601742551	460	-6243.648248019

Сравнительный анализ результатов системных расчетов не выявил резких отклонений от наблюдаемой закономерности найденных значений потенциалов, описывающей их рост в зависимости от числа атомов. Авторам неизвестно о других работах, в которых приводятся результаты вычислительных экспериментов для кластеров Морса указанных размерностей.

1. The Cambridge Energy Landscape Database. URL: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>.
2. Doye J.P.K., Wales D.J. Structural consequences of the range of the interatomic potential a menagerie of clusters // Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions. 1997. Vol. 93, No. 24. P. 4233–4243.
3. Sorokovikov P., Gornov A., Anikin A. Computational technology for the study of atomic-molecular Morse clusters of extremely large dimensions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 734, No. 1. P. 012092.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00587.

ПОИСК ИСТОЧНИКА НЕСТАЦИОНАРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГРУППОЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

А.А. Толстихин

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

madstayler93@gmail.com

В данном исследовании рассматривается решение задачи обследования нестационарного физического поля группой автономных мобильных роботов. Под физическим полем будем понимать абстрактный объект, описываемый скалярным математическим полем. Его прообразами в реальном мире могут являться, например, нефтяные пятна или электромагнитные поля, чье изучение может потенциально носить, как прикладной, так и фундаментальный характер.

В рамках данной работы целью обследования является сбор поисковой группы в окрестности источника физического поля, перемещающегося по области поиска по заранее неизвестной траектории. При том подразумевается, что поле может быть образовано несколькими источниками, в таком случае необходимо найти тот, который имеет максимальную интенсивность. Для этой цели был предложен подход, основанный на использовании гибрида таких популяционных алгоритмов оптимизации, как Whale Optimization Algorithm и Grey Wolf Optimizer. Данный выбор обусловлен следующими фактами:

- Предложенные алгоритмы и их гибрид имеют высокую склонность к избеганию попадания в локальные оптимумы, что приводит в высокой вероятности обнаружения искомого источника;
- Гибридный алгоритм легко адаптируется для децентрализованного управления группой, а также естественным образом собирает всю поисковую группу в окрестности предполагаемого источника.

Предлагаемый подход к решению задачи обследования сводится к динамическому построению траектории движения каждого робота, приводящей к моменту окончания миссии в координаты предполагаемого источника. Для обследования нестационарных физических полей был сделан ряд модификаций, основанных на использовании диаграммы Вороного.

Главной модификацией является добавление «механизма забывания». Замеры величины поля, сделанные на ранних этапах решения задачи, со временем теряют свою актуальность из-за нестационарного характера поля. Для их обнаружения и исключения из памяти агентов строится $n+1$ -мерная диаграмма Вороного, где n – размерность исходной области поиска, а дополнительной осью является время. Было предложено удалять точку замера из памяти, если на срезе диаграммы по оси времени площадь ячейки с сайтом в соответствующей точке замера величины поля обращается в ноль.

Проведенная серия тестов демонстрирует, что использование подхода без предложенных модификаций приводит к непрогнозируемому результату решения задачи. С другой стороны, наличие модификаций обеспечивает обнаружение искомого источника в более, чем 85% тестовых запусков.

1. S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. 2014. Vol. 69. P. 46-61.
2. S. Mirjalili, A. Lewis. The Whale Optimization Algorithm // Advances in Engineering Software. 2016. Vol. 95. P. 51-67.
3. Hwang J., Bose N., Fan, S. AUV Adaptive Sampling Methods: A Review // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. №. 3145.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРА ПРИ ЗАЩИТЕ ЗАДНЕЙ ПОЛУСФЕРЫ САМОЛЕТА ОТ АТАКУЮЩЕЙ РАКЕТЫ

А.И. Тятюшкин

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

Физическая постановка задачи состоит в следующем [1-4].

Оцениваются возможности защиты самолета, атакуемого из задней полусферы ракетой класса «воздух – воздух». Исследуется модельная задача определения оптимального вертикального маневра самолета, обороняющегося от ракеты, которая движется в экспоненциальной атмосфере по заданному закону сближения под действием сил аэродинамического сопротивления и сил земного тяготения.

Если преследуемый совершает удачный противоракетный маневр (ПРМ), то зона возможных пусков (ЗВП) сокращается. Очевидно, чем меньше ЗВП, тем ситуация атаки благоприятней для преследуемого самолета.

Математическая постановка задачи. Рассмотрим модельную задачу определения оптимального противоракетного манёвра обороняющегося самолёта (цели), атакованного со стороны его задней полусферы (ЗПС) ракетой класса «воздух-воздух», запущенной самолётом противника, находившимся на одном высотном эшелоне с атакованным самолётом. Управление ракетой (наведение ракеты) производится по методу параллельного сближения: $V_p \sin \theta_p = V_u \sin \theta_u$. Момент окончания наведения ракеты $t_\kappa = \{ t : V_p(t) = V_u \}$. Взаимное расположение атакующей ракеты и цели описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dD}{dt} = -V_p \cos \theta_p + V_u \cos \theta_u.$$

Сделаем ряд эквивалентных преобразований сформулированной задачи.

Уравнение на H_p перепишем в виде:

$$\frac{d\rho_p(H_p)}{dt} = \frac{d\rho_p(H_p)}{dH_p} \frac{dH_p}{dt} = -\kappa \rho_0 \exp(-\kappa H_p) V_p \sin \theta_p,$$

или, учитывая, что $V_p \sin \theta_p = V_u \sin \theta_u$, имеем

$$\frac{d\rho_p}{dt} = -\kappa \rho_p V_u \sin \theta_u.$$

Введём обобщённые координаты: $V = \kappa V_p$, $\rho = \rho_p T$, $D = \kappa D_{p-u}$, $V_\kappa = \kappa V_u$.

Произведя замены:

$$\cos \theta_p = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_p}, \quad \sin \theta_p = \frac{V_u}{V_p} \sin \theta_u, \quad \sin \theta_u = U$$

и, учитывая, что $\frac{dH_u}{dt} = V_u \sin \theta_u = V_p \sin \theta_p = \frac{dH_p}{dt}$, получим следующие соотношения для математической модели задачи оптимального управления:

$$\frac{dD}{dt} = -V \sqrt{1 - \left(\frac{V_\kappa U}{V} \right)^2} + V_\kappa \sqrt{1 - U^2},$$

$$D(0) = D_{p\max}, \quad D(t_\kappa) = 0,$$

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} &= -\rho V - \kappa g \frac{V_k}{V} U, \\ V(0) &= V_0 \quad V(t_k) = V_k, \\ \frac{d\rho}{dt} &= -\rho V U, \\ \rho(0) &= \text{задано}, \quad \rho(t_k) - \text{свободно} \\ D_{\rho \max} &\rightarrow \min.\end{aligned}$$

Теперь сформулируем стандартную задачу оптимального управления с условиями на левом и правом конце интервала времени.

Для этого управляемую систему перепишем в следующем виде:

$$\frac{dV}{dt} = -\rho V - k V_k U / V, \quad k = \kappa g, \quad (1)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho V U,$$

$$\frac{dD}{dt} = -V \sqrt{1 - (V_k U / V)^2} + V_k \sqrt{1 - U^2}.$$

Зададим условия в начальный момент (на левом конце):

$$V(0) = V_{p \max}, \quad \rho(0) = \rho^0, \quad D(0) - \text{неизвестно}, \quad (2)$$

и в конечный момент (на правом конце):

$$V(t_k) = V_k, \quad D(t_k) = 0, \quad \rho(t_k) - \text{свободно}, \quad (3)$$

при этом момент окончания процесса t_k определяется по условию

$$V(t_k) = V_k. \quad (4)$$

На всем отрезке времени должны выполняться ограничения на управление:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}. \quad (5)$$

Требуется найти момент времени t_k и управление $U(t)$, $t \in (0, t_k)$, удовлетворяющее ограничениям (5), при которых выполняются краевые условия (2)-(4) и достигается минимум функционала

$$I(u) = D_p(0). \quad (6)$$

Поставленная задача (1)-(6) отличается от обычной задачи оптимального управления тем, что функционал (6) определен на левом конце интервала времени при $t = 0$. Однако данная постановка укладывается в общую модель задачи оптимизации с параметрами, рассматриваемую пакетом оптимизации управления КОНУС.

В этом пакете начальные условия управляемой системы могут зависеть от параметров, по которым ведется оптимизация. Поэтому достаточно объявить $D(0) = D_{p \max}$ параметром p_1 , входящим в начальные условия системы (1), и затем минимизировать функционал (6). Равенство (4) будет краевым условием, по которому определяется момент t_k . Для этого t_k необходимо также сделать зависимым от параметра, что легко достигается заменой переменной: $t = p\tau$, $0 \leq \tau \leq 1$.

Таким образом, введя параметры p , p_1 , задачу оптимального управления (1)-(6) переформулируем в следующую задачу оптимизации с параметрами

:

$$\frac{dV}{d\tau} = p(-\rho V - k V_k U / V), \quad (7)$$

$$\frac{d\rho}{d\tau} = p(-\rho V U),$$

$$\frac{dD}{d\tau} = p\left(-V\sqrt{1-(V_k U/V)^2} + V_k\sqrt{1-U^2}\right),$$

с условиями в начальный момент $t = 0$:

$$V(0) = V^0, \quad \rho(0) = \rho^0, \quad D(0) = p_1, \quad (8)$$

и с условиями на правом конце в момент $t = t_k$:

$$V(t_k) = V_k, \quad D(t_k) = 0, \quad (9)$$

при тех же ограничениях на управление (5) и с функционалом следующего вида

$$I_0(U) = p_1 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Теперь задача минимизации $D_{p_{\max}}$ будет заключаться в следующем: найти такие значения параметров p , p_1 и управление U , удовлетворяющее ограничениям (5), при которых будут выполнены условия (8), (9) и достигнет минимального значения функционал (10). В теории оптимального управления эта задача носит название задачи с подвижным правым и левым концом траектории.

Полученные пакетом КОНУС [3] результаты показывают возможность выбрать такой маневр, который существенно (на 20-50%) сокращает ЗВП. Серия подобных расчетов была выполнена [1-2] для НИИ Авиационных систем НПО Сухого при проектировании самолета пятого поколения СУ – 57, который в 2020 году был признан (даже Пентагоном!) лидером по маневренности, опередив лучший самолет пятого поколения США F-22.

1. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Численное исследование свойств оптимального управления в одной задаче преследования // Изв. РАН, ТиСУ. 2005. № 3. С. 104-113.
2. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Возможности защиты от атакующей ракеты задней полусферы самолета вертикальным маневром // Изв. РАН, ТиСУ. 2006. № 1. С. 111-125.
3. Тятюшкин А.И. Многометодная технология оптимизации управляемых систем. — Новосибирск: Наука, 2006.
4. Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах // ЖВМ и МФ. 2019. Том 59, № 2. С. 235-246.

ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ РЕПОЗИТОРИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ*

Е.С. Фереферов¹, А.А. Ветров²

1. Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук
2. Научно-исследовательский центр «Байкальский регион», Иркутский государственный университет
fereferov@icc.ru

Геоархеологические исследования — это сложный процесс, требующий использования современных методов обработки данных, информационных технологий (ИТ) и инструментов. Такие исследования многоэтапны и многослойны с высокой степенью детализации. Объем получаемой информации часто приближается к большим данным, что предъявляет повышенные требования к используемым системам управления базами данных (СУБД) и техническим средствам хранения. При разработке геоархеологических информационных систем необходимо учитывать подходы и особенности проведения археологических исследований. Например, работа с данными в полевых условиях на мобильных устройствах может быть осложнена отсутствием доступа к серверам. Также, не смотря на большой возраст археологии как науки, на сегодня нет четких общих стандартов описания исследований. Формирование новых стандартов описания археологических исследований и их развитие требует использования гибких инструментов для создания и поддержки информационных систем на протяжении всего жизненного цикла.

В рамках автоматизации археологических исследований нами была предложена архитектура функционирования «Виртуального геоархеологического репозитория Байкальской Сибири» (Рис. 7). Предполагается два режима взаимодействия с репозиторием: полнофункциональный (закрытый) только для сотрудников НИЦ «Байкальский регион» и общий (презентационный) для широкого круга исследователей.

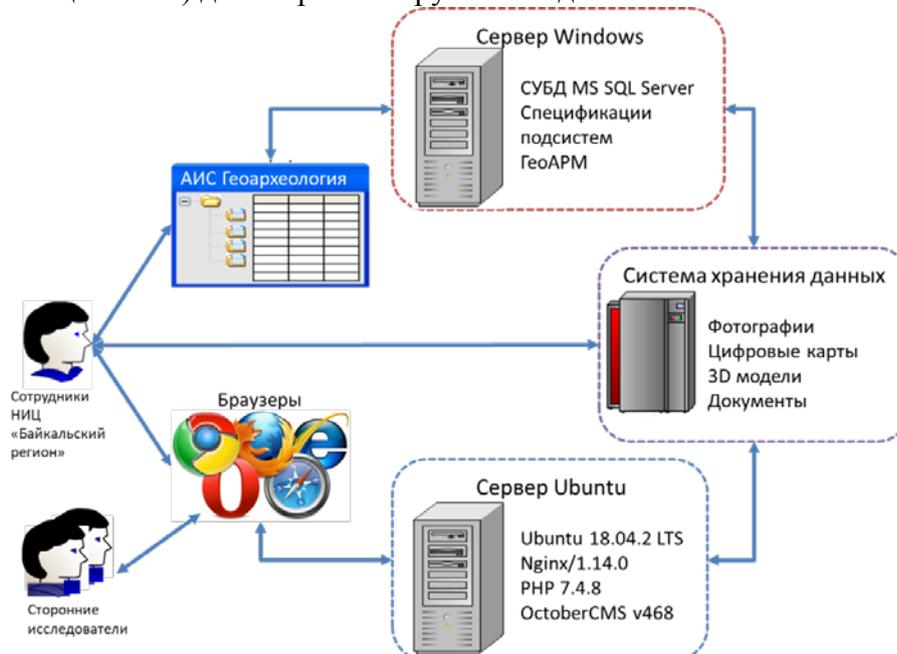


Рис.7 Архитектура виртуального геоархеологического репозитория Байкальской Сибири

На сервере под управлением ОС Windows Server развернута основная полнофункциональная часть репозитория, в состав которой входят базы данных и подсистемы АИС «Геоар-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ, проект № 075-15-2019-866 «Байкальская Сибирь в каменном веке: на перекрестке миров». Развитие инструментальной системы выполнено в рамках проекта № IV.38.1.2 ПФНИ СО РАН (рег. № АААА-А19-119111990037-0)

хеология» под управлением СУБД MS SQL Server, спецификации подсистем и инструментальная система «GeoARM». Надежность хранения данных достигается за счет зеркалирования баз данных и файлов репозитория в сетевую систему хранения данных (СХД). На сервере под управлением Ubuntu развернут геопортал, предназначенный для презентации законченных результатов исследований (доступных для широкого круга исследователей).

Для повышения скорости создания и гибкости сопровождения подсистем АИС «Геоархеология» использован подход к разработке ИС, ориентированный на модель, содержащую достаточную информацию для автоматического создания пользовательских интерфейсов приложений БД, обеспечивающих поддержку выполнения CRUD-функций, построения запросов и взаимодействия с пространственными данными (ПД). В качестве средства хранения и представления моделей приложений БД используются декларативные спецификации [1], которые обеспечивают достаточно детальное и в то же время компактное описание необходимых элементов подсистем. Представление моделей приложений в виде спецификаций позволяет поддерживать модульную разработку ИС – интегрировать и комбинировать готовые спецификации приложений при разработке новых. Готовые спецификации могут быть использованы для автоматического создания как настольных (Desktop), так и web-систем.

Автоматизация разработки подсистем достигается за счет применения инструментальной системы «GeoARM» [2]. «GeoARM» обеспечивает интерактивное формирование всех элементов моделей приложений БД, а также динамическое создание подсистем в результате интерпретации созданных спецификаций. Важную роль в разработке структур БД и создании спецификаций подсистем играют разработанные сотрудниками НИЦ «Байкальский регион» стандарты описания геoarхеологических исследований. Каждый стандарт содержит уже готовый набор атрибутов, связей между ними и является основой для разработки структур таблиц баз данных и моделей конкретных подсистем АИС «Геоархеология».

Разработанная АИС «Геоархеология» предоставляет пользователям доступ к тематическим, картографическим, фотографическим базам данных, а также инструментам для визуализации и анализа данных. Инструментальная система GeoARM поддерживает взаимодействие с внешними подсистемами, что позволяет расширять функциональность приложений без изменения кода самой системы. Мы реализовали поддержку хранения и представления 3D-моделей объектов в AIS Geoarcheology. Эти модели исследователи получают с 3D-сканеров или создают на основе методов фотограмметрии в известных системах моделирования (например, Agisoft [3], Meshmixer [4]). Наша система поддерживает работу с открытым форматом описания геометрии - obj. Визуализация 3D моделей ландшафтов и археологических находок реализована путем вызова внешних систем (в данном случае браузера). При этом для визуализации 3D-моделей объектов использована библиотека Tree.js [5].

Часто археологи проводят исследования в местах, где нет доступа к Интернету и, соответственно, к общему хранилищу (серверу). Мы разработали модуль подготовки и интеграции данных (МПИД) для формирования подсистем, обеспечивающих работу в таких условиях. Этот инструмент обеспечивает генерацию локальных автономных подсистем. С помощью МПИД пользователь может настроить конфигурацию локальной подсистемы, выбрав спецификации необходимых подсистем. Затем МПИД сгенерирует необходимые таблицы базы данных для СУБД SQLite и спецификацию подсистемы для взаимодействия с этой БД. Для работы с подсистемами в автономном режиме исследователю достаточно установить на свой ноутбук файл базы данных в формате SQLite, необходимую спецификацию и фреймворк GeoARM. Также МПИД позволяет загружать данные, собранные с помощью автономной подсистемы, в основную базу данных репозитория.

Для реализации портала мы использовали October CMS, которая реализует паттерн MVC. Для автоматизации мы разработали транслятор спецификаций подсистем в набор

файлов, реализующих модель в October CMS. Созданный портал (Рис. 8) обеспечивает доступ к тематическим и картографическим базам данных через веб-интерфейс. Авторизованные пользователи имеют доступ ко всей информации в репозитории. Остальные пользователи могут просматривать только «краткую запись» об археологических раскопках.

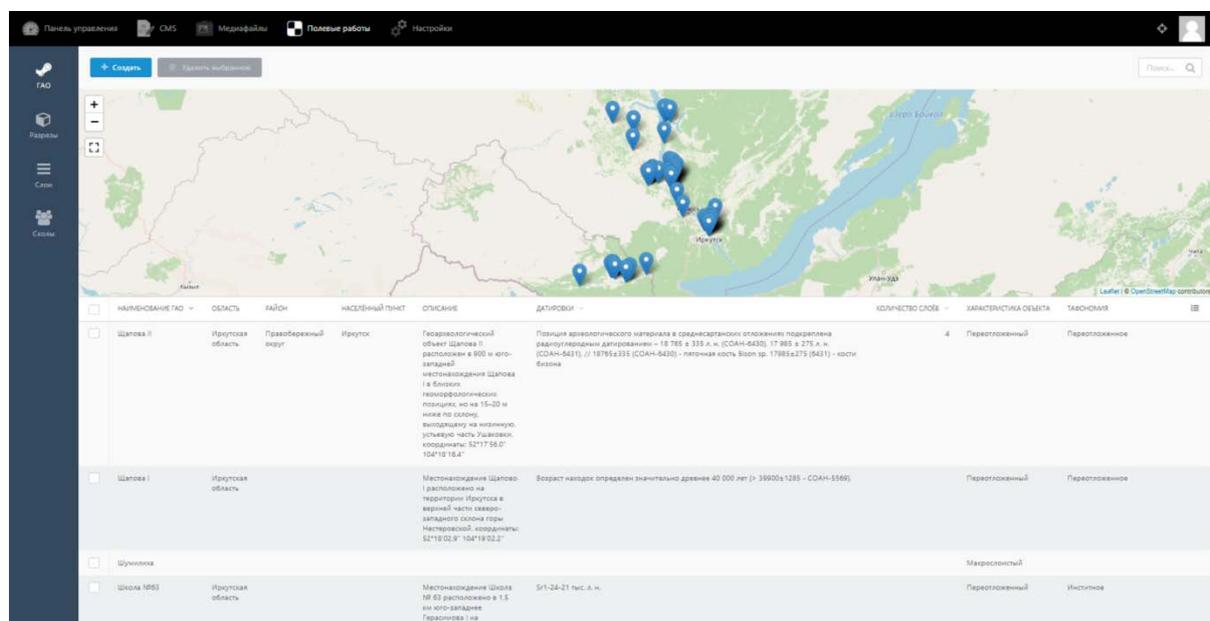


Рис.8 Портал геоархеологического репозитория Байкальской Сибири

1. Фереферов Е.С., Бычков И.В., Хмельнов А.Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 5. С. 85–100.
2. Bychkov I.V., Hmelnov A.E., Fereferov E.S., Rugnikov G.M., Gachenko A.S. Methods and tools for automation of development of information systems using specifications of database applications // Proc. of the 3rd Russian-Pacific Conf. on Computer Technology and Applications (RPC 2018). 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482170
3. Agisoft Metashape URL: <https://www.agisoft.com/> (дата обращения: 25.08.2019)
4. Meshmixer. URL: <http://www.meshmixer.com/> (дата обращения: 16.08.2019)
5. Tree.js – JavaScript 3D library URL: <https://threejs.org/> (дата обращения: 19.08.2019)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТОДА НЕЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА TEACHING–LEARNING-BASED OPTIMIZATION*

Ф.В. Хандаров¹, П.С. Сороковиков²

¹Бурятский государственный университет

²Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
fedor.khandarov@gmail.com, sorokovikov.p.s@gmail.com

Задача поиска глобального экстремума невыпуклой функции продолжает оставаться одной из самых сложных как в теории оптимизации, так и в практических приложениях. Исследования по разработке численных методов нелокального поиска в последние годы ведутся очень активно во многих научных организациях, как российских, так и зарубежных. К настоящему времени специалистами представлено большое количество методов и алгоритмов различного происхождения [1], отличающихся друг от друга вычислительными характеристиками. Одними из таких методов являются поисковые метаэвристические алгоритмы, «инспирированные природой» (см., напр., [2–4]), популярность которых связана с ростом вычислительных мощностей и необходимостью решения многоэкстремальных задач большой размерности.

Метод нелокального поиска Teaching–Learning-Based Optimization (TLBO) предложен R.V. Rao в 2011 году (см., напр., [5]) и представляет собой алгоритм, «вдохновленный человеческим обществом». Метод TLBO оперирует множеством агентов, которое рассматривается как группа учащихся. Работа посвящена численному исследованию свойств указанного алгоритма с помощью проведения многовариантных вычислительных экспериментов на коллекции тестовых задач.

Рассматривается задача поиска глобального минимума невыпуклой функции с прямыми (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 приведенные ниже задачи невыпуклой оптимизации, часто используемые при исследовании методов глобального поиска.

I. Функция Розенброка (Rosenbrock):

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100 \cdot (x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2), B = [-2.048, 2.048]^n, n = 100.$$

Точка и значение глобального минимума: $x_i^* = 1.0, f^* = 0.0$.

II. Функция Растригина (Rastrigin):

$$f(x) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cdot \cos(2\pi x_i)), B = [-5.12, 5.12]^n, n = 100.$$

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

III. Функция Гриванка (Griewank):

$$f(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^2}{4000} \right) - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}} \right), B = [-600.0, 600.0]^n, n = 100.$$

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

Численное исследование метода TLBO производилось в сравнении с тремя другими «биоинспирированными» алгоритмами: методом роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) [6], алгоритмом светлячков (Firefly Optimization) [7], методом опыления цветков (Flower Pollination Algorithm, FPA) [8]. Рассматриваемые алгоритмы были реализованы на языке C с применением единых программных стандартов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № [19-37-90065](#).

Для каждого метода были обеспечены одинаковые условия тестирования. Алгоритмы запускались 50 раз из одних и тех же начальных популяций, равномерно распределенных в области определения функции. Размерность тестовых задач составляет 100 переменных. Размер популяции для всех методов равен 10. Единым критерием останова для всех алгоритмов является превышение 10000 вызовов целевой функции.

На рис. 9 представлены результаты сравнения алгоритмов в виде коробчатых диаграмм. По вертикальной оси отложены средние значения функции по всей популяции. В табл. 1 приведена статистика по запускам: минимальное, максимальное и среднее значения, стандартное отклонение.

Проведенные вычислительные эксперименты продемонстрировали конкурентоспособность метода TLBO, по крайней мере, для описанных условий.

Таблица 1. Обобщенные результаты тестирования алгоритмов

Алгоритм	Минимальное значение			Максимальное значение		
	Rosenbrock	Rastrigin	Griewank	Rosenbrock	Rastrigin	Griewank
TLBO	723.8932	399.5344	142.9838	2081.243	960.5646	335.3688
PSO	1422.508	800.6267	237.7336	3007.81	1046.2	464.7423
Firefly	172.1055	683.3173	165.7194	412.1109	1016.688	252.5575
FPA	1158.61	707.2599	227.9059	3373.532	935.6094	467.7887
Алгоритм	Среднее значение			Стандартное отклонение		
	Rosenbrock	Rastrigin	Griewank	Rosenbrock	Rastrigin	Griewank
TLBO	1260.858	746.3521	208.3646	249.7297	142.738	44.2429
PSO	2190.001	937.3794	339.3733	400.2489	53.785	49.6297
Firefly	299.8136	818.9893	205.3525	61.3799	69.126	17.1197
FPA	2120.573	856.665	327.3437	468.7932	44.5432	57.353

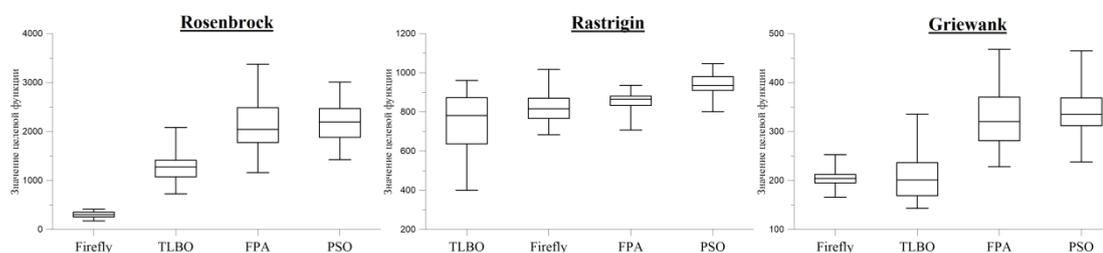


Рис. 9. Коробчатые диаграммы численного сравнения алгоритмов

1. Floudas C.A., Pardalos P.M. Encyclopedia of optimization. New York: Springer Science & Business Media, 2009. 4626 p.
2. Xing B., Gao W.J. Innovative computational intelligence: a rough guide to 134 clever algorithms. Cham: Springer, 2014. 451 p.
3. Yang X.S. Nature-inspired metaheuristic algorithms. Frome: Luniver Press, 2010. 148 p.
4. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: Издательство МГГУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446 с.
5. 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.
6. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks. 1995. Vol. 4. P. 1942–1948.
7. Yang X.S. Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization // International Journal of Bio-Inspired Computation. 2010. Vol. 2, No. 2. P. 78–84.
8. Yang X.S. Flower pollination algorithm for global optimization // International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation. 2012. P. 240–249.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТАБЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДОКУМЕНТОВ

И.А. Черепанов, А.А. Михайлов, А.О. Шигаров
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН

Изображения документов хранят большое количество ценных табличных данных, которые могут быть востребованы различными научными и бизнес-приложениями. Для использования в дальнейшей обработке такая информация должна быть представлена в машиночитаемом виде. Одной из наиболее актуальных проблем анализа компоновки изображений документов является извлечение таблиц и конвертирования их в формат с разметкой (например, HTML или Excel). Для извлечения таблицы необходимо сначала обнаружить её область расположения, а после распознать структуру ячеек.

В последние годы, техники глубокого обучения начали активно применяться к задачам извлечения таблиц, в т. ч. бинарная классификация на основе сверточных нейронных сетей [1], предобученные модели обнаружения объектов на естественных изображениях [2] и семантическая сегментация изображений [3].

Процесс обучения глубоких нейросетевых моделей обнаружения таблиц в документах включает в себя множество манипуляций с данными, таких как объединение разных наборов данных, преобразование изображений, аугментация и т.д., а также действий по настройке параметров. Как правило, для получения приемлемой модели требуется проводить серию экспериментов с разными параметрами обучения, данными, способами преобразования и аугментации.

В работе рассматривается задача автоматизации процесса глубокого обучения таких моделей. Был спроектирован рабочий процесс получения модели, включающий: преобразование наборов данных в унифицированный формат «PASCAL VOC», преобразование изображений, аугментация данных, преобразование в формат «TensorFlow Records», обучение и тестирование работы модели. Рабочий процесс программно реализован на языке Python и опубликован в открытом доступе под названием DL4TD*. Для демонстрации процесса обучения пользовательских моделей обнаружения таблиц разработана интерактивная инструкция в среде «Google Colab».

С помощью DL4TD была обучена модель на наборах размеченных данных Marmot, ICDAR-2017, UNLV и SciTSR. Модель обучалась 200 тысяч шагов с помощью платформы TensorFlow Object Detection API. Оценка производительности модели на соревновательном наборе данных «ICDAR 2013 Table Detection» показала полноту – 98.4% и точность – 91.2%.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 18-71-10001.

1. Hao L., Gao L., Yi X., Tang Z. A table detection method for PDF documents based on convolutional neural networks. Proc. 12th IAPR W. Document Analysis Systems. 2016. pp. 287-292.
2. Arif S., Shafait F. Table detection in document images using foreground and background features. Proc. Digital Image Computing: Techniques and Applications. 2018. pp. 1-8.
3. He D., Cohen S., Price B., Kifer D., Giles C.L. Multi-scale multi-task FCN for semantic page segmentation and table detection. Proc. 14th IAPR Int. Conf. on Document Analysis and Recognition. 2017. vol. 1, pp. 254-261.

* <https://github.com/tabbydoc/dl4td>

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ СИСТЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Чистяков В.Ф., Чистякова Е.В.

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
chist@icc.ru, elena.chistyakova@icc.ru

Рассматриваются системы линейных интегральных уравнений

$$(\Lambda_0 + \lambda V)y: = A(t)y + \lambda \int_{\alpha}^t p(t,s)K(t,s)y(s)ds = f, \quad t \in T = [\alpha, \beta], \quad (1)$$

где $A(t), B(t), K(t, s) - (m \times n)$ -матрицы, определенные в областях T и $T \times T$ соответственно, $p(t, s) = 1$ или $p(t, s) = (t - s)^{-\delta}$, $\delta < 1$, λ – скалярный комплексный параметр, $y \equiv y(t)$ и $f \equiv f(t)$ – искомая и заданная вектор-функции. Предполагается, что входные данные достаточно гладкие и выполнено условие

$$\text{rank } A(t) = \min(m, n) \quad \forall t \in T \quad \text{либо} \quad \text{rank } A(t) = \min(m, n) \quad \forall t \in T \quad (2)$$

Системы (1) называются невырожденными, если выполнена первая часть альтернативы (2). В противном случае их называют интегро-алгебраическими уравнениями (ИАУ). Частным случаем ИАУ (1) являются системы взаимосвязанных уравнений интегральных уравнений Вольтерра первого и второго рода и алгебраических (конечных) уравнений. Совокупность этих уравнений всегда можно записать в виде системы (1).

В докладе обсуждаются условия разрешимости ИАУ (1) и способы вычисления индекса ИАУ: целочисленного параметра, характеризующего сложность структуры ИАУ. Индекс, в частности, при $p(t, s) = 1$ определяет порядок производных входных данных $A(t), B(t), K(t, s), f(t)$, от которых зависит решение системы. Рассматриваются модификации понятия индекса для случая ИАУ (1), когда ядро системы содержит слабую особенность: $p(t, s) = (t - s)^{-\delta}$, $\delta < 1$.

Для численного решения ИАУ (1) предлагается использовать метод наименьших квадратов. Функционал невязки здесь выбирается в виде соотношения

$$F(y) = \|(\Lambda_0 + \lambda V)y - f\|_{W_2^l(T)}^2$$

где $W_2^l(T)$ – пространство Соболева, число l выбирается с учетом индекса ИАУ. Частные случаи проблем, связанных с поставленными в докладе задачами, можно найти в работах [1-6].

1. Bulatov M. V., Nadizadeh M., Chistyakova E.V. Construction of implicit multistep methods for solving integral algebraic equations // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 10. Прикл. матем. Информ. Проц. упр. 2019. Т. 15. № 3. С. 310–322.
2. Чистяков В. Ф. О разрешимости линейных интегро-алгебраических уравнений и численных методах их решения. 2013. Сиб. матем. журн. Т. 54. № 4. С. 932-946.
3. Чистяков В. Ф. О разрешимости систем интегральных уравнений типа Вольтерра IV рода. I. 2002. Дифференциальные уравнения. Т. 38. № 5. С. 698–707.
4. Brunner H., Bulatov M. V., On singular systems of integral equations with weakly singular kernels // Proc. of 11th Baikal international school-seminar, V. 4 (July 5–12, 1998, Irkutsk), pp. 64–67.
6. Чистяков В.Ф. О сингулярных системах обыкновенных дифференциальных уравнений и их интегральных аналогах // Функции Ляпунова и их применения. Новосибирск: Наука, 1987. С.231–239.

О РАЗРЕШИМОСТИ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ЭВОЛЮЦИОННЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ
ПРОИЗВОДНЫХ И МЕТОДЕ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Чистяков В.Ф.

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

Рассматриваются системы эволюционных уравнений в частных производных вида

$$A_k(D_t, D_x)u := \sum_{j=0}^k A_j(x, t, D_x) D_t^j u = f(x, t), \quad (x, t) \in U = X \times T, \quad (1)$$

где $T = [\alpha, \beta]$, $X = [x_0, x_1]$, $D_t \equiv \frac{\partial}{\partial t}$, $D_x \equiv \frac{\partial}{\partial x}$, $A_j(x, t, D_x)$ – $(n \times n)$ -матрицы с элементами в виде дифференциальных операторов по x :

$$A_j(x, t, D_x) = \begin{pmatrix} a_{11,j}(x, t, D_x) & \cdots & a_{1n,j}(x, t, D_x) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1,j}(x, t, D_x) & \cdots & a_{nn,j}(x, t, D_x) \end{pmatrix}, \quad a_{pq,j}(x, t, D_x) = \sum_{i=0}^{m_{pq,j}} \omega_{pq,j}^i(x, t) D_x^i,$$

$\omega_{pq,j}^i(x, t)$ – коэффициенты операторов $a_{pq,j}(x, t, D_x)$. Коэффициенты являются заданными скалярными функциями от $(x, t) \in U$, нулевая степень операторов дифференцирования является единичным оператором, $f(x, t)$ и $u \equiv u(x, t)$ – заданная и искомая вектор-функции соответственно. Предполагается, что для любого $\theta \in T$ система уравнений

$$A_k(x, \theta, D_x)z = 0, \quad x \in X,$$

имеет бесконечномерное пространство решений. Системы вида (1), удовлетворяющие этому условию, автор называет "дифференциально-алгебраическими уравнениями (ДАУ)". В случае постоянных коэффициентов система (1) является ДАУ тогда и только тогда, когда

$$\det A_k(\lambda) = 0 \quad \forall \lambda$$

где λ – скалярный параметр (в общем случае комплексный). Частным случаем ДАУ (1) являются системы взаимосвязанных уравнений в частных производных, обыкновенных дифференциальных и алгебраических (конечных) уравнений. Совокупность этих уравнений всегда можно записать в виде системы (1).

В докладе обсуждаются условия разрешимости ДАУ (1) и способы вычисления индекса ДАУ: целочисленного параметра, характеризующего сложность структуры ДАУ.

Индекс, в частности, определяет порядок производных входных данных (коэффициентов ДАУ, свободного члена и начально-краевых условий), от которых зависит решение задачи. Указан критерий, при выполнении которых система уравнений (1) имеет единственное решение в области U .

Под решением системы в области мы принимаем любую вектор-функцию $u \equiv u(x, t)$, которая имеет непрерывные производные всех требуемых порядков и обращает уравнение (1) в тождество в U при подстановке.

Предполагается, что для системы (1) заданы краевые условия

$$u_i(x, \alpha) = v_i(x), \quad u_i(x, t) = D_t^i u(x, t), \quad x \in X, \quad i = 0, 1, \dots, \chi, \quad (2)$$

$$u_j(x_0, t) = w_j(t), \quad u_j(x, t) = D_x^j u(x, t), \quad t \in T, \quad j = 0, 1, \dots, \chi_1, \quad (3)$$

где $v_i(x), w_j(t)$ – заданные вектор-функции. Для решения задач (1), (2), (3) предлагается использовать метод наименьших квадратов. Функционал невязки здесь выбирается в виде соотношения

$$F(y) = \|A_k(D_t, D_x)u - f(x, t)\|_{W_2^l(U)}^2 + \sum_{i=0}^{\chi} \|u_i(x, \alpha) - v_i(x)\|_{W_2^l(X)}^2 + \sum_{j=0}^{\chi_1} \|u_j(x_0, t) - w_i(t)\|_{W_2^l(T)}^2$$

$W_2^l(U)$, $W_2^l(X)$, $W_2^l(T)$ –пространства Соболева, некоторый набор чисел $l = (l_1, l_2, \dots, l_g)$ выбирается с учетом индекса ДАУ. В докладе приведены примеры, поясняющие выбор такого (часто безальтернативного) метода решения. Частные случаи проблем, связанных с поставленными в докладе задачами, можно найти в работах [1-3].

1. Chistyakov V. F., Chistyakova E. V., On the concept of index for partial differential algebraic equations arising in modelling of processes in power plants // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Матем. моделирование и программирование. 2017. Т. 10. № 2. С. 5–23.
2. Диеп Н.Х., Чистяков В.Ф., Об одном численном методе решения дифференциально-алгебраических уравнений в частных производных. Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2013. Т. 53. № 6. С. 946–957
3. Бормотова О. В. , Чистяков В. Ф. , О методах численного решения и исследования систем не типа Коши–Ковалевской. Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2004. Т. 44. № 8. С. 1380–1387.

ПОСТРОЕНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ LAMOTIVO

А.С. Шабалин

Иркутский государственный университет

Современное веб-приложение – это нечто большее, чем обычный сайт. Благодаря JavaScript сегодня можно реализовать приложение в браузере не хуже, чем классические программы для компьютера. На заре становления интернета имели популярность различные системы управления сайтом (CMS), которые представляли из себя набор заранее заданных сценариев использования. Тут уместно вспомнить такие системы, как WordPress, Joomla, Drupal. В свое время они были хороши, но из-за их разносторонней направленности и желанию «угодить всем», их внутренняя архитектура продолжает страдать (тут и неправильное использование базы данных, и исторически сложившиеся ограничения). Со временем ситуация не меняется: веб-технологии развиваются, а они остаются на прежнем уровне, часто в угоду обратной совместимости. Создавать веб-приложения на основе существующих популярных CMS весьма проблематично. Позднее на смену CMS приходят профессиональные инструменты – веб-фреймворки, предоставляющие гибкость проектирования приложения и скорость разработки.

Если рассматривать язык PHP как наиболее популярный язык для веб-приложений, то здесь заслуженно стоит упомянуть такие системы, как Symfony, Zend, Yii, Laravel. Наиболее популярным является веб-фреймворк Laravel за счет своей гибкости и функциональности, а также возможности применения новых методик и парадигм построения приложений, таких, как IoC (Inversion of Control) – инверсия управления и Dependency Injection – внедрение зависимостей.

Работа с фреймворками удобна и практична, за исключением одного важного момента, с которым часто сталкиваются разработчики, это – пользовательский интерфейс для управления приложением, некой административной панели управления, которая есть во всех CMS. Любая CMS – это в первую очередь «админка», от которой идет весь процесс разработки, что зачастую и становится ограничением для реализации всех задумок. С фреймворками ситуация обратная – сначала проектируется архитектура проекта, а потом реализуется панель управления. Laravel не является исключением. Создание этой части проекта по сути является отдельным проектом, и для каждого проекта создавать такую систему управления «с нуля» очень затратно.

Для восполнения этого пробела можно воспользоваться готовыми решениями, которые в большинстве случаев позволяют реализовать управление сущностями проекта. Здесь можно отметить несколько успешных проектов: Laravel Voyager, SleepingOwl Admin, Laravel Admin, Laravel Backpack и, конечно же, Laravel Nova от самого разработчика фреймворка. Часть из них требуют «игры» полностью по их правилам изначально, т. е. подключить их к уже существующему проекту зачастую либо невозможно, либо очень сложно. Кроме того, эти системы ограничены функциями редактирования сущностей, хотя и имеют некоторые возможности по расширению.

Для разработки собственной платформы для построения пользовательского интерфейса Lamotivo были выделены несколько критериев:

- Система должна быть единой для разных проектов, но подстраиваться под конкретные задачи проекта,
- Создание проекта, не должно зависеть от системы.

На данный момент платформа Lamotivo обеспечивает работу серверной и клиентской части проекта и может быть использована как дополнение к существующему проекту на Laravel, так и в виде самостоятельного приложения.

Существующие функции системы:

- Управление сущностями проекта, включая отношения между сущностями («один-к-одному», «один-ко-многим», «многие-ко-многим», а также полиморфные отношения), с

различными видами полей для данных (более 40), с валидацией данных при сохранении, с поиском и фильтрацией по заданным критериям,

- Отчетные выборки по данным, вывод графиков в виде метрик, экспорт и импорт сущностей,

- Действия в отношении сущностей, включая массовые действия над несколькими сущностями одновременно,

- Единая аутентификация для входа в систему, авторизация доступа к разделам, включая систему ролей и разрешений,

- Работа с WebSocket для интерактивного интерфейса в режиме реального времени,

- Обработка событий и уведомлений приложения,

- Подсистема управления загрузками, включая работу с различными файловыми хранилищами, и статичными ресурсами приложения,

- Подсистема управления сайтом: страницы, меню, хлебные крошки, мета-информация, формы, виджеты, экспорт данных в формате RSS, карта сайта в формате XML, трекеры и настройки сайта, система оформительских тем сайта.

FUZZYRVML: НОТАЦИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ*

А.Ю. Юрин, Н.О. Дородных

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

iskander@icc.ru

Несмотря на популярность семантических технологий и, в частности, онтологий для представления знаний, логические и ассоциативные правила остаются наиболее распространенным и популярным способом описания и принятия решений экспертами предметной области [1]. Привлекательность данной модели представления знаний обусловлена ее простотой и понятностью для экспертов, высокой модульностью, простотой внесения изменений и прозрачностью логического вывода. Ряд языков программирования и стандартов реализуют этот формализм, например, CLIPS (C Language Integrated Production System), JESS (Java Expert System Shell), SWRL (Semantic Web Rule Language), Drools, RIF (Rule Interchange Format) и др. Для некоторых из них разработаны средства поддержки визуального программирования, например VisualJESS. При этом перспективным для визуализации является применение не оригинальных нотаций, а расширений или профилей широко известных языков моделирования, таких как UML. Примерами подобных расширений являются UML-Based Rule Modeling Language (URML) [2] и Rule Visual Modeling Language (RVML) [3].

Решение многих практических задач требует учета неполноты и неточности исходных данных и знаний. На основе опыта применения RVML [4], предлагается его расширить с целью поддержки представления и интерпретации неточности и неполноты. Предлагаемое расширение, называемое FuzzyRVML, включает использование: нового типа данных Fuzzy (т.е. нечеткие), коэффициентов уверенности, выражающих субъективные вероятности и экспертные предпочтения; а также нового графического элемента для представления функций принадлежности (Рис.1) для нечетких переменных (свойств).



Рис.1. Дополнительные графические элементы FuzzyRVML для обозначения функций принадлежности: T – табличной; A – аналитической. Basic scale – шкала; Units – единицы измерения; Fuzzy set description – описание множества значений; Function type – тип функции.

FuzzyRVML предназначен для моделирования нечетких продукций и генерации программных исходных кодов для FuzzyCLIPS. Поддержку FuzzyRVML планируется обеспечить в программных средствах Knowledge Base Development System (KBDS) и Personal knowledge Base Designer (PKBD).

1. Wagner, W.P.: Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies // Expert Systems with Applications. 2017. vol.76, pp.85–96.
2. Lukichev, S., Giurca, A., Wagner, G., Gasevic, D., Ribaric, M.: Using UML-based rules for web services modeling // Proceedings IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop. 2007. pp. 290–297.
3. Юрин А.Ю. Нотация для проектирования баз знаний продукционных экспертных систем // Объектные системы. 2016. №12. С.48-54.
4. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Технология создания продукционных экспертных систем на основе модельных трансформаций / Под.ред. О.А. Николайчук. Новосибирск: СО РАН, 2019. 144 с.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 19-07-00927.

Секция «Юные исследователи»

ВЕТРОГЕНЕРАТОР, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УДАЛЕННЫХ РАЙОНАХ

Е. В. Гарбовский
МБОУ «Лицей № 2» г. Братска
garbovskiy03@gmail.com

Жизнедеятельность человечества невозможна без потребления энергии: она необходима для производства промышленных продуктов и не только. Современное энергопотребление основано на использовании невозобновимых запасов ископаемого топлива. Это доказывает наличие энергетической проблемы, стоящей перед человечеством: быстрое истощение невозобновимого ископаемого топлива при нарастающих темпах его потребления, а также нарастающее загрязнение окружающей среды.

Она показывает неизбежность перехода к альтернативным источникам энергии (АИЭ). Одним из них является ветер. Для преобразования энергии ветра используют ветрогенератор, устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Цель работы: создание модели ветрогенератора, который будет эксплуатироваться в удаленных районах России. Он должен быть адаптирован к суровым природным условиям эксплуатации.

Задачами исследования являются:

1. Изучить механику работы и типы ветрогенераторов и выбрать наиболее подходящий тип ветрогенератора.
2. Изучить условия территорий, в которых ветрогенератор будет эксплуатироваться.
3. Создать концепт ветрогенератора с наилучшими характеристиками для работы в районах с суровыми условиями.

Принцип действия всех ветродвигателей один: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу генератора, вырабатывающего электроэнергию. Чем больше диаметр ветроколеса, тем больший воздушный поток оно захватывает, и тем больше энергии вырабатывает агрегат.

Изучив характеристики ветрогенераторов, я решил, что мой прибор будет таким:

- многолопастным (т.к. устройства будут использоваться в регионах с сильными порывами ветра от 7 м/с и более, так конструкция будет более устойчива и надежна);
- лопасти жёсткие (из-за суровых условий);
- ось вращения расположена вертикально к поверхности земли (надежнее в эксплуатации);
- с фиксированным шагом (так более надежно).

В результате работы у меня получилось создать модель ветрогенератора, которая сможет работать при стихийных погодных условиях и более эффективно при этом вырабатывать электричество. Подсчитав расходы (не учитывая установку устройства и его доставку в точку эксплуатации) я понял, что значительно увеличил стоимость установки на 90,5% (Инвертор и 4 шт. АКБ были необходимы, они не шли в наборе). Ветрогенератор окупается при такой комплектации за 84 месяца, что довольно значительно. Поэтому я пришел к выводу, что данная установка не подходит для обеспечения частного дома или квартиры, так как она стоит очень дорого и долго окупается. Ее стоит устанавливать, если вы уверены в том, что вы проживете в данном доме или квартире больше 10-15 лет, и только тогда данный ветрогенератор даст свои «плоды». Однако данный ветрогенератор отлично подходит для обеспечения электроэнергией исследовательских станций, зданий и

домов, находящихся в труднодоступных местах, до которых провести электричество «по проводам» или невозможно или очень дорого и проблематично.

1. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: Изд-во Академии сельхознаук, 2006.
2. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки. – М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948.
3. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы. Харьков: Национальный аэрокосмический ун-т, Харьков, 2003.
4. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Книга 2. Ветроэнергетика. Харьков: Национальный аэрокосмический ун-т, Харьков, 2004.
5. Андреева О. Создание ветрогенератора:
https://znanio.ru/media/issledovatel'skaya_rabota_sozdanie_vetrogeneratora-150236
6. Виды вертикальных ветрогенераторов: <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontálne.html>
7. Модель Ветрогенератора: <http://alen-e.ru/products/catalog5>
8. Окупаемость ветрогенераторов <https://altenergiya.ru/veter/vygoden-li-vetrogenerator-raschet-okupaemosti-ustrojstva-v-usloviyah-rossijskoj-dejstvitel'nosti.html>

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО СКРИПТА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОИСКОВОГО АЛГОРИТМА НА БАЗЕ В-ДЕРЕВЬЕВ*

Дубровин Т.Г.¹, Добринец И.М.²

¹МАОУ г. Иркутска «Лицей ИГУ»

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

¹tihon_baikal_99@mail.ru, ²doabr.ph@gmail.com

Исследование возможностей поисковых алгоритмов в сложных древовидных структурах информации в рамках тестовой Linux-платформы проекта является одним из приоритетных исследовательских направлений по проектированию среды *BaikalIntelli* [1] для решения задачи быстрого поиска информации в больших гетерогенных базах данных (знаний). При этом информация может содержаться не только в привычных и хорошо знакомых разработчикам SQL-базах данных, но и в огромном количестве файлов специальных структурированных форматов (xml, json).

В-дерево — структура данных, дерево поиска. **В** в слове означает «**Balanced**», то есть «сбалансированное». Использование В-деревьев впервые было предложено Р. Бэйером (англ. R. Bayer) и Э. МакКрейтом (англ. E. McCreight) в 1970 году. Сбалансированность означает, что длина любых двух путей от корня до листьев различается не более, чем на единицу. Ветвистость дерева — это свойство каждого узла дерева ссылаться на большое число узлов-потомков.

В-деревья позволяют быстро находить целые блоки данных по заданному ключу. Кроме того, они решают сразу большой объем проблем: поиск, добавление, удаление. Благодаря этим достоинствам они получили широкую популярность в базах данных, в частности в ISAM и MyISAM от MySQL.

Для того чтобы лучше понять алгоритмы работы с В-деревьями, были апробированы многочисленные симуляторы, собрана библиотека примеров на разных языках программирования [2, 3]. В ходе сравнительного анализа было выявлено, что существующие поисковые симуляторы дают представление только о принципах, а не о тонкостях алгоритмизации. Примеры программ часто неполны, устарели или содержат алгоритмические ошибки.

При построении В-дерева применяется фактор t , который называется минимальной степенью. Каждый узел, кроме корневого узла, должен иметь, как минимум $t-1$, и не более $2t-1$ ключей. Обозначается $n[x]$ — количество ключей в узле x .

Ключи в узле хранятся в неубывающем порядке. Если x не является листом, то он имеет $n[x]+1$ детей. Если занумеровать ключи в узле x , как $k[i]$, а детей $c[i]$, то для любого ключа в поддереве с корнем $c[i]$ (пусть k_1), выполняется следующее неравенство $-k[i-1] \leq k_1 \leq k[i]$ (для $c[0]: k[i-1] = -\infty$, а для $c[n[x]]: k[i] = +\infty$). Таким образом, ключи узла задают диапазон для ключей их детей.

Все листья В-дерева должны быть расположены на одной высоте, которая и является высотой дерева. Высота В-дерева с $n \geq 1$ узлами и минимальной степенью $t \geq 2$ не превышает $\log_t(n+1)$. Это важное утверждение. $h \leq \log_t((n+1)/2)$ — логарифм по основанию t .

Для реализации сбалансированного поиска дерева было описано два класса:

- класс *Node*, отвечающий за операции над узлами В-дерева;
- класс *BPlusTree*, отвечающий за операции над В-деревом.

Класс *Node* имеет в себе важные функции, без которых само дерево *BPlusTree* работать не будет, и также не будут работать вспомогательные функции, которые облегчают работу нашего *BPlusTree*.

Класс Node содержит следующие атрибуты и функции:

- атрибут порядок (order);
- атрибут ключи (keys);
- атрибут значения (values);
- атрибут лист (leaf);
- функция добавления ключей и значений (add);
- функция разделения узла на две части (split);
- функция проверки на полноту (is_full);
- функция вывода на экран ключей узла (show).

Класс BPlusTree содержит следующие атрибуты и функции:

- атрибут корень (Node);
- функция поиска места для вставки узла по ключу (find);
- функция извлечения свободного элемента (merge);
- функция вставки пары ключей-значений (insert);
- функция поиска значения по ключу (retrieve);
- функция вывода на экран ключей на каждом уровне (show).

Особенности реализации класса Node

Функция add дополняет узел ключами и значениями. Для этого мы спускаемся по дереву, в поисках места для вставки нового ключа. Если вставляемый ключ больше текущего, идём вправо; если меньше, то идём влево; если равен, то останавливаемся и выходим: ключ уже есть в дереве и вставлять не нужно. Затем проверяем узел на наличие ключей. Если ключей нет вообще, записываем добавляемый ключ и значение в узел и завершаем работу функции. Иначе перебираем все ключи по порядку. Если вставляемый ключ окажется равен одному из имеющихся в узле, то добавляем вставляемое значение к значениям этого индекса узла.

Если будет найден ключ, который больше вставляемого ключа (напоминаем, что ключи в узле всегда упорядочены по возрастанию), то вставляем ключ и значение в узел перед найденным индексом большего ключа, сохраняя упорядочивание.

Если список ключей кончился, то добавляем ключ и значение в конец списка узла.

```
def add(self, key, value):
    if not self.keys:
        self.keys.append(key)
        self.values.append([value])
        return None
    for i, item in enumerate(self.keys):
        if key == item:
            self.values[i].append(value)
            break
        elif key < item:
            self.keys = self.keys[:i] + [key] + self.keys[i:]
            self.values = self.values[:i] + [[value]] + self.values[i:]
            break
    #i отстаёт на одно значение, key[i] - i+1-й элемент списка->элемент №4
    elif i + 1 == len(self.keys):
        self.keys.append(key)
        self.values.append([value])
        break
```

Функция __init__ создаёт (инициализирует) новый пустой узел заданного порядка, который является листом и не содержит ни ключей, ни значений.

```
def __init__(self, order):
    self.order = order
    self.keys = []
    self.values = []
    self.leaf = True
```

Функция `split` делит заданный узел на две части. Инициализируем два новых узла (левый и правый). Ищем середину исходного узла и записываем ключи и значения меньше индекса середины в левый, а больше – в правый список. Затем оставляем в исходном списке лишь один ключ, младший в правом узле (забираем его из этого узла). В качестве значений исходного узла принимаем левый и правый узлы полностью.

Из правой части забираем самый первый ключ в исходный ключ.

Объявляем, что исходный узел не лист.

```
def split(self):
    left = Node(self.order)
    right = Node(self.order)
    mid = self.order // 2 - 1
    left.keys = self.keys[:mid]
    left.values = self.values[:mid]
    right.keys = self.keys[(mid):]
    right.values = self.values[(mid):]
    self.keys = [right.keys[0]]
    right.keys = right.keys[1:]
    right.values = right.values[1:]
    self.values = [left, right]
    self.leaf = False
```

Функция `is_full` дает ответ, заполнен ли наш узел полностью. Для этого функция возвращает результат сравнения порядка узла и количества ключей в нём (истину в случае совпадения или ложь в случае несовпадения значений).

```
def is_full(self):
    return len(self.keys) == self.order
```

Функция `show` выводит все ключи заданного списка. Если список не является листом, то рекурсивно запускаем эту функцию для всех значений заданного списка.

```
def show(self, counter=0):
    print(counter, str(self.keys))
    if not self.leaf:
        for item in self.values:
            item.show(counter + 1)
```

Особенности реализации класса `BPlusTree`

Функция `init` задаёт атрибут `root` в качестве нового пустого узла.

```
def __init__(self, order=8):
    self.root = Node(order)
```

Функция `find` возвращает индекс для заданного узла и ключа, где ключ должен быть вставлен и список значений по этому индексу. Начинает перебор всех ключей в узле. Если найден больше, чем заданный, то возвращаем значение и индекс этого ключа. Иначе возвращаем последнее значение и последний индекс узла.

```
def _find(self, node, key):
    for i, item in enumerate(node.keys):
        if key < item:
            return node.values[i], i
    return node.values[i + 1], i + 1
```

Функция `merge` извлекает для родительского и дочернего узла свободный элемент из дочернего и вставляет в ключи родителя. Вставляет значения от ребенка в значения родителя.

Удаляем одно из значений родительского списка по заданному индексу с конца. Сохраняет отдельно первый ключ родительского списка. Ищем место для сохранённого ключа среди ключей родительского списка. Если место найдено, то вставляем на него ключ и все значения дочернего списка. Иначе дописываем ключ и значения в самый конец родительского списка.

```
def _merge(self, parent, child, index):
    parent.values.pop(index)
    pivot = child.keys[0]
    for i, item in enumerate(parent.keys):
        if pivot < item:
```

```

        parent.keys = parent.keys[:i] + [pivot] + parent.keys[i:]
        parent.values = parent.values[:i] + child.values +
        parent.values[i:]
        break
    elif i + 1 == len(parent.keys):
        parent.keys += [pivot]
        parent.values += child.values
        break

```

Функция `insert` вставляет пару ключ-значений после перехода к конечному узлу. Если листовой узел заполнен, разделяет листовой узел на две части.

```

def insert(self, key, value):
    parent = None
    child = self.root
    while not child.leaf:
        parent = child
        child, index = self._find(child, key)
    child.add(key, value)
    if child.is_full():
        child.split()
    if parent and not parent.is_full():
        self._merge(parent, child, index)

```

Функция `retrieve` возвращает значение для данного ключа и «None», если ключ не существует. Создаём дочерний узел равного корневому узлу нашего дерева. Затем ищем по нашему ключу, в каком из листов нашего дерева может содержаться ключ. После нахождения нужного листа, начинаем перебирать все ключи, которые в нём содержатся. При нахождении ключа возвращаем значение по его индексу. Иначе возвращаем ответ «None».

```

def retrieve(self, key):
    child = self.root
    while not child.leaf:
        child, index = self._find(child, key)
    for i, item in enumerate(child.keys):
        if key == item:
            return child.values[i]
    return None

```

Функция `show` перенаправляет запрос печати всех ключей к корню дерева (узлу). Затем одноимённая функция для класса `Node` рекурсивно печатает все дочерние узлы корня нашего дерева.

```

def show(self):
    self.root.show()

```

Вывод. Описанный алгоритм В-дерева может являться полноценной основой для проектирования программ, использующих структуры данных в виде В-деревьев, а также может помочь при разработке альтернативных скриптов на базе В-деревьев. Листинг кода рабочего скрипта опубликован на сервисе GitHub [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-41-385002.

1. Arguchintsev A.V. Metatechnology of designing a hierarchical modifiable-intersecting database for remote control of bioecological parameters. / A.V. Arguchintsev, V.S. Kedrin, L.S. Kravtsova, I.M. Dobrinets, Glyzina M.A. (Voylo) // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. Vol. 4 P. 641-642. DOI:10.31951/2658-3518-2020-A-1-106.
2. «BTrees: Scalable persistent object containers», URL: <https://pypi.org/project/BTrees/> (дата обращения: 23.04.2020)
3. «B+ tree - analogous to binary search tree but with more branching at each node, as shallow trees makes better use of caches», URL: <https://github.com/savarin/sql> (дата обращения: 23.03.2020)
4. Дубровин Т.Г., «Tihon99 / sql», URL: <https://github.com/Tihon99/sql/blob/master/index.py/> (дата обращения: 14.05.2020)

ВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

М. М. Каверзин
МБОУ «Лицей № 2» г. Братска
kaverzin_03@list.ru

Актуальность: Без источников энергии трудно себе представить жизнь человека. Традиционные источники энергии — нефть, газ, каменный уголь, дрова — со временем иссякнут. И дело не только в том, что традиционные источники истощаются, хотя и этот аспект проблемы немаловажен. Кроме перспективы истощения существует еще и проблема экологическая, поскольку сжигание углеводородного топлива приводит к вредным выбросам в атмосферу, ухудшая сферу обитания человека, создавая экологические проблемы.

Проблема: В результате деятельности традиционной энергетики происходит отрицательное воздействие на атмосферу, литосферу и гидросферу, что увеличивает вероятность возникновения экологической катастрофы

Цель работы: изучить принцип преобразования энергетических ресурсов океана в электрическую энергию используя модель.

Для реализации цели необходимо выделить следующие **задачи:**

- Изучить способы преобразования волновой энергии.
- Разработать план сборки собственной установки.
- Собрать разработанную модель.
- Протестировать модель, провести анализ недостатков модели и способы дальнейшего усовершенствования.

Методы исследования: моделирование, теоретический анализ, работа с источниками интернета.

Целевая аудитория:

- потребители, расположенные в прибрежных районах, не подключенных к главной сети;
- морские нефтяные и буровые платформы;
- рыбноводческое хозяйство, причалы и плавучие отели.

В основе работы различных волновых установок лежит использование скорости жидкости, или изменений угла наклона волновой поверхности. Независимо от типа все волновые установки состоят из трех основных частей: рабочего тела, силового преобразователя, системы крепления. Функциональное назначение каждой из частей состоит в следующем: рабочее тело находится в непосредственном контакте с водой, совершает под действием волн те или иные движения. В качестве рабочего тела выступают поплавки, водяные колеса или турбины, волноотбойные устройства. Рабочее тело преобразует энергию воды в какой-либо другой вид энергии, более удобный для дальнейшего преобразования. Силовой преобразователь предназначен для преобразования энергии, запасенной рабочим телом в энергию, пригодную для передачи на расстояние или для непосредственного использования.

Наша страна имеет протяженную береговую линию, а многие места пригодны для установки таких сооружений. Поэтому российские инженеры ведут активные разработки в области волновых электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии. Первое сооружение подобного типа уже построено на полуострове Гамова Приморского края.

Недостатки волновой энергетики заключаются в следующем:

- Когда поверхность океана спокойна или почти спокойна, волновая ГЭС не может производить полезную энергию.
- Места строительства волновых ГЭС нужно тщательно подбирать, для того чтобы минимизировать воздействие шума от них. При этом они должны располагаться

именно в тех районах, где ветровые волны обладают достаточным потенциалом для выработки электроэнергии.

- Незаметность волновых ГЭС может представлять опасность для навигации, если они не обозначены на картах. При сооружении волновой ГЭС может потребоваться установка сигнальных индикаторов.
- Дороговизна полученной энергии.

Несмотря на вышеперечисленные минусы, в определенных районах земного шара за волновыми электростанциями будущее, и вот почему:

- Преобразование энергии волн в электроэнергию не сопровождается выбросом угарного газа, углекислоты и окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняет почву. Волнение мирового океана — возобновляемый источник энергии.
- Установка и эксплуатация волновой ГЭС относительно недороги, если разработка такой станции, предназначенной для того, чтобы противостоять штормам, не становится технически переусложненной.
- Большие волновые ГЭС могут производить огромное количество электричества.
- Волновые ГЭС незаметны. Даже при пристальном наблюдении они неплохо сливаются с пейзажем. С другой стороны, это может быть и недостатком.
- Правильно разработанные волновые ГЭС не оказывают вредного воздействия на морскую флору и фауну.

1. Денк, С. О. «Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана» / Денк С. О. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-т, 2008. – 288с.
2. Германович В., Турилин А. «Альтернативные источники энергии и энергосбережение»/ Германович В., Турилин А.-Санкт-Петербург: Изд-во НиТ, 2014. – 320
3. <http://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-volnovyh-ges.html> Дата обращения: 12.03.2020.
4. https://electric220.ru/news/volnovaja_ehlektrostancija/2019-03-31-1671 Дата обращения: 12.03.2020.
5. <https://bezotxodov.ru/jekologija/jenergija-voln-okeana#i-3> Дата обращения: 12.03.2020
6. <https://greenologia.ru/eko-zhizn/tehnologii/volnovye-elektrostancij.html> Дата обращения: 12.03.2020.
7. https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65625b2ad79a4d53b88421316d36_0.html Дата обращения: 12.03.2020.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТА В ГОРОДЕ ТУЛУН

Е.К. Корецкая
МБОУ «Лицей №2» г. Братска
firsik15@mail.ru

Цель работы состоит в создании 3D-модели автомобильно-пешеходного моста через реку Ия для беспрепятственного транспортного сообщения по трассе «Сибирь». Проблема, побудившая заняться данным проектом, состоит в том, что последствия природной стихии (наводнения), которой подвергся г. Тулун, парализуют автомобильное сообщение по трассе «Сибирь» (Р255) между городами Иркутской, Новосибирской областей и Красноярского края.

Актуальность проекта заключается в том, что мост трассы федеральной значимости регулярно подтапливается водами реки Ия, что препятствует на длительное время автомобильному движению по данному отрезку дороги. Этот проект является значимым не только для городов Иркутской области, а также для Красноярского края и Новосибирской области.

Задачи проекта:

1. Изучить историю затопления города Тулун.
2. Рассмотреть способы решения проблемы передвижения через затопленную территорию в истории.
3. Изучить разновидности конструкций мостов, выявить особенности конструкций для зон, находящихся под угрозой затопления.
4. Произвести расчёты для определения местоположения моста.
5. Создать конструкцию моста.
6. Изготовить модель нового моста.

Итоговым продуктом проекта будет являться макет нового моста через реку Ия. При разработке проекта использовались такие методы, как анализ, синтез, индукция и дедукция, измерение, сравнение, материальное моделирование.

В июне 2019 г. в городе Тулуно произошло наводнение. В пик паводка максимальный уровень реки Ия в городе Тулун поднимался до отметки 14 метров (при критической отметке 700 см). Мост и большую часть трассы Р255 затопило, что препятствовало автомобильному сообщению.

Модель нового моста выполнена в программе КОМПАС 3D V.18. Модель выполнена в масштабе 1:1000.

Этот проект может быть осуществим, так как он актуален, экономически и социально важен для нашего региона. Но все же есть факторы, препятствующие этому. Так, например, я не затрагивала юридическую сторону этого проекта, чтобы его полностью осуществить, и не отрицаю того, что в этот проект могут быть внесены некоторые правки.

1. Инженерные сооружения в транспортном строительстве: учебник для студентов высших учебных заведений: в 2 книгах. Книга 1 / П. М. Саламахин [и др.]; под ред. П. М. Саламахина. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
2. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-232-2011 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 198 с.
3. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45- 3.03-19-2006 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2007. – 188 с.
4. Улицы населенных пунктов. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-227-2010 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 46 с.
5. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях: ГОСТ 26775 – 85 / Государственный комитет СССР по делам строительства. – М., 1985. – 8 с.

ФИЗИКА В ФИГУРНОМ КАТАНИИ

М.М. Кудимова
МАОУ «Ангарский Лицей №1»
ritolda2004@gmail.com

Фигурное катание – один из самых красивых и элегантных видов спорта. Оно пользуется большой популярностью во всём мире. У многих возникает вопрос - как фигурное катание связано с физическими законами? Для ответа на этот вопрос выделим основные моменты:

В фигурном катании выделяются основные технические элементы:

1. Скольжение по дуге. Важной характеристикой скольжения является наклон продольной оси тела к поверхности льда. Он определяет реберность скольжения — одно из основных условий высокого качества выполнения всего комплекса элементов фигурного катания, где ρ — радиус кривизны следа.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V^2}{\rho g}.$$

В формулу не входит масса тела. Отсюда первый вывод: угол наклона продольной оси тела фигуриста зависит только от величины радиуса дуги и скорости скольжения.

При изучении техники скольжения полезно знать выражение силы взаимодействия конька со льдом.

Величина давления конька опорной ноги на лед определяется формулой:

$$N = \frac{mg}{\cos \alpha} = \frac{P}{\cos \alpha}.$$

Так как косинус угла всегда меньше единицы, то из формулы следует вывод: при скольжении по дуге в состоянии динамического равновесия давление конька на лед всегда больше веса фигуриста и равно ему при скольжении по прямой.

2. Вращательные движения фигуриста. Особой важностью вращательных движений приведем некоторые упрощенные положения механики вращательного движения фигуриста вокруг вертикальной оси. Величина угловой скорости определяется отношением угла поворота тела к времени, за которое произошел поворот:

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}.$$

3. Движение в полете.

Анализ кинограмм показывает, что в хорошо выполненном прыжке движение оси вращения тела близко к поступательному.

Поступательное движение тела. Уравнение движения центра тяжести тела, брошенного под углом к горизонту, в проекциях на оси координат x и y без учета сопротивления воздушной среды выглядит следующим образом:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_0 - x^2 \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_0},$$

где α_0 — угол вылета; V_0 — начальная скорость вылета; g — ускорение свободного падения.

4. Взаимодействие конька со льдом. Характер взаимодействия конька со льдом зависит от трех основных факторов: силы трения, положения вектора силы тяжести тела относительно опорного конька и сгибательно-разгибательных движений толчковой ноги. Амортизационная перегрузка. В начальный момент приземления на тело фигуриста действует сила, называемая амортизационной перегрузкой — $F_{\text{ам}}$. Эта сила возникает в результате того, что перед началом приземления тело фигуриста обладает некоторой величиной кинетической энергии (энергии движения). В конце фазы амортизации величина кинетической энергии движения по вертикали равна нулю, т. е. вертикальная

составляющая скорости тела (V_B) уменьшается до нуля. Процесс погашения вертикальной составляющей скорости полета сопровождается появлением дополнительной нагрузки на опорно-двигательный аппарат фигуриста. Средняя величина амортизационной перегрузки может быть приближенно определена по формуле:

$$F_{ам} = \frac{mV_B^2}{2\Delta y},$$

где m — масса тела фигуриста, V_B — вертикальная составляющая скорости центра тяжести тела перед приземлением, Δy — вертикальное перемещение центра тяжести тела при амортизации.

В практической части отработывали прыжок сальхова. Была измерена скорость в момент прыжка (радаром) и радиус кривизны (рулеткой), оставленный на льду коньками. Рассчитали угол по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{\rho g}.$$

Полученные результаты приведены в таблице

опытка	(скорость)	r(радиус)	tg a	
с падением	4,5 м/с	3,5 м	577	°
с пометкой	4,4 м/с	3,2 м	605	°
успешная	6,5 м/с	2,5 м	69	°

По результатам, приведенным в таблице можно сделать вывод: оптимальный наклон продольной оси тела от 45-60°. Так же, чем больше скорость и меньше радиус, тем прыжок более уверенно выполнен. Практическая значимость проведенного исследования в том, что с помощью данных рекомендаций, применяя знания физических законов при исполнении элементов, можно ускорить освоения новых элементов и улучшить технику исполнения элемента в более короткие сроки.

1. Мишин А.Н. Фигурное катание на коньках. - М.: Физкультура и спорт, 1985.
2. <http://mozg.by/content/fizika-v-figurnom-katani> Доклад на тему "Динамика фигурного катания"
3. Виноградова В. И. - «Основы биомеханики прыжков в фигурном катании на коньках» Москва: Советский спорт, 2013.

ПЕШЕХОДНЫЙ ПЕРЕХОД: ВАС НЕ ВИДНО!

У.Д. Куприяненко
МБОУ «Лицей №2» г. Братска
sve-kupriyanenko@yandex.ru

Одной из главных проблем современности в России является проблема дорог. И речь не об их качестве, а о ДТП. ДТП – дорожно-транспортные происшествия, в которых ежедневно гибнет 50 человек, ежегодно от 8,7 до 10 тысяч, 9 тысяч пешеходов в год становятся инвалидами (количество ДТП с пострадавшими в день по всей стране: 460, в год – 70 тысяч).

Идеей моего проекта выступила улучшенная версия дорожного знака «пешеходный переход» на нерегулируемых пешеходных переходах, с целью частичной регуляции и предупреждения водителей о пешеходе, вступившем на проезжую часть.

Главной задачей была максимальная практичность знака, то есть его должно быть видно при любых погодных условиях и в любое время суток, а также его использование должно быть малозатратным.

Для реализации своего проекта мне понадобилось изучить немало теоретического материала, не преподаваемого в школе. Я изучила виды и системы датчиков движения; изучила тормозной путь различных транспортных средств в разных условиях, для определения наилучшего расстояния от знака до перехода.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что минимальное расстояние для установления знака – 90 метров. Но, учитывая погодные условия и другие факторы, расстояние между знаком и пешеходным переходом будет составлять 120 метров. Так как знак будет светиться, то и водитель сможет заметить сигнал ещё раньше.

На практике мне также понадобились знания электрики. Мы собрали систему, состоящую из блока питания (или преобразователь), реле с нормально замкнутыми и разомкнутыми контактами, автомобильное двухконтактное реле поворотов, инфракрасный датчик и 2 гирлянды; поместили её в коробку, присоединённую к штативу. И у нас получился дорожный знак, который начинает мигать, когда пешеход вступает на проезжую часть.

Исходя из информации разных сайтов, я составила список самых опасных нерегулируемых пешеходных переходов города Братска. Использование предложенной системы на дорогах нашего города могло бы значительно снизить количество ДТП на нерегулируемых перекрёстках.

1. Гуревич П.В., Меламуд Р.А. Тормозное управление автомобилем. – Москва: Транспорт, 1978.
2. ДТП с участием пешехода [Электронный ресурс]: сайт юридической помощи для автовладельцев - режим доступа: <http://avtopravozashita.ru/dtp/dtp-s-peshehodami.html>
3. Самые частые ДТП в России [Электронный ресурс]: Антонов С.- режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/stat-dtp/>
4. Статистика ДТП в России за январь-март 2019 года [Электронный ресурс]: первый информационно-развлекательный журнал в России для жизни и обо всем, что движется. 2008–2019. Igai.ru- режим доступа: <http://www.1gai.ru/522405-statistika-dtp-v-rossii-za-yanvar-mart-2019-goda.html>
5. 2 пешехода пострадали на нерегулируемых переходах в Братске [Электронный ресурс]: Степанова Е. – режим доступа: <http://tkgorod.ru/news/20906>
6. Почему пешеходный переход в Братске уже нельзя назвать безопасным местом проезжей части? [Электронный ресурс]: телерадиокомпания «Братск»- режим доступа: <http://trk-bratsk.tv/pochemu-peshehodnyj-perehod-v-bratske-uzhe-nelzja-nazvat-bezopasnym-mestom-proezzhej-chasti/>

7. Пять факторов, снижающих безопасность при увеличении скорости [Электронный ресурс]: Записки на коленке - режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/zapiskinakolenke/piat-faktorov-snijaiuscih-bezopasnost-pri-uvelichenii-skorosti-5cf5f237c3edd100b0f7ba83>
8. Что такое тормозной путь автомобиля и как его рассчитать? [Электронный ресурс]: сайт Авточайник - режим доступа: <https://autochainik.ru/tormoznoy-put-avtomobilya.html>
9. Тормозной путь автомобиля: Всё что нужно знать» [Электронный ресурс]: первый информационно-развлекательный журнал в России для жизни и обо всем, что движется. 2008–2019. 1gai.ru- режим доступа: <https://1gai.ru/publ/516971-tormoznoy-put-avtomobilya-vse-chto-nuzhno-znat.html>
10. Характеристика, виды и принцип работы датчиков движения» [Электронный ресурс]: портал о датчиках и измерительных приборах 2018–2020- режим доступа: <https://prodatchik.ru/vidy/datchik-dvizheniya/>

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ВОДЕ

Т.В. Моньков
МБОУ «Лицей № 2» г. Братска
timurmonkov@yandex.ru

«Водород – горючее будущего» — именно с таким посылом сегодня происходит внедрение водородных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в транспортную и авиационную промышленность.

В наше время очень много средств уходит на покупку топлива. Нефтяные компании постоянно повышают цены. А представьте, если можно было бы обходиться одной водой. С помощью моего проекта я хочу показать, как можно снизить загрязнённость атмосферы и расход средств на топливо. Актуальность моего проекта определяется высокими ценами на нефтепродукты и загрязнением воздуха выхлопными газами.

Цель проекта: Собрать генератор “гремучей смеси”.

Задачи проекта:

1. Узнать, как работает водородный двигатель.
2. Выяснить, как работает генератор “гремучей смеси”.
3. Изучить и собрать генератор “гремучей смеси”.

Водородный двигатель в последние годы всё чаще рассматривается многими производителями транспортных средств в качестве достойной альтернативы традиционным двигателям внутреннего сгорания, работа которых обеспечивается «чёрным золотом». Водород занимает лидирующую позицию среди всех прочих источников альтернативной энергии не случайно – он экологичен, имеет возобновляемый ресурс, а также обладает максимальным КПД в сравнении с классическими двигателями, функционирующими на бензине и дизеле.

В теоретической части работы были рассмотрены типы водородных двигателей, которые могут быть рентабельны и производительны. Проанализированы плюсы и минусы водородных двигателей. Изучен процесс сборки топливной ячейки, который затем был применен на практике.

Для того чтобы собрать топливную ячейку мне понадобилось:

- заготовки из нержавеющей стали 15 x 12.5 (9 шт.)
- резиновые прокладки
- заготовки из стального листа шириной 5мм 17 x 15.5 (2 шт.)
- штуцера (5 шт.)
- бутылка
- шланг (1.5 м)
- аккумуляторная батарея (источник электрического тока)

Сборка начинается с пластин из нержавеющей стали. После каждой пластины вставляется резиновая прокладка. Прежде всего ставится основная пластина, затем, ставятся 2 простые пластины, потом опять ставится основная пластина. Так повторяется до тех пор пока все пластины не будут использованы.

После того как мы собрали так называемый «пакет», просверливаем его насквозь в двух местах. Весь «пакет» стягивается 2-мя стальными пластинами со штуцерами. После этого изготавливается бутылка, и вся конструкция последовательно соединяется шлангами.

Я думаю, что я успешно справился со своим проектом, так как цель была достигнута. В будущем я планирую использовать свой продукт как нагревательный прибор в домашних целях.

1. Водородный двигатель: типы, устройство, принцип работы, фото, видео [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://seitel.ru/zapchasti/vodorodnyj-dvigatel-tipyustrojstvoprincip-rabotyfotovideo/.html>
2. Водородные двигатели : принцип работы машин на водородном топливе, плюсы и минусы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://voditelauto.ru/vodorodni-dvigateli/>
3. Водородный двигатель: особенности, достоинства и недостатки [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Ffastmb.ru%2Fsoveti_auto%2F353\[8-vodorodnyy-dvigatel-osobennosti-dostoinstva-i-nedostatki.html](https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Ffastmb.ru%2Fsoveti_auto%2F353[8-vodorodnyy-dvigatel-osobennosti-dostoinstva-i-nedostatki.html)
4. Стэнли Мейер водородная топливная ячейка конструкция. Водяная топливная ячейка Мейера [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.sds-us.ru/stenli-meier-vodorodnaya-toplivnaya-yachejka-konstrukciya-vodyanaya-toplivnaya.html>
5. Водородная топливная ячейка Стенли Мейера (Stanley Meyer). Техническая документация [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://pandoraopen.ru/2011-03-26/vodorodnaya-toplivnaya-yachejka-stenli-mejera-stanley-meyer-texnicheskaya-dokumentaciya/>

СОЗДАНИЕ ДОМАШНЕЙ МЕТЕОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ARDUINO NANO

И.Д. Никифоров
10 класс МАОУ «Ангарский лицей №1»
ivan.nikiforov.38@yandex.ru

В работе описывается создание домашней метеостанции на основе Arduino nano. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить теоретические данные
2. Подобрать электронные компоненты
3. Изучить способы пайки электронных компонентов
4. Разработать модель корпуса
5. Собрать схему на основе подобранных электронных компонентов
6. Разработать и загрузить прошивку в микроконтроллер
7. Провести эксперимент

В проекте домашняя метеостанция использованы следующие компоненты:

1. Arduino Nano. Основа Arduino Nano - микроконтроллер на базе ATmega328, логическая микросхема для обработки данных с тактовой частотой 16 МГц, имеющая на борту 8 аналоговых и 14 цифровых контактов общего назначения, а также все необходимые интерфейсы: I2C, SPI и UART.
2. Сенсорный модуль TTP223. Размер 15x11мм. Напряжение питания 2.5-5 В.
3. Датчик температуры, влажности и атмосферного давления BME280. Напряжение питания: 3.3 В – 5 В. Рабочий ток: 1 мА. Диапазон измерения давления: 300 гПа – 1100 гПа (точность ±1.0 гПа). Диапазон измерения температуры: -40°C до +85°C (точность ±0.5 °C). Диапазон измерения влажности: 20 % до 80 % (точность ±3 %). Интерфейс: I2C. Габариты: 12 мм x 10 мм.
4. Инфракрасный датчик CO2 MH-Z19.
5. Символьный дисплей LCD2004 I2C.
6. Модуль реального времени DS3231.
7. Micro USB модуль.
8. Резистор 220 Ом.
9. RGB светодиод.

В результате работы был получен опытный образец. Данная модель метеостанции способно измерять и показывать следующие элементы погоды: температуру воздуха, влажность, атмосферное давление, уровень углекислого газа в помещении и прогнозирует вероятность осадков на основе изменения атмосферного давления в единицу времени.

Протестировали модель и определили недостатки: в конструкции метеостанции отсутствует фоторезистор, при помощи которого метеостанция сама бы регулировала подсветку экрана в ночное время. Для решения выявленных недостатков предлагаю добавить фоторезистор, с помощью которого будет регулироваться яркость подсветки в зависимости от освещения, также вдобавок при помощи этой метеостанции по средствам беспроводной связи можно управлять бытовой техникой такой как: обогревательными, увлажнительными приборами, светом в помещении.

1. Часы-метеостанция на ARDUINO [Электронный ресурс] // AlexGyver Technologies, 2015-2020. URL: [https://alexgyver.ru/meteoclock/\(21.12.19\)](https://alexgyver.ru/meteoclock/(21.12.19))
2. Джереми Блум. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства./ Джереми Блум.
3. Саймон Монк. Програмируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами./ Саймон Монк
4. Микроклимат [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: Финансы [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>

ИСКЛЮЧЕНИЕ РИСКОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ, В ВИДЕ БУХТ АЛЮМИНИЕВОЙ КАТАНКИ, НА ПРИМЕРЕ ПАО «РУСАЛ БРАТСК»

М.С. Павлович
МБОУ «Лицей №2» г. Братска
m.pavlovich@skm38event.ru

Актуальность: Во время транспортировки и производства товарной продукции ПАО «РУСАЛ Братск», в виде бухт алюминиевой катанки, повреждаются внешние и внутренние витки катанки, что приводит к дополнительным затратам ресурсов (затрата временного и финансового ресурсов).

Цель работы: Подготовить алгоритм наиболее безопасной транспортировки бухт катанки с уменьшением количества повреждений внешних и внутренних витков.

Методы и методики, которые использовались при разработке проекта:

1. Изучение теории изготовления бухт катанки.
2. Посещение литейного отделения №1 ПАО «РУСАЛ Братск» для наглядного изучения процесса изготовления бухт катанки.
3. Опрос старшего мастера ЛО №1 ПАО «РУСАЛ Братск».
4. Подбор качественных материалов для уменьшения повреждений, анализ подобранных материалов.
5. Создание и анализ алгоритма при транспортировке.

Для того, чтобы создать и проанализировать алгоритм наиболее безопасной транспортировки бухт катанки с уменьшением повреждения внешних и внутренних витков, я изучил, что влияет на их повреждение. На увеличение количества повреждений витков бухт катанки влияют следующие факторы: соприкосновение металлов друг с другом (при использовании погрузчика повреждаются внутренние витки), расположение на остывочной площадке катанок «домиком» (повреждение внешних витков катанки друг другом), отсутствие защитного слоя.

Я проанализировал, как можно уменьшить количество повреждений. Для того, чтобы повреждения возникали реже, я предлагаю использовать композитный (композиционный) материал, такой, как углепластик ВКУ-138 (ВКУ-38), для создания защитного слоя (так называемой «прослойки»). Данный вид углепластика обладает подходящими качествами: выдерживает температуры до 400°C на протяжении 50 часов, устойчив к воздействию эксплуатационных факторов (вода, тепло, влага), эластичен, а также применяется в авиационной промышленности (корпусные детали двигателя, спрямляющие лопатки, входной направляющей аппарат ГТД, панели шумоглушения и т.д.).

С помощью углепластика ВКУ-138 (ВКУ-38) можно создать специальную накладку на погрузчик, тем самым защищая внутренние витки бухты катанки от повреждений при соприкосновении двух металлов, а также подготовить макет стеллажа с вставками углепластика для хранения и испытать его. При таком решении (создание стеллажа) появляется один недостаток – количество одновременно остужающихся катанок уменьшается, но не в высоком коэффициенте.

1. Беляев А.И., Металловедение алюминия и его сплавов. – М.: Металлургия, 1983. – 282 с.
2. Борисоглебский Ю.В., Металлургия алюминия. – Новосибирск: Наука, 1999. – 219 с.
3. <http://al-vo.ru/teplotekhnika/vremya-ohlazhdeniya-nagreva.html>, дата обращения – 12.01.2020.

4. <https://www.компания-кондор.рф/ugleplastiki-marki-vku-32333538-38zhn-38tr/>, дата обращения – 15.01.2020.
5. http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=924 , дата обращения – 15.01.2020.
6. https://docviewer.yandex.ru/view/1016100930/?*=UsBZ5f24eBw3Wv4w3J8AE8RuWS97InVybCI6InlhLWRpc2stcHVibGljOi8vVkJYvWVjZaXQ3OGxWYUlwZWZ0UmxEd2Rpenp6eHNndmxIOW1qQThxTXZ2VT0iLCJ0aXRzZSI6ItCR0LXQu9GP0LXQsiDQkC7QmC4gMTk4MyDQnNC10YlQsNC70L3QuNC1INCw0L3RjC80LjQvdC40Y8g0Lgg0LXQs9C%2BINGB0L%2FQu9Cw0LLQvtCyLmRqdnUiLCJub2lmcmFtZSI6ZmFsc2UsInVpZCI6IjEwMTYxMDA5MzAiL0cyI6MTU4NDI2MzI5OTk3MCwieXUiOiIzMzc0ODE1MDkxNTQxMzQ1MjQ5In0%3D, даты обращения – 15.01.2020, 17.01.2020, 23.01.2020, 19.02.2020, 1.03.2020.

SCHOOL BATTLES

К. А. Парилова, М. С. Евстигнеева, А. Ю. Пазюк, С. А. Леонова, А.А. Князева,
М. А. Ситникова, А. А. Луненок, Е. В. Макаров, А. В. Головина, Ф. М. Метляев
МБОУ «Лицей № 2» г. Братска
parilovakse2004@mail.ru

Наша команда из 10 человек разработала игровую платформу “School battles”, что означает школьные испытания или соревнования учеников. Она нужна ученикам, чтобы стимулировать образовательный процесс, сделать его интереснее. Принцип работы таков: 2-4 ученика играют вместе, один ученик отвечает на несложные, но интересные вопросы, а другой выполняет движения, скорость изменения которых зависит от результатов первого. Стоимость игровой платформы составляет 140 000 рублей. Нашими конкурентами являются:

- Автомат "Dance central 3"
- Танцевальный аппарат "Pump it up TX 55"
- Приложение "Кто умнее"
- Настольная игра "Что? Где? Когда?"

Вместе с тем, у нашей платформы множество преимуществ, например, тот факт, что она предназначена для школьников, а также стоимость ниже в 2-3 раза, чем у вышеуказанных игровых платформ.

Пообщавшись с руководством школы и учениками разных возрастов, мы выяснили, что существует реальная проблема неорганизованности перемен в школах. Все опрошенные поддержали идею создания такой платформы.

Мы придумали три игры, которые называются «Уголки 2.0», «Move and Repeat», «Время вышло». Цель уголков достичь противоположного края быстрее, чем другая команда сделает это. Основная игра – «Move and Repeat», здесь один человек отвечает на вопросы, а другой – в зависимости от его ответов повторяет за движениями на экране. То есть здесь задействованы как планшеты, так и экран. «Время вышло» – соперники должны найти выход из лабиринта. Кто успел за установленное время найти выход – тот и выиграл. Также можно установить уже разработанные игры.

Для старта нашего проекта мы планируем использовать институты развития, такие как Фонд поддержки предпринимательства Иркутской области, Фонд микрокредитования Иркутской области. Мы планируем запустить в форме ИП, поскольку у ИП простое ведение дел без бухгалтерского учёта, свободное распоряжение выручкой, деятельность по всей стране без подразделений и его легко закрыть.

Мы разработали сайт, на котором представлен проект, его преимущества, инструкцию к использованию, а также 3D-модель нашего продукта и отзыв директора. Для пиара нашего проекта мы планируем использовать такую рекламу, как:

- SEO-маркетинг
- контекстная реклама
- SMM-стратегия
- наружная реклама

Планируется участие во многих событиях, например, участие в выставках и привлечение СМИ. В нашем городе это Братская студия телевидения.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЗОВОВ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

К.Р. Фёдоров
Лицей ИГУ

Имеется много сервисов, управляемые с мобильных устройств, например, шлагбаум на въезд в парковку, который открывается звонком с телефона. Чтобы вызвать такой сервис, пользователю приходится отвлекаться на телефон, что не всегда удобно.

Часто вызов сервиса выполняется пользователем при наступлении определенных ситуаций, условий (достижения заданной точки на местности или определенного времени и т.д.). На большинстве мобильных устройств имеется набор сенсоров (например, акселерометр, гироскоп и т.д.). Значения сенсоров можно использовать для определения этих ситуаций. Условия вызова сервисов могут значительно варьироваться в зависимости от предпочтений пользователя, специфики задачи, наличия определенных условий и т.д. Таким образом, в каждом отдельном случае актуально формировать управление такими сервисами в соответствии с пользовательской моделью.

В работе контекстом является вектор, компонентами которого являются текущая долгота и широта, время и возможно другие значения сенсоров мобильного устройства. Для текущего контекста требуется определить необходимость вызова сервиса, т.е. его классифицировать. Существуют два класса: вызывать или не вызывать сервис.

Используется метод кластеризации, так как получаемые кластера могут соответствовать областям вызова сервисов. Метод не требует большого количества прецедентов и может быть дообучен. Для сравнения двух контекстов используется метрика, заданная как евклидово расстояние между координатами контекстов. В процессе обучения необходимо сформировать кластера и вычислить пороговое значение. Так как количество кластеров заранее неизвестно, то используется агломеративный алгоритм кластеризации, который характеризуется последовательным объединением исходных элементов и соответствующим уменьшением количества кластеров. В процессе последовательного присоединения контекстов производится увеличение порогового значения. Начальное пороговое значение равняется минимальному расстоянию между любыми двумя прецедентами. Увеличение порогового значения производится, пока кластеры однородны, то есть состоят из прецедентов одного класса. Полученное пороговое значение используется для классификации. Классификация текущего контекста мобильного устройства осуществляется сравнением расстояния в заданной метрике с пороговым значением до ближайшего прецедента. Если оно меньше порогового значения, то прецедент имеет тот же самый класс, что и ближайший.

Заключение

Разработано приложение, использующее метод автоматизации вызова сервисов на основе классификации контекста мобильного устройства. В отличие от других методов пользователь задает области с помощью вызова сервисов, что значительно снижает требования к квалификации пользователя и позволяет автоматизировать формирование модели управления сервисам на основе данных местоположения. Полученные результаты позволяют судить о работоспособности и практичности приложения и возможности его использования в системах умного города. Дальнейшее развитие метода состоит в изменении метрики, расширении набора сенсоров для учёта более сложной логики управления сервисами.

ПАРК ДЛЯ БУДУЩИХ МАМ

С. К. Хлюстова
МБОУ «Лицей № 2» г. Братска
sofia.khliustova@yandex.ru

Из-за расширения городов люди всё реже отдыхают на природе. Одно из решений проблем города – это организация парков. Я выбрала именно эту тему, потому что считаю, что из-за увеличения материнского капитала станет больше беременных.

Уровень рождаемости в стране упал, а для того, чтобы его поднять, надо улучшить условия для беременных женщин. Одним из способов, я хочу предложить создание парка для будущих мам, тем самым улучшить психологическое состояние мам и ещё не рождённых детей.

Проблема заключается в том, что беременные девушки гуляют среди загрязнённых улиц, тем самым нанося вред не только своему здоровью, но и здоровью ребенка.

Цель работы – построить макет парка для будущих мам.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести опрос среди беременных женщин города Братска.
2. Познакомиться с требованиями к построению парка.
3. Ознакомиться со схемами возможных парков.
4. Собрать необходимую информацию.
5. Нарисовать чертёж будущего парка.
6. Создать макет парка.

В работе использовались следующие методы исследования: измерение, сравнение, материальное моделирование, анкетирование.

Прежде всего было проведено анкетирование. Целью анкетирования являлось: «А на самом ли деле беременным девушкам нужен специальный парк?» В результате опроса стало ясно, что парк действительно нужен будущим мамам.

Затем был изучен теоретический материал для того, чтобы определиться с типом парка. Придя к выводу о том, что больше всего для будущих мам подходит парк культуры и отдыха, я нарисовала эскиз будущего парка. После его утверждения с куратором приступила к его чертежу. В парке имеются пешеходные дорожки, две беседки. Центром парка является небольшая площадка, на которой будут расположены такие объекты, как фонтаны, скамейки, магазин, клумбы, контейнеры для мусора, туалеты, фонари. В качестве декора в парке будет присутствовать небольшая фотозона, где все посетители смогут сфотографироваться на красивом фоне. Также были выбраны виды насаждений, соответствующие сибирскому климату и особенностям местной экологии. Парк будет огорожен забором.

Для того чтобы понять, реально ли сделать парк для будущих мам, надо иметь смету, в которой подробно расписано всё необходимое и его стоимость. Я обратилась к начальнику сметного отдела «ОАО Русал», и мы составили подробную смету. Стоимость постройки парка будет равна 14096,928 тыс. руб.

В целом, я считаю, что сделать такого вида парк не только возможно, но и необходимо.

1. [Электронный ресурс] – URL;
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%BA>
2. [Электронный ресурс] – URL; <https://miridei.com/idei-dlya-doma/semya-i-deti/pravilnye-progulki-vo-vremya-beremennosti/>
3. [Электронный ресурс] – URL;
4. <http://ivona.bigmir.net/pregnancy/413664-Progulki-vo-vremja-beremennosti--Sovety-buducshim-mamam>
5. [Электронный ресурс] – URL;
<https://www.wday.ru/deti/beremennost-i-rody/polza-i-pravila-hodbyi-vo-vremya-beremennosti/>
6. [Электронный ресурс] – URL;
https://studopedia.ru/16_73044_kompozitsionnie-osnovi-proektirovaniya-parkov-i-usadeb.html

СОДЕРЖАНИЕ

Авраменко Ю.А. , Ружников Г.М. , Фёдоров Р.К. , Хмельнов А.Е. Архитектура системы хранения и обработки пространственно-временных данных для выполнения задач цифрового мониторинга	1
Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К. Интеграция Jupyter Notebook с платформой цифрового мониторинга озера Байкал	3
Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К. Прикладная цифровая платформа обработки данных ДЗЗ	4
Амелина Е.В., Горнов А.Ю. Методика численного решения задач оптимизации для частично вычислимых функционалов	5
Аникин А.С. Методика сравнения эффективности генераторов псевдослучайных чисел	6
Аникин А.С., Зароднюк Т.С. Параллельная реализация алгоритма криволинейного поиска для невыпуклой задачи оптимального управления	7
Баркова М.В., Стрекаловский А.С. Об одном методе решения систем нелинейных уравнений	8
Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю. Инструментальная система самоорганизации приложений	9
Васильев И.Л., Груздева Т.В., Ушаков А.В. Двухуровневые задачи размещения при наличии угрозы спланированной атаки	11
Гаченко А.С., Хмельнов А.Е. Технология построения 3-D моделей рельефа	12
Горнов А.Ю. Вычислительная технология решения невыпуклой задачи динамической оптимизации с программным и параметрическим управлением	13
Горнов А.Ю. Численное исследование эффективности ПК OPTCON для задач оптимального управления в сравнении с коммерческими программными технологиями	14
Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Коллекция тестовых множеств достижимости для управляемых алгебро-дифференциальных систем	15
Горский С.А. , Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Сидорова Т.В. Новые аспекты непрерывной интеграции прикладного программного обеспечения в распределенной среде	16
Грибанова И.А. Робастные оценки трудоемкости атак в алгебраическом криптоанализе на примере поиска прообразов хеш-функций семейства MD	18
Дыхта В.А. Позиционный принцип минимума второго порядка в задачах оптимального управления	20
Жарков М.Л., Лемперт А.А., Павидис М.М. О применении теории массового обслуживания для моделирования участков железнодорожной сети	22
Зароднюк Т.С., Аникин А.С. Модификация метода криволинейных покрытий для задачи диссипации двухатомных молекул	24
Зароднюк Т.С., Аникин А.С. Параллельный алгоритм аппроксимации интегральной во-	25

ронки динамической системы с полиэдральным управлением	
Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. О колебательных движениях в интегрируемых системах	26
Казаков А.Л., Кузнецов П.А. Построение точного решения нелинейного параболического уравнения с оценкой области существования в одном частном случае	28
Кензин М.Ю. Стратегии экстренного оповещения для распределенных групп мобильных роботов в условиях ограниченной коммуникации	30
Копылов Д.Е. О моделировании динамики численности бентоса в районе сбросов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината	31
Костромин Р.О., Феоктистов А.Г. Поддержка управления конфигурациями программно-аппаратного обеспечения цифровых двойников инфраструктурных объектов	32
Костылева О.Д., Парамонов В.В. Подсистема формирования оперативных данных мониторинга онкологической службы Иркутской области	34
Кочемазов С.Е. Проблемно-ориентированная адаптация SAT-подхода на примере задачи криптоанализа шифра <i>Vivium</i>	36
Кузьменко В.В., Горнов А.Ю., Аникин А.С. Моделирование концентрации апополипротеина A1 в крови с применением модифицированной технологии Шепарда	37
Марков Ю.А., Маркова М.А., Бондаренко А.И. Представление обратного волнового оператора третьего порядка в виде континуального интеграла по траекториям	38
Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. Гамильтонов формализм для бозонных возбуждений в кварк-глюонной плазме	40
Николайчук О.А., Павлов А.И., Столбов А.Б. Об особенностях формирования вычислительного эксперимента в системе агентного моделирования ADSkit	42
Орлов А.В. О локальном поиске в двухуровневых d.c.-выпуклых оптимизационных задачах	43
Отпущенников И.В., Семенов А.А. Применение техники склеивания переменных к трудным вариантам MAXSAT	45
Парамонов В.В. Опыт геокодирования данных об активности иксодовых клещей	46
Петренко П.С. К вопросу об устойчивости одной вырожденной гибридной системы	48
Погодаев Н.И. О процессах выметания в пространстве мер	49
Погодаев Н.И., Старицын М.В. К теории управления нелокальным неоднородным уравнением переноса в пространстве знакопеременных мер	50
Попова А.К. Определение параметров качества воды по космоснимкам	51
Рапуга В.Ф. Обратная задача оценивания положения и мощности источника примеси	52
Рожков Е.В., Михайлов А.А., Шигаров А.О. Верификация предсказаний глубоких нейронных сетей для обнаружения таблиц в PDF документах	54
<u>Ружников Г.М.</u> , Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е., Попова А.К., Маджара Т.И., Фереферов Е.С. Компоненты цифровой трансформации мониторинга Байкальской природной территории	56
Салимов Б.Г., Хмельнов А.Е. Предсказание критической частоты ионосферы foF2 с по-	60

мощью нейронной рекуррентной LSTM сети	
Свинин А.К. О некотором классе дискретных уравнений и их решениях	62
Семёнов А.А., Кондратьев В.С. Использование дизъюнктивных диаграмм в задачах обращения инъективных функций	63
Соловарова Л.С. О коллокационно-вариационных разностных схемах с 2 точками коллокации для дифференциально-алгебраических уравнений	65
Сорокин С.П., Сорокина П.Г. Оптимизация промысла рыб с учетом возрастной структуры и искусственного воспроизводства	66
Сороковиков П.С. Пакет программ для численного решения задач многоэкстремальной оптимизации	67
Сороковиков П.С., Горнов А.Ю. Статистическое тестирование вычислительной технологии оптимизации потенциалов атомно-молекулярных кластеров	68
Сороковиков П.С., Горнов А.Ю. Низкопотенциальные атомно-молекулярные кластеры Морса размерностей от 330 до 460 атомов	72
Толстихин А.А. Поиск источника нестационарного физического поля группой мобильных роботов	70
Тятюшкин А.И. Расчет оптимального маневра при защите задней полусферы самолета от атакующей ракеты	71
Фереферов Е.С., Ветров А.А. Геоархеологический репозиторий Байкальской Сибири	74
Хандаров Ф.В., Сороковиков П.С. Численное исследование свойств метода нелокального поиска Teaching–Learning-Based Optimization	77
Черепанов И.А., Михайлов А.А., Шигаров А.О. Автоматизация обучения глубоких нейронных сетей для обнаружения таблиц на изображениях документов	79
Чистяков В.Ф., Чистякова Е.В. Решение некоторых классов систем интегральных уравнений Вольтерра методом наименьших квадратов	80
Чистяков В.Ф. О разрешимости некоторых классов эволюционных дифференциально-алгебраических уравнений в частных производных и методе наименьших квадратов	81
Шабалин А.С. Построение веб-приложений на платформе Lamotivo	83
Юрин А.Ю., Дородных Н.О. FUZZYRVML: нотация для моделирования нечетких правил	85

Секция «Юные исследователи»

Гарбовский Е.В. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Ветрогенератор, предназначенный для использования в удаленных районах	86
Дубровин Т.Г.(МАОУ г. Иркутска «Лицей ИГУ»), Добринцев И.М. Особенности реализации программного скрипта для описания поискового алгоритма на базе В-деревьев	88

Каверзин М.М. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Волновая электростанция	92
Корецкая Е. К. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Проектирование моста в городе Тулун	94
Кудимова М.М. (МАОУ «Ангарский Лицей №1») Физика в фигурном катании	95
Куприяненко У.Д. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Пешеходный переход: вас не видно!	97
Моньков Т.В. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Двигатель внутреннего сгорания на воде	99
Никифоров И.Д. (МАОУ «Ангарский Лицей №1») Создание домашней метеостанции на основе Arduino Nano	101
Павлович М. С. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Исключение рисков повреждения товарной продукции, в виде бухт алюминиевой катанки, на примере ПАО «РУСАЛ Братск»	102
Парилова К.А., Евстигнеева М.С., Пазюк А.Ю., Леонова С.А., Князева А.А., Ситникова М.А., Луненок А.А., Макаров Е.В., Головина А.В., Метляев Ф.М. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) School Battles	104
Фёдоров К.Р. (МАОУ г. Иркутска «Лицей ИГУ») Автоматизация вызовов сервисов на основе кластеризации данных позиционирования мобильного устройства	105
Хлюстова С.К. (МБОУ «Лицей № 2» г. Братска) Парк для будущих мам	106

Научно-организационный отдел
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 134
E-mail: rio@icc.ru

Подписано к печати 03.12.2020 г.
Формат бумаги 60×84 1/16, объем 4,65 п.л.
Заказ 4. Тираж 100 экз.