

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

ТРУДЫ ФАКУЛЬТЕТА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

И

ИНФОРМАТИКА

№ 73

Под редакцией
проф. А.С. Крылова



МОСКВА – 2023

УДК 519.6+517.958
ББК 22.19
П75



<https://elibrary.ru/ubwinm>

*Печатается по решению Ученого Совета
факультета вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М. В. Ломоносова*

Рецензент:

М.В. Федотов – к.ф.-м.н., доцент, факультет ВМК
МГУ имени М. В. Ломоносова, кафедра математической физики

Прикладная математика и информатика : Труды факультета
П75 ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова / Под ред. А. С. Крылова. –
Москва : МАКС Пресс, 2023. – 116 с. – (Труды факультета ВМК
МГУ имени М. В. Ломоносова; № 73)
ISBN 978-5-317-07106-6

В труды факультета ВМК включены работы по темам:

- математическое моделирование;
- численные методы;
- информатика.

В этих публикациях нашли отражение исследования ученых факультета по актуальным проблемам прикладной математики, выполненные в рамках основных научных направлений факультета. Для студентов, аспирантов и специалистов в области вычислительной математики и математической физики.

Ключевые слова: вычислительная математика, информатика, прикладная математика, математическая физика, математическое моделирование, обратные задачи, теория управления, методы обработки изображений.

УДК 519.6+517.958
ББК 22.19

The works of faculty CMC contain studies on subjects:

- mathematical modeling;
- numerical methods
- informatics.

The presented publications reflect the researches of the faculty scientists in topical problems of applied mathematics. They are intended for the students, postgraduate students and specialists in the field of computational mathematics and mathematical physics.

Key words: computational mathematics, informatics, applied mathematics, mathematical physics, mathematical modeling, inverse problems, control theory, computer imaging.

ISBN 978-5-317-07106-6

© Факультет вычислительной математики
и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023
© Оформление. МАКС Пресс, 2023

Раздел I. Информатика

- Аношина Н.А., Сорокин Д.В.*** Метод совмещения изображений крио-ЭМ одиночных частиц на основе преобразования Фурье-Бесселя и быстрого проекционного метода с использованием функций Лагерра. 4
- Разживина Д.И., Коршунов Д.М., Богуславский М.А., Хвостиков А.В., Сорокин Д.В.*** Совмещение и сегментация PPL и XPL изображений аншлифов геологических образцов содержащих анизотропные минералы. 23
- Понамарёв В.В., Китов В.В., Китов В.А.*** Учёт иерархии классов при классификации объектов с помощью siamox нейронных сетей. 38

Раздел II. Численные методы

- Курилович А.А., Матвеев С.А.*** О возможностях сжатия видеоданных с помощью тензорных поездов и разложения Таккера. 58

Раздел III. Математическое моделирование

- Григоренко Н.Л.*** Синтез управления движением нелинейной системы по заданной пространственной траектории. 75
- Васин А.А., Агаджанян Е.Г., Серегина И.Ю.*** Модель равновесия рынка электроэнергетики с накопителями. 84
- Ожигов Ю.И., Ю Цзянчуань.*** Описание немарковской динамики атомов через чистое состояние. 99

УДК 519.6+004.932.2+ 537.533.35+57.086.3

Аношина Н.А., Сорокин Д.В. Метод совмещения изображений крио-ЭМ одиночных частиц на основе преобразования Фурье-Бесселя и быстрого проекционного метода с использованием функций Лагерра //Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

При построении трехмерной модели частицы с помощью криоэлектронной микроскопии одиночных частиц важным шагом является выравнивание проекций, сформированных в группы по их пространственной похожести и улучшение качества микроскопического изображения проекции путем усреднения выровненных изображений. В данной работе предложен метод совмещения двумерных изображений, который может быть эффективно применен для выравнивания проекций внутри одного класса в криоэлектронной микроскопии одиночных частиц. Предложенный метод основан на вычислении трехмерной функции корреляции с помощью преобразования Фурье-Бесселя. В описанном подходе используется проекционный метод разложения преобразования Ганкеля по функциям Лагерра для вычисления преобразования Фурье-Бесселя. Для дополнительного ускорения вычислений предложено использовать быстрый алгоритм расчета проекционных коэффициентов на основе квадратуры Гаусса-Лагерра в вычислении преобразования Ганкеля. Использование предложенных методов в вычислении преобразования Фурье-Бесселя позволяет существенно ускорить метод совмещения в сравнении с дискретным способом вычисления, не теряя при этом в качестве совмещения. Результаты экспериментов на синтетических наборах данных с различным уровнем шума показали эффективность предложенного подхода. Помимо этого, эксперименты на реальных данных наглядно доказали применимость метода к изображениям крио-ЭМ.

Библиогр.: 27 назв., Ил.: 6., Табл. 2.

Ключевые слова: совмещение изображений, преобразование Фурье-Бесселя, преобразование Ганкеля, функции Лагерра, проекционный метод, криоэлектронная микроскопия, выравнивание проекций частиц крио-ЭМ.

УДК 519.6+004.932.2+549.08+549.02

Разживина Д.И., Коршунов Д.М., Богуславский М.А., Хвостиков А.В., Сорокин Д.В. Совмещение и сегментация RPL и XPL изображений аншлифов геологических образцов содержащих анизотропные минералы //Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

В работе предложен нейросетевой метод сегментации минералов на изображениях аншлифов геологических образцов. Особенностью набора

данных является наличие изображений, снятых в плоско-поляризованном (PPL) и кросс-поляризованном (XPL) свете с различными углами поворота относительно оптической оси камеры. Сформированный таким образом набор данных позволяет получить дополнительную информацию, улучшающую качество сегментации анизотропных минералов, поскольку данный тип минералов меняет цвет ("мигает") в зависимости от угла поворота при съемке в XPL свете. Особенностью предложенного в работе метода является совмещение XPL изображений с PPL изображениями одного и того же аншлифа для последующей подачи в нейронную сеть. Также был использован алгоритм балансировки данных для компенсации неравномерной представленности различных минералов в наборе изображений. Было обучено 5 нейросетевых моделей сегментации как с использованием дополнительных изображений, так и без. Результаты показали, что использование предварительно совмещенных XPL изображений улучшает качество сегментации анизотропных минералов на 3-12% и изотропных минералов на 1-8%.

Библиогр.: 15 назв., Ил.: 8., Табл. 2.

Ключевые слова: сегментация изображений, совмещение изображений, глубокое обучение, нейронные сети, геология, идентификация минералов, аншлифы, руда.

УДК 519.6

Понамарёв В.В., Китов В.В., Китов В.А. Учёт иерархии классов при классификации объектов с помощью сиамских нейронных сетей. // Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

Сиамские нейронные сети представляют собой эффективную архитектуру для автоматического построения векторных представлений объектов, сравнивая которые можно решать задачу классификации. Указанный подход более эффективно использует обучающую выборку, способен различать классы по небольшому числу примеров и способен обучаться с динамическим числом классов. В работе предлагается улучшенная методика настройки сиамских нейронных сетей для решения задачи классификации, использующая информацию об иерархии классов. Преимущество указанной методики демонстрируется на примерах классификации изображений и текстов.

Библиогр.: 36 назв. Ил.: 9. Табл.: 5.

Ключевые слова: классификация, сиамские нейронные сети, эмбединги.

УДК 519.6, 51-74

Курилович А.А., Матвеев С.А. О возможностях сжатия видеоданных с помощью тензорных поездов и разложения Таккера // Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

Эта работа представляет собой исследование возможностей подхода для сжатия видео с потерями, основанного на форматах тензорного поезда и разложения Таккера. Алгоритмы TT-SVD и st-HOSVD применяются для сжатия видео, которые представляются в виде многомерных массивов. Разработанный подход позволяет осуществлять аналитический контроль ошибок сжатия путем определения целевого PSNR. Таким образом, он обеспечивает более простой конвейер по сравнению с традиционными подходами. Детальный анализ результатов сжатия проводится с использованием известных метрик качества PSNR и SSIM, исследования типичных артефактов сжатия и выявления низкоранговых структур в видео посредством анализа нормализованных сингулярных значений. Для алгоритма TT-SVD протестирована дополнительная предварительная обработка данных с тензоризацией по модам исходного массива, показывающая улучшение качества сжатия. Разработанный подход не позволяет превзойти промышленные стандарты на текущем этапе разработки. Тем не менее, он может быть улучшен и потенциально может быть включен в новые подходы, основанные на глубоком обучении.

Библиогр.: 27 назв., Ил.: 6.

Ключевые слова: сжатие видеоданных, тензорный поезд, разложение Таккера.

УДК 517.977.1

Григоренко Н.Л. Синтез управления движением нелинейной системы по заданной пространственной траектории // Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

Рассматривается задача аналитического синтеза управления для нелинейной математической модели, обеспечивающего движение части координат фазового вектора по заданной пространственной траектории. Предложен алгоритм управления, гарантирующий асимптотическое сближение и удержание части компонент фазового вектора нелинейной системы на желаемой траектории движения. Эта траектория задается в виде некоторой кривой в пространственной системе координат.

Библиогр.: 6 назв. Ил.: 4.

Ключевые слова: нелинейные системы, синтез управления, движение по заданной траектории.

УДК 517.967.23

Васин А.А., Агаджанян Е.Г., Серегина И.Ю. Модель равновесия рынка электроэнергетики с накопителями // Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

Для рынков электроэнергетики характерны большие перепады цен между пиковыми периодами с большими объемами потребления и ночными периодами с низким потреблением. В этой ситуации полезную роль может сыграть накопитель энергии: потребитель накапливает в нем энергию при низких ценах и использует ее при высоких ценах, когда у него большая потребность в энергии. В данной работе разработана математическая модель для расчета оптимальных объемов внедрения накопителей разных типов, а также оптимального расширения электроэнергетической сети, исходя из заданной структуры мощностей и спроса на электроэнергию. Исследуется двухуровневая модель рынка: первый уровень предназначен для анализа краткосрочных задач принятия решений экономическими агентами; второй уровень - для расчета оптимальных параметров инфраструктуры. Параметры накопителей и пропускные способности линий передачи энергии выбираются, исходя из максимизации средних значений прибылей соответствующих экономических агентов. Эти прибыли рассчитываются на основе модели первого уровня, с учетом затрат на строительство и ожидаемых сроков эксплуатации объектов инфраструктуры.

Библиогр.: 15 назв.

Ключевые слова: накопители энергии, оптимальное управление, теорема благосостояния, конкурентное равновесие.

УДК 004.942

Ожигов Ю.И., Ю Цзянчуань. Описание немарковской динамики атомов через чистое состояние // Прикладная математика и информатика № 73, М.: Изд-во факультета ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2023.

Квантовое основное уравнение (КОУ), применяемое для описания марковского процесса взаимодействия атомов и поля, обладает рядом существенных недостатков. Оно чрезвычайно затратно по памяти, а также неприменимо к случаю долговременной памяти у окружения. Предложен итерационный алгоритм моделирования динамики атомной системы в расширенной модели Тависа-Каммингса в терминах чистого состояния. Показана корректность данного алгоритма на примере взаимодействия атомной системы с окружением через обмен фотонами с сохранением когерентности. Данный алгоритм применим к широкому классу процессов, связанных с фотонной машинерией, в частности, к химическим реакциям.

Библиогр.: 19 назв. Ил.: 5. Табл.: 1.

Ключевые слова: квантовая электродинамика полостей, когерентность, химические реакции, модель Тависа-Каммингса.

*Труды
факультета вычислительной математики и кибернетики*

Научное издание

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ИНФОРМАТИКА
№ 73

Под редакцией проф. А. С. Крылова

Издательство «МАКС Пресс»
Главный редактор: *Е. М. Бугачева*

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 15.12.2023 г.
Формат 60х90 1/16. Усл.печ.л. 7,25. Тираж 60 экз. Заказ 198.

Издательство ООО «МАКС Пресс»
Лицензия ИД N00510 от 01.12.99 г.
119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы,
МГУ им. М. В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8(495) 939–3890/91. Тел./Факс 8(495) 939–3891.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42,
корп. 5, эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н