

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Калининой Елизаветы Александровны на тему «Применение алгебраических методов для анализа сложных систем», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления).

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Калининой Елизаветы Александровны посвящена исследованию сложных систем алгебраическими методами, разработке надежных символьных алгоритмов для решения задач, связанных с изучением поведения таких систем в зависимости от входящих в них параметров, обоснованию эффективных численных алгоритмов, применимых для анализа их свойств. В настоящее время изучением сложных систем, которыми являются многие объекты в физике, биологии, химии, экономике, социологии, занимаются во многих институтах и исследовательских центрах в различных странах мира. Актуальность данной темы обосновывается с одной стороны недостаточной эффективностью (достоверностью) численных методов в применении к анализу систем с параметрами; с другой стороны, развивающиеся в последние десятилетия альтернативные подходы, основанные на символьных преобразованиях и свободные от ошибок округления с использованием современных пакетов аналитических вычислений (Maple, MATLAB, Mathematica), оказываются весьма ресурсоемкими и, как следствие, нуждаются в тщательной алгоритмической оптимизации. Развитие алгебраического подхода к анализу сложных систем позволяет получить новые методы и алгоритмы, дающие возможность решить актуальные задачи теории сложных систем (например, задачи робастного управления и устойчивости и оценки чувствительности решения систем к изменению параметров).

Основные результаты исследования и их новизна

При исследовании поведения сложных систем, когда определяются значения параметров, при которых система переходит из одного режима функционирования в другой, качественно отличающийся от первого, важную роль играют вопросы, связанные

с устойчивостью и D-устойчивостью полиномов, коэффициенты которых зависят от параметров. Существующие методы решения данных задач часто вычислительно затратны и не всегда приводят к требуемому результату. Автором разработаны новые алгоритмы локализации корней полинома и спектра матрицы (для матрицы не требуется построение ее характеристического полинома, что само по себе является вычислительно сложной задачей); предложен новый матричный алгоритм построения корневого графа для реберного графа; построен новый алгоритм интегрирования системы ОДУ в арифметике с плавающей точкой, позволяющий определить шаг метода Эйлера, который дает максимально точное решение задачи Коши. Работа всех представленных в диссертации алгоритмов проиллюстрирована на численных примерах.

В целом, в диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Для задач робастной устойчивости и управления в обобщение критерия Рауса – Гурвица разработан алгоритм, позволяющий проверить, является ли данное семейство вещественных полиномов с коэффициентами, полиномиально зависящими от нескольких параметров, изменяющихся в заданных интервалах, устойчивым или D-устойчивым (первая глава).

2. Для анализа многокомпонентных систем разработан алгоритм нахождения общих собственных чисел набора матриц с комплексными элементами (вторая глава). Важно, что алгоритм не требует построения характеристических полиномов рассматриваемых матриц.

3. Разработаны алгоритмы, позволяющие для матрицы с комплексными элементами определить ее структуру. Данные алгоритмы дают возможность определить максимальный порядок клеток Жордана и вычислить собственные числа, которым соответствуют клетки Жордана максимального порядка, а также найти значения параметра, которым соответствуют кратные собственные числа. При этом не требуется построения характеристического полинома матрицы. Данный результат важен для оценки изменений кратных собственных чисел матрицы при изменении параметра, от которого зависят ее элементы (вторая глава).

4. Для упрощения описания структуры и исследования свойств многоагентных систем и систем с переключениями создан новый матричный алгоритм распознавания реберного графа и построения его корневого графа. Данный результат важен для решения тех задач теории графов, которые значительно упрощаются, если рассматриваемый граф является реберным (третья глава).

5. Для имитационного моделирования биологических систем (в том числе в режиме реального времени) разработан эффективный высокоточный алгоритм численного

решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений в арифметике с плавающей точкой (четвертая глава). Важной особенностью данного алгоритма является то, что он учитывает ошибки округления.

Все полученные автором основные результаты являются новыми. Важными достижениями Калининой Е.А. являются созданные и обоснованные алгоритмы исследования поведения сложных систем и их робастной устойчивости, а также алгоритмы, позволяющие упростить описание структуры таких систем и исследование их свойств.

Достоверность полученных результатов

Представленные в диссертационной работе результаты и алгоритмы, позволяющие исследовать сложные системы алгебраическими методами, являются достоверными и обоснованными. Это подтверждается

- корректностью применения математического аппарата алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и теории графов;
- строгостью доказательств полученных теорем;
- согласованностью полученных теоретических результатов и результатов численных экспериментов;
- корреляцией частных следствий полученных результатов с результатами других исследователей.

Достоверность подтверждается также экспертизой в рецензируемых научных изданиях. Результаты диссертационной работы представлены в 20 научных статьях, 12 из которых входят в Перечень изданий, рекомендованных ВАК. Результаты работы прошли апробацию на различных международных и всероссийских научных конференциях.

Научная и практическая значимость диссертации состоит в том, что совокупность полученных результатов вносит существенный вклад в развитие алгебраических методов, позволяющих исследовать поведение и свойства сложных систем в зависимости от входящих в них параметров. Разработанные в диссертационной работе алгоритмы при анализе и моделировании сложных систем позволяют повысить достоверность и точность вычислений, а также сократить время вычислений, произвести анализ системы в зависимости от параметров.

Основные замечания по диссертационной работе состоят в следующем:

1. В четвертой главе диссертации предложен высокоточный численный метод решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений в арифметике с плавающей точкой. Однако оптимальный шаг интегрирования существенно зависит от правых частей системы, что затрудняет его применение в случае необходимости их изменения.
2. Следовало бы более детально описать, как применять лемму Бёрнсайда для вычисления следа матрицы $(A + \lambda B)^p$ (стр. 116).
3. Единичная матрица $n \times n$ обозначена в разных местах по-разному (I – стр. 113, E – стр. 104). Кроме того, через I обозначена также и другая матрица (с единицами ниже главной диагонали) на стр. 91.
4. Через X обозначены как вектор (стр. 79), так и матрица (стр. 76), что затрудняет чтение работы.

Высказанные критические замечания не опровергают основных научных положений и результатов диссертации, не снижают их научной и практической значимости и не оказывают влияния на положительную оценку диссертации Е.А. Калининой.

Диссертация Калининой Елизаветы Александровны на тему: «Применение алгебраических методов для анализа алгебраических систем» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Калинина Елизавета Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01. – системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления).

Член диссертационного совета

д.ф-м.н., профессор, начальник
сектора алгебраических
и квантовых вычислений
Лаборатории Информационных
Технологий ОИЯИ

Дата: 28.08.2018
Подпись В.П. Гердта заверяю
Ученый секретарь ЛИТ ОИЯИ



Гердт В.П.

Д.В.Подгайный