

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ахунова Романа Раисовича

«Алгоритмы и комплекс программ для итерационного решения систем линейных алгебраических уравнений при анализе полосковых структур методом моментов»,

представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации

Невыполнение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) может иметь серьезные последствия в различных сферах деятельности человека и может приводить к сбою в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА). Поэтому необходимо обеспечивать ЭМС РЭА, для чего требуется проводить длительные дорогостоящие испытания. В этой связи, целесообразно использовать имитационное моделирование на этапе проектирования различных элементов РЭА, очень распространенными из которых являются полосковые структуры. При предварительном имитационном моделировании часто применяется метод моментов, сводящий задачу к решению СЛАУ, а большая часть вычислительных затрат приходится на решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которое можно уменьшить за счет использования итерационных методов.

При необходимости моделирования в диапазоне параметров необходимо многократно решать СЛАУ. Это приводит к значительному росту вычислительных затрат, и тем самым, является серьезной преградой для эффективного моделирования. Поэтому актуальны исследования, направленные на усовершенствование анализа полосковых структур методом моментов, за счет использования итерационных методов решения СЛАУ.

Научная новизна

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Предложена математическая модель с дополнительными параметрами (выбором очередности решения и матрицы предобусловливания), позволяющая уменьшить время моделирования полосковых структур методом моментов в диапазоне геометрических и электрофизических параметров структуры.

2. Разработаны алгоритмы, использующие разреженный строчный формат хранения матрицы и уменьшающие время $ILU(0)$ -разложения. Разработаны алгоритмы многократного решения СЛАУ итерационным методом, отличающиеся адаптивным переформированием

предобусловливателя на основании оценок средних арифметических значений времени и сложности решения.

3. Разработан комплекс программ, отличающийся наличием программных модулей для однократного и многократного решения СЛАУ (стабилизированным методом бисопряженных градиентов и квадратичным методом сопряженных градиентов).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений и выводов подтверждается сравнением полученных результатов с результатами других авторов, использованием проверенных алгоритмов и численных методов, согласованностью результатов теоретических оценок и вычислительного эксперимента, а также использованием результатов на практике. В конце каждой главы диссертационной работы представлены основные выводы по результатам исследований.

Практическая значимость разработанных алгоритмов подтверждается актами внедрения результатов диссертационной работы.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов вычислительных экспериментов подтверждается согласованностью их с теоретическими оценками. Результаты исследования обсуждались на научных конференциях всероссийского и международного уровня и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и в изданиях, индексируемых в базах данных WoS и Scopus.

Теоретическая значимость

1. Получены оценки максимального значения коэффициента сжатия для форматов хранения разреженных матриц.

2. Получены аналитические оценки максимально возможного ускорения многократного решения СЛАУ итерационным методом с предобусловливанием относительно метода исключения Гаусса.

3. Получены формулы для аналитической оценки усредненного ускорения многократного решения СЛАУ итерационным методом с предобусловливанием относительно прямого метода.

4. Сформулированы и доказаны теоремы об условиях существования минимума и убывания зависимости среднеарифметического времени решения ряда СЛАУ от их числа.

5. Получены формулы для оценки арифметической сложности LU-разложения, стабилизированного метода бисопряженных градиентов и квадратичного метода сопряженных градиентов с учетом программной реализации.

6. Получены формулы для оценки арифметической сложности LU-разложения, стабилизированного метода бисопряженных градиентов и

квадратичного метода сопряженных градиентов с учетом программной реализации.

Практическая значимость работы

1. Показана перспективность использования итерационных методов с предобуславливанием для многократного решения СЛАУ.

2. Программно реализованы усовершенствованные алгоритмы LU(0)-разложения и многократного решения СЛАУ итерационными методами с адаптивным переформированием предобуславливателя.

3. Использование разработанных комплексов программ позволило уменьшить вычислительные затраты на моделирование реальных полосковых структур методом моментов.

4. Оценена арифметическая сложность алгоритмов LU-разложения, стабилизированного метода бисопряженных градиентов и квадратичного метода сопряженных градиентов с учетом программной реализации.

5. Полученные оценки возможного ускорения многократного решения СЛАУ итерационными методами с предобуславливанием относительно прямого метода позволяют априорно выбрать наиболее подходящий метод.

Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 164 наименований и приложений на 53 с. Объем диссертации с приложениями – 199 с., в т.ч., 64 рис. и 25 табл.

По результатам работы опубликовано 37 работ, в том числе, 1 монография, 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 6 статей в журналах из перечня ВАК, индексируемых в Scopus (*эти публикации особенно значимы: пять из них – в широко известном среди математиков переводном журнале «Записки ПОМИ», а одна – в индексируемом не только в Scopus, но и в WoS, журнале «Вычислительная математика и математическая физика»*), 2 публикации в зарубежных журналах, 2 статьи в отечественных журналах, 4 доклада в трудах зарубежных конференций, 4 – в отечественных, 15 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Во введении соискателем приведена общая характеристика работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе автором выполнен обзор актуальных задач ЭМС, а также структура имитационного моделирования. Выбран метод моментов в качестве основного численного метода. Далее рассмотрена методика вычисления ёмкостных матриц произвольных полосковых структур с помощью метода моментов. Проведен обзор прямых и итерационных методов решения СЛАУ. Выполнен обзор форматов хранения разреженных матриц. Дополнительно выполнен обзор методов многократного решения СЛАУ при многовариантном анализе.

Во второй главе представлены результаты анализа форматов хранения разреженных матриц. Выполнено сравнение форматов и выбран

оптимальный (по критерию минимизации машинной памяти и числа операций, требуемых при использовании формата в алгоритмах). Приведены результаты разработки программы для ILU(0)-разложения с применением формата CSR, предназначенной для ускорения решения СЛАУ с плотной матрицей итерационными методами с неявным предобуславливанием. Проведены вычислительные эксперименты для одновариантного анализа нескольких полосковых структур, подтверждающие эффективность выполненных разработок, а также выполнено сравнение полученных результатов с результатами других авторов.

В третьей главе проведен анализ использования итерационных методов с предобуславливанием в многократном решении СЛАУ с изменяющейся матрицей. Предложены подходы и алгоритмы, позволяющие уменьшить вычислительные затраты многовариантного анализа. Приведены результаты вычислительных экспериментов на примере анализа нескольких полосковых структур, подтверждающие их эффективность.

В четвертой главе представлены функциональная схема, алгоритмы и другие особенности разработки программного комплекса, предназначенного для решения СЛАУ итерационными методами BiCGStab и CGS.

В заключении подведены итоги и сформулированы основные научные и практические результаты, полученные соискателем в ходе работы.

В приложении представлены расчеты сложности алгоритмов, копии актов внедрения результатов работы, а также свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, показывающие значимость полученных научных результатов.

Автореферат диссертации написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ, полно отражает содержание диссертационной работы.

Замечания

1. Работа в основном направлена на повышение производительности вычислений, однако факторы, влияющие на потерю производительности в рамках решаемой задачи исследованы недостаточно.

2. В диссертации значительное внимание уделено рассмотрению итерационных методов для многократного решения СЛАУ с изменяющейся матрицей. Однако автор недостаточно глубоко исследовал вопрос об отличии матриц различных систем, а возможно это факт является принципиально важным.

3. В работе мало внимания уделено специфике решаемой задачи: не указано, для каких физических процессов или технических устройств предложенные алгоритмы должны применяться, и насколько критично обеспечиваемое ими повышение производительности.

4. Оформление работы выполнено не аккуратно: присутствуют грамматические ошибки и повторение материала (например, в автореферате пункты 5 и 6 практической значимости совпадают).

Заключение

Несмотря на указанные замечания, диссертация является законченным научным исследованием. Считаю работу соответствующей требованиям ВАК РФ, а соискателя вполне достойным ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
высшей математики и прикладной
информатики ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический
университет»

19.12.2018

Жданов Александр Иванович

Специальность 05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО СамГТУ)

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Корпус № 8, к 508а

Телефон: (846) 337 03 13, www.samgtu.ru, e-mail: zhdanov.ai@samgtu.ru

Подпись Жданова А.И. заверяю,
Ученый секретарь ФГБОУ ВО СамГТУ,
д.т.н.



Малиновская Юлия Александровна