

Международная академия наук высшей школы
Академия наук высшей школы Российской Федерации
Сибирская академия наук высшей школы
Бурятский, Красноярский, Кузбасский, Новосибирский,
Омский, Томский научные центры САН ВШ
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная
научно-практическая конференция

24 ноября 2020 г.
г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ
(Материалы конференции)

Томск
Издательство ТУСУРа
2020

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

П77

Организационный комитет:

А.А. Шелупанов – президент ТУСУРа (председатель),

Т.Р. Газизов – профессор ТУСУРа (зам. председателя),

Ю.А. Шурыгин, А.М. Кориков, Г.П. Литвинцева,

М.Ю. Катаев, Ю.С. Саркисов

Отв. редактор – Е.В. Прокопчук

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири
П77 (СИБРЕСУРС-26-2020) : доклады (материалы конференции)
26-й международной научно-практической конференции,
Томск, 24 ноября 2020 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та
систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 144 с.

ISBN 978-5-86889-

Представлены материалы, отражающие результаты научной деятельности вузов Сибирского региона по эффективному использованию и развитию территориальных ресурсов в интересах экономики России.

Для ученых, специалистов, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов вузов и научных учреждений как в России, так и за рубежом.

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

ISBN 978-5-86889-

© Сибирская академия наук
высшей школы, 2020

**ПЛЕНАРНЫЕ
ДОКЛАДЫ**

А. А. КВАСНИКОВ, аспирант, каф. ТУ, ТУСУР, Томск
С. П. КУКСЕНКО, канд. техн. наук, доцент, каф. ТУ,
ТУСУР, Томск

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАУ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

Разработан параллельный алгоритм формирования СЛАУ при квазистатическом анализе линий передачи методом моментов. Представлены результаты его тестирования и использования на примере системы TALGAT.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) является актуальной научной проблемой, которая из-за финансовых и временных затрат на создание прототипов и физическое моделирование с их помощью часто остается неразрешимой. В связи с этим разработчики РЭС используют компьютерное моделирование в специализированном программном обеспечении.

К задачам ЭМС относятся обеспечение целостности сигналов, распространяющихся по связанным линиям передачи, и создание помехозащитных устройств на основе этих линий, таких как модальные фильтры (МФ) [1]. При проектировании линий передачи широкое распространение получил квазистатический подход, основанный на вычислении методом моментов их погонных параметров (матрицы \mathbf{R} , \mathbf{L} , \mathbf{C} и \mathbf{G}) с последующим определением откликов в конце или вдоль этих линий. Для вычисления этих параметров необходимо формирование и решение СЛАУ, от чего в целом зависит эффективность всего процесса анализа. С учётом передовых научных исследований и разработок одним из эффективных подходов к решению СЛАУ является использование параллельных вычислений.

Квазистатический анализ линий передачи выполняется с помощью системы компьютерного моделирования задач ЭМС TALGAT, разрабатываемой в Сибири. Данная система всё чаще используется при проведении передовых научных исследований. Однако недостаток системы TALGAT в виде только после-

довательного формирования СЛАУ ограничивает её широкое внедрение в промышленность и научные изыскания. Поэтому требуется разработка параллельного алгоритма формирования СЛАУ, возникающей при квазистатическом анализе линий передачи методом моментов, и его апробация в системе TALGAT.

Традиционно для решения задач математической физики, к которым относятся и задачи ЭМС, используются языки программирования Fortran, C и C++. При этом семейство языков C имеет ряд преимуществ, которые обуславливают их использование при создании сложных программ. Кроме того, из-за широкого использования многоядерных рабочих станций в настоящее время создано много различных инструментальных средств для написания параллельных программ, таких как OpenMP, CUDA C, Intel Parallel Studio и др.

При анализе линий передачи методом моментов исследуемая структура разбивается на подынтервалы (построение сетки), на основании чего формируется СЛАУ. Исходный алгоритм формирования СЛАУ с точки зрения программной реализации представляет собой комбинацию из четырех вложенных циклов по всем подынтервалам структуры относительно одного фиксированного. Но так как счетчики циклов не соответствуют индексам массива СЛАУ, а изменяются между итерациями, существует зависимость данных между ними. Кроме того, система TALGAT разработана на базе объектно-ориентированного подхода, из-за чего некоторые переменные, используемые на каждой итерации цикла, вынесены на уровень класса, что создаёт сложности, связанные с одновременным доступом к ним при распараллеливании исходного алгоритма.

Чтобы система могла работать параллельно на любой многопроцессорной рабочей станции, использованы директивы OpenMP. Так, сначала удалены зависимости от общих переменных уровня класса путём их замены на переменные, созданные локально. Изменению подверглись сами циклы, так как OpenMP не поддерживает распараллеливание циклов типа *while*. Кроме того, создан дополнительный контейнер класса *map*, который позволил с помощью имеющихся данных внутри каждой итерации (числовая комбинация счётчиков) получить нужное значение индексов строк и столбцов СЛАУ. В результате удалось сохранить исходную структуру кода и произвести распаралле-

ливание с помощью директивы `#pragma omp parallel for`. Однако вычислительный эксперимент на рабочей станции с 12-ядерным процессором AMD Ryzen 9 3900x на примере линии, представленной на рисунке 1,а, показал, что уменьшение времени на формирование СЛАУ не было получено. Это оказалось связано с большими затратами времени на формирование контейнера и обращение к нему.

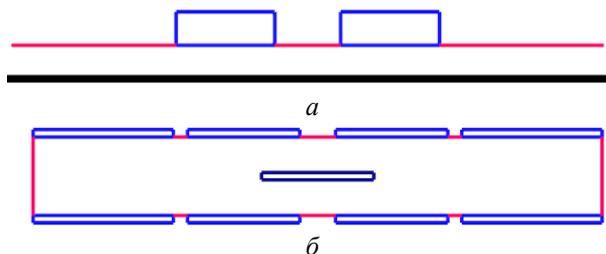


Рисунок 1 – Поперечные сечения 2-проводной микрополосковой линии передачи (а) и 8-проводного зеркально-симметричного МФ (\bar{b})

Алгоритм формирования СЛАУ с проходом по четырём циклам еще раз был переработан и свернут до двух циклов с сохранением исходной трудоемкости N^2 , где N – число подынтервалов. Это позволило эффективно использовать директивы OpenMP и отказаться от дополнительного контейнера. Для решения СЛАУ в системе TALGAT использовалась библиотека Eigen, поддерживающая вычисления с OpenMP. В таблице 1 приведены затраты времени на вычисление матрицы C (здесь и далее среднее время пяти вычислений) при учащении сегментации (увеличении N).

Таблица 1 – Время (с) вычисления матрицы C и ускорение

N	Последовательное вычисление	Параллельное вычисление	Ускорение
550	0,25	0,11	2,27
1100	1,30	0,46	2,83
5500	121,96	13,80	8,84
11000	897,30	84,87	10,57

В таблице 2 приведены результаты, полученные при вычислении матриц **C**, **L** и **G** для линии, изображенной на рисунке 1,б. Из обеих таблиц видно, что при увеличении N выигрыш от реализации разработанного алгоритма растёт.

Таблица 2 – Общее время (с) вычисления матриц **C**, **L**, **G** и ускорение

N	Последовательное вычисление	Параллельное вычисление	Ускорение
480	0,25	0,14	1,79
830	0,89	0,36	2,47
3500	43,69	15,38	2,84
8300	513,99	167,68	3,07

Таким образом, разработан параллельный алгоритм формирования СЛАУ при квазистатическом анализе линий передачи методом моментов.

Показано, что время вычислений погонных параметров линии передачи может быть уменьшено в 10 раз.

*Работа выполнена при поддержке проектов
Минобрнауки России № FEWM-2020-0041
и РФФИ № 19-37-51017.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Черникова, Е. Б., Газизов, Т. Р. Модальное разложение сверхкороткого импульса // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. № 9. С. 1–17. Doi:10.30898/1684-1719.2020.9.12.

A. A. Kvasnikov, S. P. Kuksenko

Parallel algorithm for slae formation in the analysis of transmission lines by the method of moments

This article presents the results of the development of a parallel algorithm for SLAE formation in the quasistatic analysis of transmission lines by the method of moments. The results of testing the algorithm in the TALGAT system are shown.

aleksejkvasnikov@gmail.com, ksergp@tu.tusur.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бакайтис В. И.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ	5
<i>Московченко А. Д.</i> АТОМНАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АВТОТРОФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МИРЕ	10
<i>Трубченинова И. А.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ	17

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

<i>Алланина Л. М.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРАВА	23
<i>Жабина Н. А., Михалеико Б. А., Чихирева В. В.</i> ОСОБЕННОСТИ МЕЖПОПУЛЯЦИОННЫХ РИЗОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ «РАСТЕНИЯ – ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – МИКРООРГАНИЗМЫ»	26
<i>Картопольцев В. М., Сипкин В. В., Картопольцев А. В.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ – ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	30
<i>Катаев М. Ю., Bulysheva L. A., ЛОСЕВА Н. В., LI DA XU</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	35
<i>Катаев М. Ю., Bulyshev A. E.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ	44
<i>Колева Г. Ю.</i> ВЫЖИВАНИЕ КАК ПОИСК ТВОРЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	52
<i>Марков Н. Г., Маслов К. А., Токарева О. С.</i> СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ С БПЛА	56

<i>Мицель А. А., Алимханова А. Н.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	61
<i>Саркисов Ю. С., Горленко Н. П.</i> ХИМИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ	65
<i>Селезнева Е. В., Геращенко А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АГРАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	69
<i>Солдаткин В. С., Михальченко Т. С., Шардина А. О., Юлдашова Л.Ш.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ДИОДОВ	73
<i>Солдаткин В. С., Шнайдер Е. В., Стасенко Ю. И.</i> СВЕТСИГНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ФЛОТА РФ С ФУНКЦИЕЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ	77
<i>Орлова В. В., Лобода Ю. О., Кочетков О. В., Глухарева С. В., Ноздреватых Д. О., Рекундаль О. И., Пикалова Л. Р.</i> МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВУЗА С ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ	81
Секция 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ	
<i>Иноземцев М. А.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГЕОРАДАРОВ	87
<i>Варзин Е. С., Суровцев Р. С., Носов А. В.</i> УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ	91
<i>Власова Н. О., Белоусов А. О.</i> ПОЛНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ	97
<i>Квасников А. А., Куксенко С. П.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАУ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ	103
<i>Клюкин Д. В., Куксенко С. П.</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	107

<i>Максимов А. Е., Куксенко С. П.</i> АДАПТИВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ	112
<i>Ромашов И. П., Медведев А. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ	117
<i>Сагиева И. Е.</i> МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ	123
<i>Самойличенко М. А.</i> ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ ...	127
<i>Хасан А. Алхадж, Газизов Т. Р.</i> ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ И СОГЛАСОВАНИЯ НА ТОК В СВЯЗАННЫХ ПРОВОДАХ	134

Научное издание
ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ
(СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная научно-практическая конференция
24 ноября 2020 г., г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ

Подписано в печать 00.12.2020. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 8,14. Тираж 80 экз. Заказ 000.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018.