

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. Е. МАКСИМОВ, ассистент каф. ТУ, ТУСУР, Томск
С. П. КУКСЕНКО, канд. техн. наук, доцент каф. ТУ,
ТУСУР, Томск

АДАПТИВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

Приведены результаты использования адаптивного итерационного выбора оптимальной сегментации для уменьшения вычислительных затрат при решении электростатических задач методом моментов. Показана эффективность предлагаемого способа построения сетки при анализе многопроводных линий передачи со сложной геометрией.

Метод моментов (МоМ) – один из универсальных численных методов, используемых при решении электростатических задач, когда аналитическое решение недоступно ввиду сложной геометрии исследуемой структуры. МоМ сводит задачу к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с плотной матрицей, для хранения которой требуется большой объем памяти, что обуславливает повышенные требования к аппаратной части персональных компьютеров (ПК), на которых производится вычисление, а также большие затраты времени, особенно при многовариантном анализе или оптимизации исследуемой структуры. Все это актуализирует потребность в экономии вычислительных затрат.

При решении электростатических задач границы структуры разбиваются на сегменты. Их длина влияет как на размер матрицы СЛАУ, так и на точность вычисления параметров, например погонных параметров линии передачи. Очевидно, что, чем меньшую длину имеет каждый сегмент, тем выше точность вычислений. С другой стороны, это ведёт к увеличению размеров СЛАУ и тем самым к росту затрат машинной памяти. Таким образом, необходим поиск способа сегментации, используя ко-

торый, можно достичь требуемой точности расчета параметров при как можно меньшем порядке матрицы СЛАУ.

Адаптивный итерационный выбор оптимальной сегментации (АИВОС) – способ, при котором изначально берется редкая сегментация, а затем шаг сетки итерационно уменьшается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность результатов либо максимальное число итераций [1]. Это позволяет избежать избыточных вычислений и уменьшить вычислительные затраты за счёт того, что на каждой предыдущей итерации объем памяти, занимаемый матрицей СЛАУ, в четыре раза меньше, чем на последующей.

Цель работы – показать эффективность использования АИВОС на примере анализа многопроводных линий передачи (МПЛП) со сложной геометрией методом моментов.

Для достижения поставленной цели были исследованы две линии передачи (рисунок 1). Геометрические размеры МПЛП 1: толщина проводников $t = 0,005$ мм; ширина проводников $w = 0,05$ мм; расстояние между соседними проводниками $s = 0,05$ мм; расстояние от крайних проводников до границ структуры $d = 0,15$ мм; толщина слоев диэлектрика $h_1 = h_2 = h_3 = 0,05$ мм; относительные диэлектрические проницаемости $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r3} = 3,8$, $\epsilon_{r2} = 2$. Размеры МПЛП 2: $t = 0,018$ мм; $w = 1,6$ мм; $w_1 = 1$ мм; $s = 0,51$ мм; $d = 3$ мм; $h = 1$ мм; $\epsilon_r = 4,5$.

Для получения эталонных результатов [1] использовалась равномерная сегментация с длиной сегмента, равной трети толщины проводника ($t/3$): для МПЛП 1 она составила $l_3 = 0,0017$ мм (число сегментов $N_3 = 5325$), а для МПЛП 2 – $l_3 = 0,006$ мм ($N_3 = 6492$). СЛАУ решали методом исключения Гаусса. При этом затраты времени и машинной памяти составили $T_3 = 3,16$ с, $V_3 = 216,34$ Мбайт и $T_3 = 5,43$ с, $V_3 = 321,55$ Мбайт для МПЛП 1 и МПЛП 2 соответственно. Для сравнения точности решения использовались элементы ёмкостной матрицы как самой вычислительно затратной. В системе TALGAT для МПЛП 1 и МПЛП 2 получены диагональные элементы этой матрицы, соответствующие контролируемым проводникам (на рисунке 1 обозначены черным цветом): $C_3 = 98,95$ пФ/м и $C_3 = 141,43$ пФ/м соответственно. Здесь и далее использованы система GNU Octave и ПК со следующими параметрами: процессор – AMD Ryzen 3 3200G, тактовая

частота – 3,6 ГГц; объем ОЗУ – 16 Гбайт; число ядер – 4, число виртуальных процессоров – 4.

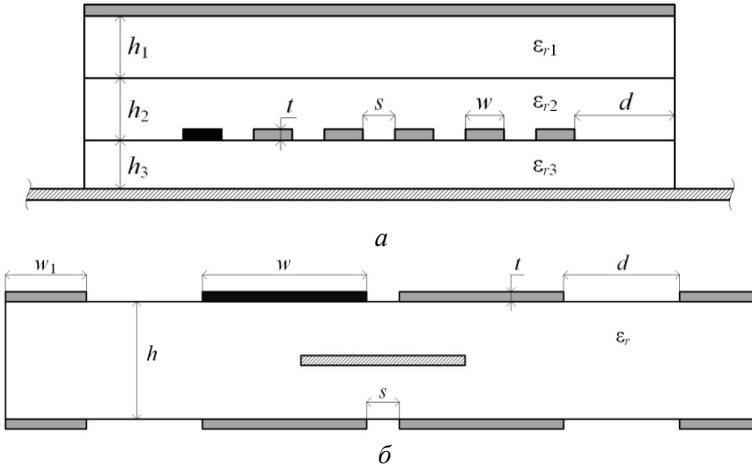


Рисунок 1 – Поперечные сечения МПЛП 1 (а) и МПЛП 2 (б)

При использовании АИВОС сначала задавалась редкая и равномерная сетка с длиной сегментов l_0 и их общим числом N_0 . В [1] рекомендуется брать l_0 , равной ширине проводников w . В данной работе выполнено исследование влияния l_0 , равной $0,5w$, w и $2w$, на точность результатов. После построения начальной сетки все сегменты итерационно разбивались пополам. Процесс продолжался до тех пор, пока значение C на соседних итерациях изменялось более чем на 1 %. Полученные результаты для МПЛП 1 и МПЛП 2 сведены в таблицы 1 и 2 соответственно. В таблицах указано число итераций N_{it} , конечное число сегментов N , погрешность ΔC , вычисляемая как $\Delta C = |C - C_3|/C_3$, время вычислений T и объем использованной памяти V , а также отношение последних величин относительно аналогичных эталонных результатов.

На основании представленных результатов можно сделать вывод, что АИВОС эффективен для исследуемых МПЛП, поскольку уменьшает вычислительные затраты на их анализ.

Таблица 1 – Результаты вычислений для МПЛП 1

l_0 , мм	N_0	N_{it}	N	C , пФ/м	V , Мбайт	T , с	ΔC , %	V_3/V	T_3/T
0,025 (0,5w)	345	2	674	79,80	3,47	0,05	19,36	62,4	65,6
0,05 (w)	186	5	2750	97,72	57,70	0,96	1,25	3,7	3,3
0,1 (2w)	107	6	2814	98,14	60,41	0,89	0,82	3,6	3,5

Таблица 2 – Результаты вычислений для МПЛП 2

l_0 , мм	N_0	N_{it}	N	C , пФ/м	V , Мбайт	T , с	ΔC , %	V_3/V	T_3/T
0,8 (0,5w)	48	9	7824	140,70	467,03	11,41	0,51	0,7	0,5
1,6 (w)	44	9	6472	140,81	319,57	6,65	0,44	1,0	0,8
3,2 (2w)	44	8	2514	141,94	48,22	0,90	0,36	6,7	6,0

При этом высокую точность ($\Delta C \leq 1\%$) для обеих МПЛП с гарантированной экономией вычислительных ресурсов можно получить только при $l_0 = 2w$, в отличие от рекомендаций [1]. Выбор этого значения универсален и даёт экономию памяти и времени до 3,5 раза для МПЛП 1 и до 6 раз для МПЛП 2 относительно эталонных результатов. В остальных случаях либо слишком велика погрешность вычисления, либо отсутствует экономия машинных ресурсов.

Таким образом, показана эффективность АИВОС при решении электростатических задач методом моментов на примере анализа МПЛП.

*Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2020-0039
Минобрнауки России.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Аширбакиев, Р. И., Салов, В. К. Адаптивный итерационный выбор оптимальной сегментации границ проводников и диэлектриков в задачах электростатики // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013. № 3 (29).

A. E. Maksimov, S. P. Kuksenko

Adaptive iterative selection of optimal segmentation in solving electrostatic problems by the method of moments

The results of using an adaptive iterative selection of optimal segmentation to reduce computational costs in solving electrostatic problems by the method of moments are presented. The effectiveness of this method of constructing a grid in the analysis of multi-wire transmission lines with complex geometry is shown.

mae@tusur.ru, 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.