



УРАЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СВЯЗИ  
И ИНФОРМАТИ



СИБИРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
И ИНФОРМАТИКИ



Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в  
г.Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

При поддержке Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС),  
Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),  
Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОГНИТИВНАЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ

Сборник научных трудов VI Всероссийской научно-  
практической конференции

Екатеринбург  
2020

**УДК 378**

**ББК 74.58 + 32.88-01**

Информационные технологии и когнитивная электросвязь: Тезисы докладов VI Всероссийской научно-практической конференции. - Екатеринбург: УрТИСИ СибГУТИ, 2020. – 162 с.

В сборник включены тезисы докладов, выполненных в рамках VI Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и когнитивная электросвязь» по актуальным научным направлениям совершенствования и перспективного развития современных инфокоммуникационных технологий и систем связи, информационной безопасности, информационных технологий и защите информации.

Материалы статей, вошедших в сборник, даны в авторской редакции.

Представленный сборник предназначен для научных работников, аспирантов, студентов и специалистов, работающих в области современных инфокоммуникационных технологий.

Сборник включен в перечень журналов РИНЦ.

**Оргкомитет конференции:** Будылдина Надежда Вениаминовна – зав. кафедрой ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Кусайкин Дмитрий Вячеславович – доцент кафедры МЭС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Волынская Анна Владимировна - начальник Управления обеспечения образовательного процесса УрГУПС, к.т.н.; Черезов Григорий Анатольевич – зав. кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте» УрГУПС, к.т.н., доцент; Рогожников Евгений Васильевич – доцент кафедры Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, директор регионального центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по Сибирскому, Уральскому и Дальневосточному федеральным округам по направлению «Технологии беспроводной связи и Интернета вещей»; Попова Ксения Юрьевна – декан РТФ, зав. кафедрой Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, к.ф.-м.н.

**Редколлегия конференции:**

Председатель- Шувалов Вячеслав Петрович – профессор кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии СибГУТИ, д.т.н.;

Члены редколлегии: Поршнева Сергей Владимирович – профессор кафедры ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, д.т.н., профессор; Будылдина Надежда Вениаминовна – зав. кафедрой ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н., доцент; Кусайкин Дмитрий Вячеславович – доцент кафедры МЭС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Карачарова Марина Петровна – начальник методического отдела УрТИСИ СибГУТИ; Волынская Анна Владимировна - начальник Управления обеспечения образовательного процесса УрГУПС, к.т.н., доцент; Черезов Григорий Анатольевич – зав. кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте» УрГУПС, к.т.н., доцент; Рогожников Евгений Васильевич – доцент кафедры Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, директор регионального центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по Сибирскому, Уральскому и Дальневосточному федеральным округам по направлению «Технологии беспроводной связи и Интернета вещей»; Попова Ксения Юрьевна – декан РТФ, зав. кафедрой Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, к.ф.-м.н.

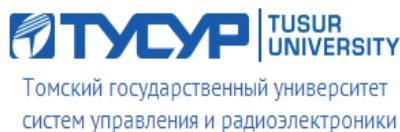
**Ответственный секретарь конференции:** Карачарова Марина Петровна, контактный телефон: (343)242-09-26, электронная почта [kmp@urtisi.ru](mailto:kmp@urtisi.ru)

**Партнёры:**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

|  |    |
|--|----|
| <b>А.В. Бизяев, Д.В. Кусайкин</b> Обзор методов распознавания формата модуляции сигнала в системах передачи информации.....  | 5  |
| <b>М.С. Евдокимов, О.А. Обвинцев, Т.А. Бурина</b> Недостатки CAPTCHA для пользователей.....  | 10 |
| <b>А. О. Горай, Н.В. Будылдина</b> Исследование подхода к аппроксимации спектра мощности фрактального Гауссовского шума.....   | 13 |
| <b>Ю.О. Гусева, Н.В. Будылдина</b> Позиционирование с помощью метода DISTANCE VECTOR-HOP в беспроводной сенсорной сети.....  | 17 |
| <b>Д.Д. Калмыкова, В.П. Шувалов</b> Энергетическая эффективность сетей доступа.....  | 22 |
| <b>И.Г. Квиткова</b> Анализ задачи метрологического обеспечения процессов производства и эксплуатации ВОЛС.....  | 26 |
| <b>З.М. Кенжегулова, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий</b> Аналитические выражения для вычисления временного отклика двух последовательно соединенных отрезков связанных линий при согласовании по выходу..... | 29 |
| <b>А.Е. Максимов, И.А. Онищенко, С.П. Куксенко</b> Адаптивное учащение сетки при анализе линий передачи методом моментов.....  | 34 |
| <b>И.Н. Микишев, Н.В. Будылдина</b> Исследование скорости обучения нейронной сети при решении задачи нахождения глобального минимума функции.....  | 37 |
| <b>А.Н. Земцов, А.А. Турицын, Чан Зунг Хань</b> Организация безопасного взаимодействия филиалов кредитной организации.....   | 42 |
| <b>В.П. Шувалов, И.Г. Квиткова</b> Техничко-экономический анализ пассивных оптических сетей доступа большого радиуса действия.....   | 45 |
| <b>Д.А. Овчинников, С.А. Баранов</b> Практический опыт конструирования антенны Спираль Архимеда.....   | 50 |
| <b>А.Ю. Дерр, В.Т. Куанышев</b> Предназначение и устройство вибрационных волоконно-оптических средств обнаружения.....   | 54 |
| <b>К.Б. Уткин, В.Т. Куанышев</b> Методы позиционирования радиоэлектронных средств связи (РЭС) стандарта DMR (Digital Mobile Radio) внутри производственных площадей промышленного предприятия.....           | 58 |
| <b>Е.В. Юрченко, Н.В. Будылдина</b> Система распределения горизонтального взаимодействия для многосервисных компьютерных сетей.....  | 62 |
| <b>В.П. Шувалов, И.Г. Квиткова</b> К вопросу о качестве работы устройств мониторинга пассивных оптических сетей доступа.....   | 66 |
| <b>А.С. Нифонтова, В.С. Кутенин</b> Моделирование сетей связи.....   | 71 |
| <b>Е.С. Рудометова, В.Т. Куанышев</b> Расчет передаточной функции X-ответвителя в режиме нелинейной токовой петли.....   | 74 |
| <b>К.А. Батенков, В.Ю. Головачёв, С.В. Чистяков</b> Возможности моделирования телекоммуникационных сетей с помощью программного обеспечения RIVERBED.....  | 78 |
| <b>К.А. Батенков</b> Исследование множеств подграфов телекоммуникационной сети различной связности.....  | 80 |
| <b>И.В. Богачков, А.И. Александрова (Трухина)</b> Влияние изгибов оптических волокон на бриллюэновские рефлектограммы.....   | 83 |
| <b>И.В. Богачков, Н.А. Комисарчук, Л.В. Шарафутдинова</b> Определение разновидностей оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам.....   | 89 |
| <b>И.В. Богачков, И.Б. Тугов</b> Основы обнаружения несанкционированного доступа к оптическим волокнам.....  | 94 |
| <b>И.В. Богачков, Л.В. Шарафутдинова, Н.А. Комисарчук</b> Программа для анализа характеристик оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам.....  | 98 |

## АДАПТИВНОЕ УЧАЩЕНИЕ СЕТКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники в г.  
Томске (ТУСУР), Россия

Ключевые слова: адаптивное учащение сетки, метод моментов, система линейных алгебраических уравнений.

В статье приведены результаты использования адаптивного учащения сетки для ускорения сходимости и повышения точности решения электростатических задач методом моментов. Выявлены диапазоны значений параметров алгоритма, при которых его использование является эффективным средством уменьшения вычислительных затрат.

A.E. Maksimov, I.A. Onishchenko, S.P. Kuksenko

## ADAPTIVE MESH REFINEMENT IN ANALYSIS OF TRANSMISSION LINES BY THE METHOD OF MOMENTS

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics in Tomsk (TUSUR), Russia

Keywords: adaptive mesh refinement, method of moments, system of linear algebraic equations.

The article presents the results of using the adaptive mesh refinement to convergence acceleration and increase the accuracy of solving electrostatic problems by the method of moments. Determined the ranges of values of the algorithm parameters at which its use is an effective means of reducing computational costs.

На практике часто возникают задачи анализа линий передачи (ЛП), используемых как в качестве элементов, так и в виде законченных СВЧ-устройств [1]. В случае использовании квазистатического приближения задача сводится к необходимости вычисления матриц погонных параметров линии. При анализе линий без потерь основные затраты приходятся на вычисление ёмкостной матрицы  $C$  и меньшие на матрицу индуктивностей  $L$  [2]. Поскольку геометрия линий, как правило, достаточно сложна, аналитическое решение недоступно и используют различные численные методы. Одним из них является метод моментов (МоМ) [3]. Тогда решение задачи сводится к необходимости решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [4]. Матрица СЛАУ при этом является плотной и объем памяти, которым обладают современные персональные компьютеры (ПК), часто оказывается недостаточен для её хранения, поэтому её порядки при практических вычислениях ограничены [5]. С другой стороны, необходимость многовариантного анализа линии в диапазоне её параметров, даже при достаточно простой геометрии линии, приводит к большим вычислительным затратам [6]. Свойства формируемой СЛАУ определяются выбранным методом построения сетки. При этом одной из главных проблем является обеспечение высокой точности расчетов при приемлемой вычислительной сложности. Достаточно эффективным решением этой проблемы является адаптация сетки к особенностям решения. Известно, что точность численного решения в подобластях сосредоточения особенностей решения существенно влияет на итоговую точность во всей области [7]. Тогда учащением сетки в таких подобластях можно повысить точность решения, а загрузлением сетки в подобластях плавного изменения решения можно уменьшить вычислительные затраты и, тем самым, повысить скорость решения. Именно поэтому возникает потребность в использовании адаптивного учащения сетки для уменьшения вычислительных затрат при анализе линий передачи.

Цель работы – оценить результативность учащения сетки при анализе линий передачи методом моментов.

На рисунке 1 показаны примеры равномерного (эквидистантного) и неравномерного

учащения сетки при анализе микрополосковой линии. В работе использован следующий алгоритм. При неравномерном учащении сетки сначала задается начальная редкая и равномерная сетка, соответствующая числу подынтервалов  $N_0$ . Затем итерационно происходит разбиение подынтервалов, в которых наблюдается наибольшее изменение распределение заряда, на основе задаваемого процента подлежащих разбиению ( $P$ ) подынтервалов от их общего числа. При разбиении подынтервалов добавляются новые узлы сетки в их центрах. Процесс продолжается до достижения максимального числа итераций ( $N_{itmax}$ ) или пока  $\|C_i - C_{i-1}\| / \|C_{i-1}\| > tol$ , где  $C_i$  – емкостная матрица, полученная после итерации  $i$ , а  $tol$  – требуемая точность решения. Аналогичный подход использован для вычисления матрицы  $L$ .

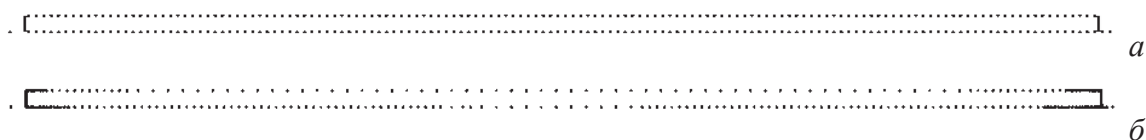


Рис. 1 – Равномерное (а) и неравномерное (б) учащения сетки

Для апробации алгоритма рассмотрена двухпроводная микрополосковая линия передачи с параметрами из работы [8]. Для вычислений использовались пакет GNU Octave и ПК со следующими характеристиками: процессор – Intel Core i5-8265U, тактовая частота – 1,60 ГГц; объем ОЗУ – 8 Гб; количество ядер – 4; количество виртуальных процессоров – 8.

На рисунке 2а приведены матрицы  $C$  и  $L$ , полученные при использовании густой равномерной сетки. Для решения СЛАУ использован метод исключения Гаусса. При этом порядок матрицы СЛАУ составил  $N=6250$ , а затраты времени и машинной памяти составили 16 с и 600 Мб соответственно. Далее результаты, полученные при такой сетке, использованы как эталонные. Для наглядности, аналогичные результаты ( $C$  и  $L$ ) при более грубой сетке и  $N=2500$  приведены на рисунке 2б. Затраты времени и памяти составили 1,1 с и 47,7 Мб соответственно.

$$\begin{array}{ccc}
 C = \begin{bmatrix} 131,88 & -23,29 \\ -23,29 & 131,88 \end{bmatrix} & \underline{C} = \begin{bmatrix} 131,65 & -22,23 \\ -22,23 & 131,64 \end{bmatrix} & C' = \begin{bmatrix} 132,00 & -22,75 \\ -21,90 & 130,60 \end{bmatrix} \\
 L = \begin{bmatrix} 0,3274 & 0,0947 \\ 0,0947 & 0,3274 \end{bmatrix} & \underline{L} = \begin{bmatrix} 0,3270 & 0,0945 \\ 0,0945 & 0,3270 \end{bmatrix} & L' = \begin{bmatrix} 0,3267 & 0,0944 \\ 0,0944 & 0,3267 \end{bmatrix} \\
 a & б & в
 \end{array}$$

Рис. 2 – Матрицы, полученные при равномерной для  $N=6250$  (а) и  $N=2500$  (б) и неравномерной для  $N_0=1250$ ,  $tol=10^{-2}$  и  $P=10\%$  (в) сетках

Исследование работы алгоритма построения неравномерной сетки выполнено при двух начальных сетках, соответствующих  $N_0=250$  и 1250. В таблице 1 приведены затраты времени ( $T$ ), машинной памяти ( $V$ ) и число итераций  $N_{it}$ , требуемые для вычисления матриц  $C'$  и  $L'$ , а также полученные погрешности  $\Delta C = \|C' - C\| / \|C\|$  и  $\Delta L = \|L' - L\| / \|L\|$  при изменении  $P$  и  $tol$ . Из таблицы 1 видно, что существенной одновременной минимизации затрат времени и машинной памяти можно добиться оптимальным выбором начальной сегментации  $N_0$  и выбором процента учащаемых подынтервалов в диапазоне 10–30%. При этом требуемую точность решения легко контролировать параметром  $tol$ . Для наглядности на рисунке 2в приведены матрицы  $C'$  и  $L'$ , полученные при  $N_0=1250$ ,  $tol=10^{-2}$  и  $P=10\%$ .

Таким образом, в работе исследовано применение итерационного алгоритма неравномерного учащения сетки при анализе линий передачи методом моментов. Выявлены диапазоны значений параметров алгоритма, при которых его использование является эффективным средством уменьшения вычислительных затрат, требуемых на анализ. Далее целесообразно оценить возможность его применения и модификации применительно к многовариантному анализу.



Таблица 1. Результаты вычислений матриц  $C'$  и  $L'$  при использовании алгоритма неравномерного учащения сетки для двухпроводной микрополосковой линии передачи

| $N$  | $tol$     | $P, \%$ | $N_{itmax}$ | $N_{it}$ | $T, c$  | $V, Mб$  | $\Delta C$ | $\Delta L$ |
|------|-----------|---------|-------------|----------|---------|----------|------------|------------|
| 250  | $10^{-2}$ | 10      | 20          | 12       | 0,0189  | 0,709724 | 0,074811   | 0,042195   |
|      |           | 20      | 20          | 8        | 0,0639  | 1,027596 | 0,069934   | 0,042432   |
|      |           | 30      | 20          | 7        | 0,0795  | 1,930305 | 0,076033   | 0,041732   |
|      |           | 40      | 20          | 6        | 0,0925  | 2,980232 | 0,100040   | 0,041550   |
|      | $10^{-3}$ | 10      | 20          | 20       | 0,1938  | 3,517464 | 0,067275   | 0,042908   |
|      |           | 20      | 20          | 17       | 0,9822  | 28,50715 | 0,069922   | 0,043387   |
|      |           | 30      | 20          | 9        | 0,1866  | 5,551216 | 0,070327   | 0,042210   |
|      |           | 40      | 15          | 15       | 87,9987 | 1624,5   | 0,013477   | 0,006495   |
|      | $10^{-4}$ | 10      | 20          | 20       | 0,2194  | 3,517464 | 0,067275   | 0,042908   |
|      |           | 20      | 20          | 20       | 2,7294  | 85,4676  | 0,069932   | 0,043627   |
|      |           | 30      | 18          | 18       | 28,4278 | 700,0522 | 0,068510   | 0,043099   |
|      |           | 40      | 15          | 15       | 89,8876 | 1624,5   | 0,013477   | 0,006495   |
| 1250 | $10^{-2}$ | 10      | 7           | 2        | 0,2675  | 14,57156 | 0,010352   | 0,002235   |
|      |           | 20      | 7           | 2        | 0,292   | 17,32673 | 0,008157   | 0,002235   |
|      |           | 30      | 7           | 2        | 0,3459  | 21,66157 | 0,008128   | 0,002235   |
|      |           | 40      | 7           | 6        | 11,8169 | 454,8175 | 0,020660   | 0,000951   |
|      | $10^{-3}$ | 10      | 7           | 7        | 1,3172  | 38,21292 | 0,010503   | 0,001467   |
|      |           | 20      | 7           | 3        | 0,5308  | 25,07758 | 0,007267   | 0,001711   |
|      |           | 30      | 7           | 3        | 0,7314  | 37,49915 | 0,007320   | 0,001711   |
|      |           | 40      | 7           | 7        | 34,2262 | 902,4611 | 0,016600   | 0,001155   |
|      | $10^{-4}$ | 10      | 7           | 7        | 1,2947  | 38,21292 | 0,010503   | 0,001467   |
|      |           | 20      | 7           | 7        | 2,9818  | 108,3783 | 0,010768   | 0,001245   |
|      |           | 30      | 7           | 7        | 9,3261  | 323,3345 | 0,010933   | 0,001360   |
|      |           | 40      | 7           | 7        | 33,0393 | 902,4611 | 0,016600   | 0,001155   |

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малютин Н.Д. Связанные полосковые линии и устройства на их основе / Н.Д. Малютин, А.Н. Сычев, Э.В. Семенов, А.Г. Лоцилов. – Томск: ТУСУР, 2012. – В 2-х частях: Ч.1 – 176 с. Ч.2 – 244 с.
2. Сычев А.Н. Комбинированный метод частичных емкостей и конформных отображений для анализа многомодовых полосковых структур. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 138 с.
3. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
4. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики / А.Д. Григорьев – М.: Физматлит. – 2013. – 430 с.
5. Shaeffer J. Million plus unknown MOM LU factorization on a PC // IEEE International conference on electromagnetics in advanced applications (ICEAA). – 2015. – P. 62–65.
6. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation / S.P. Kuksenko // Journal of physics: conference series. – 2019. - Vol. 560. – Iss. 1. - P. 012110. - DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012110
7. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
8. Стручков С.М. Методика конформных отображений для моделирования полосковых линий передачи и проектирование устройств на их основе. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.12.07. – Томск, 2016. – 148 с.