

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МЕТОДА МОМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

© 2016 А. С. Фролов, С. А. Фомин

*Воронежский институт высоких технологий  
Российский новый университет*

*В данной статье проводится анализ особенностей решения задач на основе метода моментов. В общем случае метод моментов имеет множество ограничений, что обуславливает разработку новых, более эффективных подходов. Представлены базовые характеристики по новым методикам, связанным с предварительной обработкой и распараллеливанием. Приведены некоторые примеры, показывающие применимость новых подходов.*

*Ключевые слова: метод интегральных уравнений, электромагнитное поле, вычисление.*

Уравнения Максвелла использовались в течение долгого времени и являются в общем случае одним из способов, применяемых при обучении студентов электродинамическим методам, касающихся анализа электромагнитных волн и особенностей их взаимодействия с произвольными объектами.

Следует отметить, тем не менее, все современные пакеты программного обеспечения, связанные с электромагнитным моделированием, по своей сути представляют набор выражений.

В этой связи огромный спектр приложений зависит от непосредственного применения этих уравнений или упрощений, которые позволяют ускорить вычисления, но существуют некоторые ограничения. Такие приложения включают в себя проектирование антенн, анализ распространения радиоволн, систем связи, радаров, бортовых антенн, инфракрасный анализ, проектирование обтекателей, схем и многое другое.

Метод моментов, который хорошо известен и используется в вычислительной электродинамике, легко выводится из уравнений Максвелла.

Из дифференциального представления таких выражений, применяя простые векторные вычисления и вводя скалярные и векторные электрические и магнитные потенциалы ( $\phi_e$ ,  $\phi_m$ ,  $A$  and  $F$ ), можно легко получить уравнения для потенциалов.

При этом можно применить граничные условия для получения интегральных уравнений для электрических и магнитных полей.

Как уже отмечалось обычный метод моментов не очень хорошо подходит для обработки при моделировании электрически средних или больших проблем, так как при этом требуется хранить полную матрицу импедансов, характеризующую объект.

Например, для реальной задачи, в которой приходится иметь дело с одним миллионом базисных функций нужно хранить  $10^{12}$  элементов, и если каждый из них хранится в виде простого по точности 8 байтного комплексного числа, в общей сложности потребуется для хранения 8 терабайт памяти (будет половина этой величины при использовании метода Галеркина, поскольку матрица будет симметричной).

Этот огромный размер памяти и время, необходимое для заполнения матрицы, ведет к тому, что использование обычного метода моментов становится совершенно невозможным.

Очень часто принимаемые во внимание решения включают только члены, относящиеся к ближней зоне, предполагая при этом, что максимальное расстояние между базисными и пробными функциями около 0,25 длины волны.

В некоторых популярных приложениях такой процедуры включается многоуровневый быстрый мультипольный алгоритм (MLFMA), в котором взаимодействия полей на дальних расстояниях учитываются при расчетах посредством объединения базисных функций мультипольных разложений для соответствующих областей и мультиполей разбиваются по тестовым функциям.

Здесь стоит упомянуть и совокупность других методов, использующих матрицу сжатия для того, чтобы обойти необходимость хранения информации для дальних

---

Фролов Александр Серафимович – ВИВТ АНООВО, студент, e-mail: florrasc1shm@yandex.ru  
Фомин Сергей Александрович – РосНОУ, аспирант, e-mail: f105648kondy@yandex.ru

расстояний и ускорить матрично-векторные произведения.

Это обеспечивается за счет того, что подматрица, содержащая члены, относящиеся к двум удаленным геометрическим компонентам, будет небольшого размера и, следовательно, можно будет работать с меньшими объемами информации. Этот подход чисто алгебраический и, следовательно, не зависит от функций Грина.

Некоторые подходы, такие как блок-QR-факторизация при двойном изменении Грамма-Шмидта или IE-QR-подход, также определяют преимущество в том, что нет необходимости в сборе полной подматрицы перед выполнением сжатия.

Метод адаптивной кросс-аппроксимации также представляется теми же преимуществами и широко изучается и используется в последние годы, в том числе в нем рассматриваются ошибки и анализируется сходимость, многоуровневой и иерархической реализации или в комбинации с другими быстрыми подходами, такими как MLFMA или метод характеристических базисных функций.

Другие методы, которые используют преимущества эффективных оценок при быстрых матрично-векторных вычислениях, являются комплексным мультипольным лучевым подходом (СМВА), который основывается на использовании ряда лучей, представленных как функции Габора на границах рассеивателя, для того, чтобы уменьшить размер рассматриваемой матрицы, комбинированный подход, включающий комплексный лучевой источник и метод моментов, что дает быстрые матрично-векторные вычисления с использованием направленных свойств сложных исходных лучей, происходит излучение от основных элементов, входящих в каждую группу, метод локализации матрицы импедансов, который, в свою очередь, конкретизирует матрицу импедансов, путем ведения специальных базовых и пробных функций, что дает определяющие взаимодействия, только для небольшого числа элементов в матрице, адаптивный интегральный метод, который основывается на том, что функция Грина в ядре рассматривается как теплицева матрица, что ведет к уменьшению требуемой памяти и ускоряет вычисления за счет быстрого преобразования Фурье или алгоритм многоуровневой декомпозиции матриц (MLMDSA), который подразделяет матрицу в методе моментов на большое количество подматриц, обрабатывает их отдельно каж-

дую и объединяет решения для более эффективного использования времени процессора.

Другой подход, который получил широкую известность в последние 10 лет, состоит в том, что уменьшается количество неизвестных переменных с помощью макро-базисных функций. Это снижение осуществляется обычно, примерно на порядок, что предполагает быстрое решение.

Макро-базисные функции, используемые в данном контексте, иногда называют характеристическими базисными функциями или синтетическими функциями.

Основная идея, лежащая в основе этого метода состоит в создании макро-базисных функций на этапе предварительной обработки.

Для того, чтобы создать подобные функции, необходимо рассматриваемый объект разделить на блоки, которые могут иметь размеры порядка нескольких длин волн.

По каждому из этих блоков макробазисные функции будут рассчитываться с учетом геометрического описания блока. Каждая макробазисная функция описывается как совокупность низкоуровневых, обычных базисных функций в методе моментов, и несколько макробазисных функций сосуществуют на одном блоке для того, чтобы точно описать форму тока через него.

Построение совокупности макробазисных функций происходит следующим образом: блок изучается изолированно от остальной части объекта, и ряд источников, располагаются вокруг этого блока.

Анализ показывает, что возможно использование различных видов источников, таких как плоские волны или диполей, что дает одинаково хорошие результаты.

Токи, индуцированные этими источниками на блоке, вычисляются и сохраняются. Можно использовать различные способы для этого, например, обычный метод моментов, в сочетании с MLFMA или физической оптикой, если поверхность блока удовлетворяет ограничениям этого высокочастотного подхода.

Обратим внимание, что для каждого блока происходит решение независимой задачи, при использовании множества различных возбуждений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Львович Я. Е. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 6. – С. 255-256.

2. Косилов А. Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А. Т. Косилов, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 68-71.
3. Преображенский А. П. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Системы управления и информационные технологии. – 2005. – Т. 21. – № 4. – С. 17-19.
4. Преображенский А. П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А. П. Преображенский // Телекоммуникации. – 2003. – № 11. – С. 37-40.
5. Львович И. Я. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И. Я. Львович, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 12. – С. 63-68.
6. Преображенский А. П. Прогнозирование радиолокационных характеристик идеально проводящей полости в диапазоне длин волн / А. П. Преображенский // Телекоммуникации. – 2005. – № 12. – С. 29-31.
7. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.
8. Казаков Е. Н. Разработка и программная реализации алгоритма оценки уровня сигнала в сети WI-FI / Е. Н. Казаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 13.
9. Щербатых С. С. Метод интегральных уравнений как основной способ анализа в САПР антенн / С. С. Щербатых // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 10.
10. Глотова Т. В. Применение методов оптимизации для проектирования поглотителей электромагнитных волн / Т. В. Глотова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 8.
11. Глотова Т. В. Применение гибридного метода для расчета характеристик рассеяния объектов над шероховатой поверхностью / Т. В. Глотова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 11.
12. Chew W. C. Fast solution methods in Electromagnetic / W. C. Chew, J.-M. Jin C.-C. Lu E. Michielssen, J. Song // IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1997Vol. 45, No. 3, pp.533-543.
13. Burkholder R. Fast dual MGS block-factorization algorithm for dense MoM matrices / R. Burkholder , J. F. Lee // IEEE Transactions on Antennas Propagation, 2004, Vol. 52, No. 7, pp.1693-1699.
14. Ozdemir, N. A. and J. F. Lee, "A low rank IE-QR algorithm for matrix compression in volume integral equations," IEEE Transactions on Magnetics. – 2004. – Vol. 40. – No. 2. – P. 1017-1020.
15. Юрочкин А. Г. Возможности использования итерационного метода при расчетах характеристик рассеяния комбинированных объектов / А. Г. Юрочкин, А. В. Данилова, И. А. Гусарова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 11.
16. Глотова Т. В. Модификация метода моментов в задачах рассеяния электромагнитных волн / Т. В. Глотова, Т. В. Мельникова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 11.
17. Heldring A. On the convergence of the ACA algorithm for radiation and scattering problems / A. Heldring, E. Ubada, J. M. Rius // IEEE Transactions on Antennas Propagation, 2014. – Vol. 62. – No. – 7. – P. 3806-3809.

## **THE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF MOMENTS IN DYNAMIC APPLICATIONS**

© 2016 A. S. Frolov, S. A. Fomin

*Voronezh Institute of high technologies  
Russian new University*

*This paper analyzes the characteristics of the decision task based on the method of moments. In the General case the method of moments has many limitations, which leads to the development of new, more effective approaches. Presents the basic characteristics of the new techniques associated with pre-processing and parallelization. Some examples are showing the applicability of new approaches.*

*Keywords: method of integral equations, electromagnetic field calculation.*