

УДК 621.396

Е.М.Булдыгин

## ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЩЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ

ООО "Рэдком", г. Липецк

*В работе рассмотрены возможности использования приближенных методов при оценке характеристик объектов сложной формы. Отмечено, что при использовании таких подходов значительно снижается требуемое время.*

**Ключевые слова:** дифракция, рассеяние, алгоритм, объект.

При построении дискретных эквивалентов для систем интегральных или дифференциальных уравнений, которые описывают процессы рассеяния электромагнитных волн на различных объектах сложной формы, решение ведет к возникновению больших систем линейных, а для общего случая нелинейных, алгебраических уравнений [1-4]. Тогда по каждому расчетному узлу идет запись производных исходного дифференциального или интегрального уравнения как конечная разность требуемых параметров по соседним шагам для пространства или времени. В таких задачах иногда возникают разреженные матрицы.

Понятие разреженной матрицы вводится различными способами, общие черты в них состоят в том, что в разреженных матрицах возникает большое нулевых элементов. Число отличных от нуля элементов много меньше, чем нулевых. Иначе матрицу считают плотной. Понятно, что для любой разреженной матрицы можно применять методы обработки, которые будут такие же, как и когда она плотная. Для большинства алгоритмов, связанных с обработкой разреженных матриц, выделяют два основных этапа: в символическом виде и в численном. Когда рассматривается символический этап, то происходит формирование портрета для результирующей матрицы (происходит определение мест, где находятся ненулевые элементы в структуре матрицы); при расчетах на численном этапе происходит определение значений отличных от нуля элементов в матрице [5].

Разреженные матрицы можно хранить в различных форматах. В одних из них содержатся ленточные матрицы, в других – матрицы, представленные в общем виде.

Для того, чтобы наиболее эффективно хранить разреженные матрицы, часто используют разреженный строчный формат, поскольку в этом случае будут минимальные затраты по памяти [6].

Кроме того, по аналогии применяют подход, основанный на разреженном столбцовом формате. Тогда происходит перечисление ненулевых элементов согласно их появлению в столбцах матрицы. Но при этом есть затруднения при доступе к строкам.

Для симметричной матрицы оказывается достаточным хранение только ее верхней треугольной подматрицы.

В используемой структуре данных предполагается, что хранятся лишь ненулевые элементы, это ведет к усложнению процессов программирования операций вычисления скалярных произведений, но при этом заметно уменьшается количество требуемых арифметических операций (может быть даже на несколько порядков).

При выборе определенной нумерации узлов в расчетной сетке, есть возможность сведения матрицы к тому, что в них будет ленточная структура, то есть ненулевые элементы будут располагаться рядом с главной диагональю матрицы.

Даже если матрицы будут разреженными, вследствие их высоких порядков, могут потребоваться значительные вычислительные ресурсы. Поэтому достаточно часто привлекают параллельные компьютеры. Эффективность параллельного алгоритма в заметной мере определяется сбалансированностью загрузки по процессорам, важно стремиться к тому, чтобы она была равномерной [7].

Для того, чтобы преодолевать трудности, связанные с трехмерными задачами, могут быть использованы приближенные методы, например, метод краевых волн, метод геометрической теории дифракции, или метод физической оптики [8-16].

В методе геометрической теории дифракции сочетается простота, которая присуща геометрической оптике, и необходимый учет и рассмотрение длин волн и фаз. Характеристики рассеяния объектов представляют в виде суммы векторных полей, с привлечением соответствующих фазовых соотношений, которые возникают в центрах рассеяния (они называются блестящие точки). Для поля в каждом из таких центров можно выделить соответствующую амплитуду и фазу. Используется, кроме того, дополнительные фазовые множители, которые пропорциональны расстояниям от каждого центра рассеяния (блестящих точек) до излучателя [1, 17].

Для решения задачи оценки характеристик рассеяния радиолокационных объектов, состоящих из нескольких элементарных отражателей (блестящих точек), часто применяется метод простейших компонентов. Его суть состоит в том, что ЭПР каждой блестящей точки представляется известным аналитическим выражением для тела простой формы.

Кроме того методы иногда комбинируют. Удобно проводить оценку равномерной части тока в рамках приближенного подхода, а неравномерная часть описывается с помощью строгого подхода, или в каком-то частотном диапазоне происходит прогнозирование того, как идет рассеяние радиоволн [18-23].

Для оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн реального трехмерного объекта может быть использовано двумерное приближение, но при этом должно быть совпадение трехмерного решения для пространства с двумерным решением по плоскости [3, 13, 16].

Проводить поиск приближенных решений можно на основе разных способов. Например, можно осуществлять поиск интегрируемого в квадратурах дифференциального уравнения, в котором решения дают аппроксимацию решений исходного. Но решить задачу по определению такого уравнения не всегда просто. В этой связи можно пытаться найти более простое уравнение [24, 25].

При отыскании приближенных решений можно привлекать различные подходы, например метод последовательных приближений. В нем происходит замена интеграла на какую-либо квадратурную формулу (конечно, сделав перед этим обоснование такой замены). Однако, в связи с тем, что указанный подход влечет необходимость использования большого числа вычислений, то он большей частью рассматривается теоретически.

Также искомое решение может быть разложено в виде степенных или тригонометрических рядов (это может быть, например, ряд Тейлора или Фурье). Возникают уравнения, связанные с коэффициентами таких рядов из исходного уравнения. В указанных методах требуется, в основном большой объем аналитической работы, которая плохо алгоритмируема. То есть, при определении коэффициентов в ряде Тейлора по решению, возникает необходимость вычисления производных высоких порядков относительно правой части уравнений. И затем указанный алгоритм будет достаточно медленным при реализации на ЭВМ. Для того, чтобы передавать широкополосные цифровые сигналы в беспроводных системах связи между базовыми станциями в ряде случаев обоснованным является применение антенн, которые имеют небольшие размеры и имеют достаточно большой коэффициент усиления [26-31]. С этой целью могут быть использована плоская антенна, совмещающая по своим свойствам параболическое зеркало и планарную структуру в полосковых резонаторах. При этом она имеет весьма малый вес и достаточно проста в изготовлении. Может быть уменьшена узкополосность антенн вследствие использования поляризационной развязки при передаче информации.

Анализ подобных антенн может быть проведен на основе комбинации метода интегральных уравнений и теории периодических структур [32], что позволяет проводить анализ подобных объектов за весьма небольшое время. На основе методов оптимизации можно проводить уточнение решений, полученных на основе приближенных подходов [33, 34]. Алгоритмы, содержащие элементы оптимизации используются в САПР электродинамических устройств [35, 36].

Таким образом, использование упрощенных подходов при рассмотрении характеристик рассеяния сложных электродинамических объектов позволяет осуществлять их анализ за небольшое время и с приемлемой для практики точностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штагер Е.А., Чаевский Е.В. Рассеяние волн на телах сложной формы / М.:Сов.радио, 1974. –240 с.
2. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик идеально проводящей полости в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2005. № 12. С. 29-31.
3. Косилов А.Т., Преображенский А.П. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
4. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / Системы управления и информационные технологии. 2005. № 4. С. 17-19.
5. Джордж А., Лю Дж. Численное решение больших разреженных систем уравнений / Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems. М.: Мир, 1984. 333 с.
6. Ахунов Р.Р., Куксенко С.П. Вычисление матрицы емкостей произвольной системы проводников и диэлектриков методом моментов: оценка использования разреженного строчного формата при решении СЛАУ методом Bicgstab / Известия высших учебных заведений. Физика, 2012, № 7-2, с.27-30.
7. Самойлова У.А. Анализ сложных электродинамических объектов на основе параллельных вычислений / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 55-56.
8. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Телекоммуникации. 2010. № 11. С. 2-6.
9. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование метода трассировки лучей для проектирования беспроводных систем связи / Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 1. С. 32-35.
10. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.

11. Баранов А.В. Некоторые особенности лучевых методов расчета характеристик распространения электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 9-13.
12. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
13. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции / М.:Сов. радио, 1962. – 244 с.
14. Головинов С.О., Круглякова Е.А., Преображенский А.П. Алгоритм оценки характеристик рассеяния объектов сложной формы с использованием метода краевых волн / Территория науки. 2006. № 1. С. 56-59.
15. Головинов С.О., Преображенский А.П., Львович И.Я. Моделирование распространения миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / Телекоммуникации. 2010. № 7. С. 20-23.
16. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Информационные технологии. 2011. № 8. С. 40-42.
17. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.
18. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37-40.
19. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32-35.
20. Шутов Г.В. Оценка возможности применения приближенной модели при оценке средних характеристик рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 61-67.
21. Шутов Г.В. Приближенная модель для оценки средних характеристик рассеяния / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 60.
22. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21-24.

23. Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Построение алгоритма оценки средних характеристик рассеяния полых структур / Телекоммуникации. 2014. № 6. С. 2-5.
24. Преображенский А.П., Хухрянский Ю.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
25. Сенченко А.А., Саломатов Ю.П. Сравнение квадратурных методов решения интегрального уравнения Хаффорда / Доклады ТУСУРа, № 2 (26), часть 2, декабрь 2012, с.36-41.
26. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
27. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.
28. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 49-50.
29. Ерасов С.В. Проблемы электромагнитной совместимости при построении беспроводных систем связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 137-143.
30. Кульнева Е.Ю., Гащенко И.А. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
31. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
32. Львович И.Я., Преображенский А.П. Расчет характеристик металлодиэлектрических антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 11. С. 26-29.
33. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения - Воронеж, 2006, Издательство "Кварта", 415 с.
34. Львович Я.Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде / под редакцией Львовича Я.Е.//Воронеж, 2010, Издательство "Научная книга", 139 с.
35. Преображенский А.П., Юров Р.П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 35-37.

36. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007, 248 с.

E.M.Buldigin

**THE APPLICATION OF SIMPLIFIED APPROACHES IN THE  
ANALYSIS OF THE ELECTRODYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF OBJECTS**

*Joint-stock company «Redkom», Lipetsk*

*The paper considers possibilities of use of approximate methods in the evaluation of characteristics of complex objects. It was noted that when using research Institute of these approaches is significantly reduced the time required.*

**Keywords:** diffraction, scattering, the algorithm, object.