

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ
МАКСВЕЛЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

Допустить к защите:
Заведующий кафедрой информатики,
Доктор физико-математических наук,
Член-корреспондент РАН

Петров И.Б.

Дипломная работа
Студента 4 курса
Скубачевского Антона Александровича

Научный руководитель:
Петров И.Б.

МФТИ, 2013

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ОБЗОР	4
3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.....	5
4. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД.....	7
4.1. Описание алгоритма.....	7
4.2. Вывод формул.....	9
4.3. Граничные условия.....	16
4.3.1. Отражающие.....	16
4.3.2. Поглощающие.....	17
4.4. Рупорная антенна.....	20
5. РЕАЛИЗАЦИЯ.....	21
5.1. Результаты.....	21
5.2. Тестовая задача.....	30
6. ВЫВОДЫ.....	34
7. ЛИТЕРАТУРА.....	35

1. Введение

Уравнения максвелла являются одними из основополагающих в физике, и поэтому применяются в огромном спектре прикладных задач, таких, как сейсморазведка, ускорение плазмы и фотонные кристаллы. Поэтому, разумеется, разработано множество численных методов, с помощью которых можно решать систему уравнений максвелла, и которые постоянно совершенствуются. Пример одного из таких методов можно найти в [4] (в ней работе рассматривается система уравнений МГД).

В данной работе рассматривается алгоритм Йи (также называемый FDTD method) как метод решения системы уравнений Максвелла, который обладает рядом преимуществ, таких, как бездивергентность (в большинстве других методов возникает численная ошибка: уравнение $\operatorname{div}\mathbf{B} = 0$ не выполняется точно, в связи с чем приходится вводить калибровку и решать дополнительно эллиптическую систему, что весьма затратно), простая декомпозиция по данным (сетка очень простая, и данные легко хранятся) а также, в частности, простота в построении радиолокационных портретов объектов.

Большой интерес также представляет задача создания солвера с помощью метода FDTD на произвольных сетках (не обязательно прямоугольных), которая на данный момент еще не решена.

Алгоритм в настоящей работе реализован в виде программного модуля для моделирования распространения электромагнитных волн с различными граничными условиями в 2D и 3D случаях. В качестве примера работы алгоритмы приводится расчет ряда модельных задач.

2. Обзор

Как уже было сказано, было создано множество численных методов и программ для решения системы уравнений Максвелла (а также системы уравнений МГД, в которую входят уравнения Максвелла).

Данной тематикой занимаются в ИПМ РАН им. Келдыша. Была создана программа, решающая данную систему, правда, другим методом. В данном институте заинтересованы в интеграции в данную программу метода FDTD.

Также данная система используется в сейсморазведке (институт нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимова) и построении радиолокационных портретов[3].

Кроме того, ее применяют в моделировании фотонных кристаллов. Для их моделирования с помощью метода FDTD были созданы программы, но они не идеальны. Очень много таких программ написано на MathLab и лежат в открытом доступе.

Наиболее полное изложение метода FDTD можно найти в[1]. Также в этой книге подробно описано моделирование антенн с помощью этого метода.

Существует также метод FDFD[5] (Finite Difference Frequency Domain), сходный с FDTD, и позволяющий в определенных ситуациях ускорять вычисления. Также очень эффективна комбинация этих методов.

6. Выводы

1. С помощью метода FDTD смоделировано распространение волн в 2D и 3D случаях.
2. Смоделированы различные источники излучения.
3. Смоделированы различные граничные условия.
4. Смоделирована рупорная антенна.
5. В дальнейшем планируется моделирование фотонных кристаллов.
6. В дальнейшем планируется применение данного метода в радиолокации.
7. В дальнейшем планируется создание универсального солвера на произвольных сетках.

7. Литература

1. *A.Taflove, S.Hagness* Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method, 3d edition.
2. *Жданов М.С.* Электроразведка.
3. *Д.А.Жердев, В.А.Фурсов* Высокопроизводительное моделирование распределения электромагнитного поля на графических процессорах с гибким использованием ресурсов.
4. *М.О.Васильев* Моделирование сильных возмущений ионосферы с разбиением по физическим процессам при помощи модифицированного сеточно-характеристического метода.
5. *Raymond C. Rumpf, Cesar R. Garcia, Eric A. Berry, Jay H. Barton* Finite-Difference Frequency-Domain Algorithm for Modeling Electromagnetic Scattering from General Anisotropic Objects.