



показано, что наилучшие результаты продаж имеет актер-продавец, следующий «разумной» стратегии.

Таблица 1

Время	«жадный»		«активный»		«разумный»	
	C_k	R_{km}	C_k	R_{km}	C_k	R_{km}
$t \downarrow$	макс.	макс.	средн.	средн.	мин.	макс.
	макс.	средн.	средн.	больше	больше	меньше
	макс.	мин.	средн.	мин.	средн.	больше

Дальнейшая модификация второй модели предполагает изменение порогового характера значения параметра «стоимость» на вероятностный: уменьшение стоимости ИО при прочих равных условиях (неизменных T_k и T_m) влияет на вероятность принятия решения так, как если бы объект лучше подходил под требования покупателя, или же просто ослабляет требования к ИО. И наоборот: при повышении стоимости ИО покупатель желает более точного соответствия ИО предъявляемым требованиям.

Литература

1. Иващенко А.В. Управление согласованным взаимодействием пользователей интегрированной информационной среды предприятия. Самара: СНЦ РАН, 2011. – 100 с.
2. Иващенко А.В., Юмашев В.Л. Модель риелтора в задачах управления согласованным взаимодействием в интегрированной информационной среде предприятия // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении (ПИТ 2012) / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2012. – с.199-203

Л.В. Яблокова¹, Е.Ю. Булдыгин¹, Д.Л. Головашкин²

ЗАДАНИЕ ПАДАЮЩЕЙ ВОЛНЫ ПО ТЕХНОЛОГИИ TF/SF ПРИ СОГЛАСОВАННОМ РАЗНОСТНОМ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ ДАЛАМБЕРА И МАКСВЕЛЛА

(¹Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет),
² Институт систем обработки изображений РАН)

Введение

Моделирование распространения излучения через оптический элемент кроме наложения сеточной области и записи на ней разностных уравнений требует задания приходящего извне поля, падающего на элемент.

Непосредственное использование модели жёсткого источника (вполне приемлемой в одномерном случае) в двумерном варианте оказывается неудачным, при необходимости корректной работы с отраженной от оптического эле-



мента волны. Наиболее популярным приемом в этом случае является задание падающей волны по технологии TF/SF, связанной с искусственным разделением поля на результирующее (в оптическом элементе и его непосредственной окрестности) и рассеянное (в остальной области). Выражения, описывающие указанное разделение полей, содержат слагаемые с аналитически (или численно) заданным падающим полем. Таким образом, происходит учет последнего. Так как оба поля подчиняются уравнениям Максвелла, то, для использования данного метода используются поправки для граничных узлов (для магнитного поля они могут быть приграничными).

Задание падающей волны по технологии TF/SF при совместном решении

Для совместного решения уравнений Максвелла и Даламбера область разбивается на две подобласти: $D^W \cup D^M$. В области D^M решаются разностные уравнения Максвелла:

$$\mu_0 \frac{H_{y_{m,k+0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{m,k+0,5}}^{n-0,5}}{h_t} = - \frac{E_{x_{m,k+1}}^n - E_{x_{m,k}}^n}{h_z}, \quad \mu_0 \frac{H_{z_{m+0,5,k}}^{n+0,5} - H_{z_{m+0,5,k}}^{n-0,5}}{h_t} = \frac{E_{x_{m+1,k}}^n - E_{x_{m,k}}^n}{h_z},$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_{m,k} \frac{E_{x_{m,k}}^{n+1} - E_{x_{m,k}}^n}{h_t} = \frac{H_{z_{m+0,5,k}}^{n+0,5} - H_{z_{m-0,5,k}}^{n+0,5}}{h_y} - \frac{H_{y_{m,k+0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{m,k-0,5}}^{n+0,5}}{h_z},$$

где сеточная проекция электрического поля на ось $x - E_{x_{m,k}}^n$ определена в узлах $\{(t_n, y_m, z_k): t_n = nh_t, n=0, 1, \dots, N=T/h_t, y_m = mh_y, m=0, \dots, M=L_y/h_y, z_k = kh_z, k=0, \dots, K=L_z/h_z\}$, магнитного на $z - H_{z_{m+0,5,k}}^{n+0,5} - \{(t_{n+0,5}, y_m, z_{k+0,5}): t_{n+0,5} = (n+0,5)h_t, n=0, 1, \dots, N-1, y_m = mh_y, m=1, \dots, M-1, z_{k+0,5} = (k+0,5)h_z, k=0, \dots, K-1\}$, и $y - H_{y_{m,k+0,5}}^{n+0,5} - \{(t_{n+0,5}, y_{m+0,5}, z_k): t_{n+0,5} = (n+0,5)h_t, n=0, 1, \dots, N-1, y_{m+0,5} = (m+0,5)h_y, m=0, \dots, M-1, z_k = kh_z, k=1, \dots, K-1\}$ сеточной области D_h^M , наложенной на область вычислительного эксперимента $D (0 \leq t \leq T, 0 \leq y \leq L_y, 0 \leq z \leq L_z)$. А в области D^W – уравнение Даламбера:

$$\frac{U_{m,k}^{n+1} - 2U_{m,k}^n + U_{m,k}^{n-1}}{h_t^2} = \frac{c}{\varepsilon_{m,k}} \left(\frac{U_{m+1,k}^n - 2U_{m,k}^n + U_{m-1,k}^n}{h_y^2} + \frac{U_{m,k+1}^n - 2U_{m,k}^n + U_{m,k-1}^n}{h_z^2} \right),$$

где проекция $U_{m,k}^n$ определена в узлах сеточной области $D_h^W \{(t_n, y_m, z_k): t_n = nh_t, n=0, 1, \dots, N=T/h_t, y_m = mh_y, m=L, \dots, R, L=L_l/h_y, R=L_r/h_y, z_k = kh_z, k=B, \dots, U, B=L_b/h_z, U=L_u/h_z\}$. При этом недостающие значения сеточной функции берутся из соседней области.

Например, левая граница $D_h^W m=L, B < k < U$ (рис.1) вычисляется так:

$$\frac{U_{m,k}^{n+1} - 2U_{m,k}^n + U_{m,k}^{n-1}}{h_t^2} = \frac{c}{\varepsilon_{m,k}} \left(\frac{U_{m+1,k}^n - 2U_{m,k}^n + E_{m-1,k}^n}{h_y^2} + \frac{U_{m,k+1}^n - 2U_{m,k}^n + U_{m,k-1}^n}{h_z^2} \right);$$

нижний левый угол задается следующим образом: $m=L, k=B$

$$\frac{U_{m,k}^{n+1} - 2U_{m,k}^n + U_{m,k}^{n-1}}{h_t^2} = \frac{c}{\varepsilon_{m,k}} \left(\frac{U_{m+1,k}^n - 2U_{m,k}^n + E_{m-1,k}^n}{h_y^2} + \frac{U_{m,k+1}^n - 2U_{m,k}^n + E_{m,k-1}^n}{h_z^2} \right).$$



Аналогично можно записать уравнения правой, верхней и нижней границ и нижнего правого, верхних правого и левого углов.

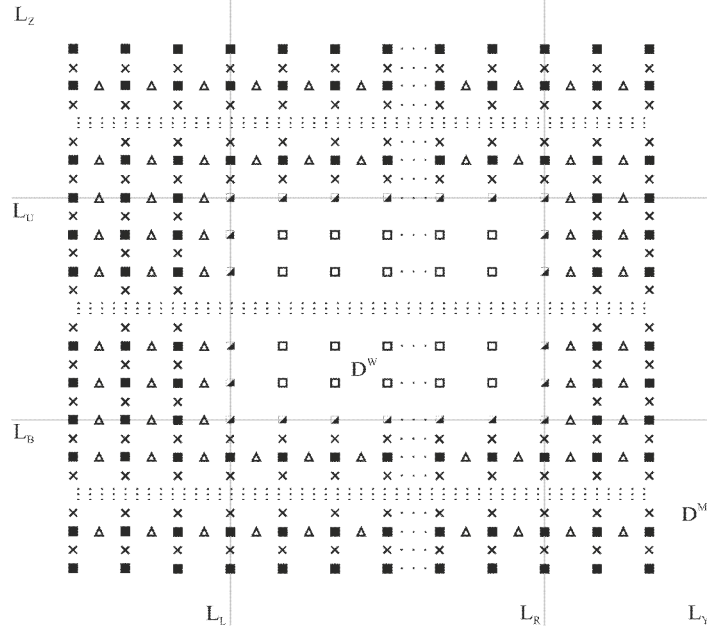


Рис. 1. Объединение сеточных областей без учета дискретизации по времени. Квадратам соответствуют проекции $E_{x_m,k}^n$, треугольникам - $H_{z_{m+0,5,k}}^{n+0,5}$, крестикам -

$$H_{y_{m,k+0,5}}^{n+0,5}$$

Реализация методики TF/SF связана со следующей модификацией разностной схемы Yee:

$$\begin{aligned} \varepsilon \frac{E_{x_{L,k}}^{n+1} - E_{x_{L,k}}^n}{h_t} &= \frac{H_{z_{L+0,5,k}}^{n+0,5} - (H_{z_{L-0,5,k}}^{n+0,5} - \overline{H}_{z_{L-0,5,k}}^{n+0,5})}{h_y} - \frac{H_{y_{L,k+0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{L,k-0,5}}^{n+0,5}}{h_z}, \\ \varepsilon \frac{E_{x_{R,k}}^{n+1} - E_{x_{R,k}}^n}{h_t} &= \frac{H_{z_{R+0,5,k}}^{n+0,5} - (H_{z_{R-0,5,k}}^{n+0,5} - \overline{H}_{z_{R-0,5,k}}^{n+0,5})}{h_y} - \frac{H_{y_{R,k+0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{R,k-0,5}}^{n+0,5}}{h_z}, \\ \varepsilon \frac{E_{x_{m,U}}^{n+1} - E_{x_{m,U}}^n}{h_t} &= \frac{H_{z_{m+0,5,U}}^{n+0,5} - H_{z_{m-0,5,U}}^{n+0,5}}{h_y} - \frac{(H_{y_{m,U+0,5}}^{n+0,5} + \overline{H}_{y_{m,U+0,5}}^{n+0,5}) - H_{y_{m,U-0,5}}^{n+0,5}}{h_z}, \\ \varepsilon \frac{E_{x_{m,B}}^{n+1} - E_{x_{m,B}}^n}{h_t} &= \frac{H_{z_{m+0,5,B}}^{n+0,5} - H_{z_{m-0,5,B}}^{n+0,5}}{h_y} - \frac{H_{y_{m,B+0,5}}^{n+0,5} - (H_{y_{m,B+0,5}}^{n+0,5} + \overline{H}_{y_{m,B-0,5}}^{n+0,5})}{h_z}, \\ \mu \frac{H_{z_{L-0,5,k}}^{n+0,5} - H_{z_{L-0,5,k}}^{n-0,5}}{h_t} &= \frac{(E_{x_{L,k}}^n - \overline{E}_{x_{L,k}}^n) - E_{x_{L-1,k}}^n}{h_y}, \\ \mu \frac{H_{z_{R+0,5,k}}^{n+0,5} - H_{z_{R+0,5,k}}^{n-0,5}}{h_t} &= \frac{E_{x_{R+1,k}}^n - (E_{x_{R,k}}^n - \overline{E}_{x_{R,k}}^n)}{h_y}, \end{aligned}$$



$$\mu \frac{H_{y_{m,B-0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{m,B-0,5}}^{n-0,5}}{h_t} = - \frac{(E_{x_{m,B}}^n - \bar{E}_{x_{m,B}}^n) - E_{x_{m,B-1}}^n}{h_z};$$

$$\mu \frac{H_{y_{m,U+0,5}}^{n+0,5} - H_{y_{m,U+0,5}}^{n-0,5}}{h_t} = - \frac{E_{x_{m,U+1}}^n - (E_{x_{m,U}}^n - \bar{E}_{x_{m,U}}^n)}{h_z},$$

где сеточные функции под тильдой связаны с падающим полем.

Авторы остановились на численном задании падающего поля, для чего отыскивают разностное решение одномерных уравнений Максвелла с привлечением жесткого источника:

$$\mu \frac{\bar{H}_{y_{k+0,5}}^{n+0,5} - \bar{H}_{y_{k+0,5}}^{n-0,5}}{h_t} = - \frac{\bar{E}_{x_{k+1}}^n - \bar{E}_{x_k}^n}{h_z} \quad k = \overline{0, K-1}, n = \overline{0, N-1},$$

$$\varepsilon \frac{\bar{E}_{x_k}^{n+1} - \bar{E}_{x_k}^n}{h_t} = - \frac{\bar{H}_{y_{k+0,5}}^{n+0,5} - \bar{H}_{y_{k-0,5}}^{n+0,5}}{h_z} \quad k = \overline{0, K}, k = \overline{0, N-1}, \bar{E}_{B-1}^n = \sin \omega n h_t$$

Замысел экспериментов состоял в верификации возможности задания падающей волны по методике TF/SF при совместном решении уравнений Максвелла и Даламбера.

Постановка вычислительных экспериментов

Исследуем дифракцию на бесконечном диэлектрическом цилиндре кругового сечения, совместив его центр с центром области D^w , определив радиус равный половине длины волны, показатель преломления $n=1,5$. Эксперименты проводились при различных значениях дискретизации сеточной области Q, Qt и QT , где первый параметр характеризовал число узлов сеточной области по пространству (приходящееся на одну длину волны); второй – количество узлов по времени (приходящееся на временной интервал, за который плоский волновой фронт в вакууме пройдет расстояние в одну длину волны); третий – «длительность» запускаемого цуга в длинах волн. При этом они менялись, от удовлетворительно описывающих распространение плоской однородной волны в свободном пространстве, до соответствующих весьма низким величинам погрешности. В качестве вычислительной области D брался квадрат с длиной стороны 20λ , при этом шаги по пространству полагались равными. Сравнивая полученные результаты с известным аналитическим решением [4], для оценки погрешности воспользуемся величиной ε_R ($\varepsilon_R = \max_k \frac{|A_k - N_k|}{A_k}$, N_k – значения, полученные разностными методами, A_k – соответствующие аналитическому решению), отыскивая её на оптической оси элемента варьируя $k = B, U$ и $m = 10Q + 1$.

Рассматривая результаты, из таблицы 1, соответствующие как совместному решению уравнений Даламбера и Максвелла, так и разностному решению исключительно уравнений Максвелла, отметим точное совпадение обоих решений при любых параметрах дискретизации и сходимость разностного решения к аналитическому.



Таблица 1. Результаты вычислительных экспериментов

Число шагов		QT = 5	QT = 10	QT = 15
Q	Qt	ϵ_R		
10	20	0.1338452	0.1424175	0.0808924
20	40	0.0607843	0.0682108	0.0182556
50	100	0.0306593	0.0214947	0.0075484
100	200	0.0274008	0.0095913	0.0037148

Очевидно, для получения удовлетворительного результата (сочтем за него решение с не более чем 2% погрешностью) достаточно использовать шаг в 10 длин волн. При $QT = 15$ удовлетворительный результат достигается при дискретизации Q, Qt равной (20,40). При меньшей длине шага поле в исследуемой области не успевает устояться, волна не является монохроматической в силу чего, результаты характеризуются высокой погрешностью. Таким образом, можно заключить, что разработанный метод является достойной альтернативой «чистому» FDTD.

Заключение

В настоящей работе представлена технология TF/SF задания падающей волны при совместном разностном решении уравнений Даламбера и Максвелла и продемонстрирована состоятельность предложенного подхода.

Литература

1. Головашкин Д.Л. Совместное разностное решение уравнений Даламбера и Максвелла. Одномерный случай / Д.Л. Головашкин, Л.В. Яблокова // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – с. 527–534.
2. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media / K.S. Yee. // IEEE Trans. Antennas Propag. – 1966. – AP-14. – p. 302–307.
3. Головашкин Д.Л. Методика формирования падающей волны при разностном решении уравнений Максвелла (двумерный случай) / Д.Л. Головашкин, Н.Л. Казанский // Автометрия, 2007. – Том 43, № 6. – с. 78 – 88.
4. Ваганов Р. Б. Основы теории дифракции / Р.Б. Ваганов, Б.З. Каценеленбаум –М.: Наука, 1982 – 272 с.

А.Н. Якимов, Э.В. Лапшин, Н.К. Юрков

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ – ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ АНТЕНН СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

(Пензенский государственный университет)

В основе реализации системного подхода к проектированию микроволновых антенн сложной конфигурации лежат следующие принципы: целостность изучаемой системы, структурность, иерархичность, множественность описания, взаимозависимость системы и среды (свойства системы проявляются при взаимодействии с окружающей ее средой) [1].