

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИГНАЛООБРАЗОВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ И ФОРМИРОВАНИЯ ИХ ТЕНЕВЫХ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОСВЕТНЫХ РЛС

Чернышев М.Н., Чернышев Н.И.

В статье рассмотрены вопросы расчета дифракционной картины движущегося объекта сложной конфигурации путем представления его набором излучателей Гюйгенса, расположенных в узлах двумерной координатной сетки проекции объекта на плоскость. Корректность формирования матрицы излучателей и качества расчета дифракционной картины контролируется путем восстановления функции пропускания объекта по его дифракционной картине с последующим формированием теневого радиоизображения объекта.

Ключевые слова: просветные радиолокационные станции, интеграл Кирхгофа-Френеля, обратное преобразование, двумерная функция пропускания, теньевое радиоизображение, теневой контур.

Современный уровень развития вычислительной техники позволяет использовать геометрические модели, достаточно хорошо аппроксимирующие реальные объекты. Использование дифракционной формулы Френеля-Кирхгофа [1] для расчета комплексной амплитуды $\dot{U}(P)$ электромагнитного (ЭМ) поля в точке нахождения антенны приемника (ПРМ) предполагает использование в качестве поверхности интегрирования теневого контура [2] описываемого трехмерного объекта. Это обстоятельство приводит расчет комплексной амплитуды ЭМ-поля $\dot{U}(P)$ реальных объектов сложной формы к трудоемким или даже неразрешимым задачам.

Одним из возможных решений является использование для описания геометрических поверхностей реальных объектов совокупности различным образом ориентированных эллиптических цилиндров. Например в [3-4] предложено моделировать нарушителя зоны охраны (ЗО) радиолокационной технической системы охраны в виде вертикально ориентированного эллиптического цилиндра при пересечении человеком – нарушителем ЗО «в рост» и в виде комбинации вертикально и горизонтально расположенных цилиндров при моделировании человека – нарушителя в положении «согнувшись». Представление объекта-нарушителя комбинацией эллиптических цилиндров позволяет обойти проблемы, связанные с его описанием в виде набора плос-

костей. Данная модель позволяет достаточно просто изменять размеры, форму и ориентацию объекта относительно передатчика (ПРД) и ПРМ без изменения общего вида интеграла Френеля-Кирхгофа.

В работе [5] предложено моделировать поверхность тела человека совокупностью эллиптических цилиндров, однако такое представление поверхности имеет определенные пределы по количеству используемых эллиптических цилиндров ввиду резкого возрастания сложности описания объекта и трудоемкости вычислений.

Одним из вариантов решения задачи расчета поля объектов сложной формы (ОСФ) может быть использование метода излучающей апертуры [6], в соответствии с которой построенная трехмерная модель объекта проецируется на плоскость и представляется набором единичных излучателей Гюйгенса с известными координатами. На рис. 1 приведена схема пересечения ОСФ зоны между ПРД и ПРМ просветной РЛС. Будем считать, что координаты центра O объекта по осям X , Y и Z равны соответственно x_0 , y_0 , R_n и он перемещается параллельно оси без изменения значений y_0 и R_n . Векторы \vec{r} и \vec{s}^n проведены из точек P_0 и P^n расположения ПРД и одного из ПРМ вертикальной линейки ПРМ РЛС в произвольную точку поверхности Q проекции ОСФ, через которую проходит и вектор нормали \vec{n} .

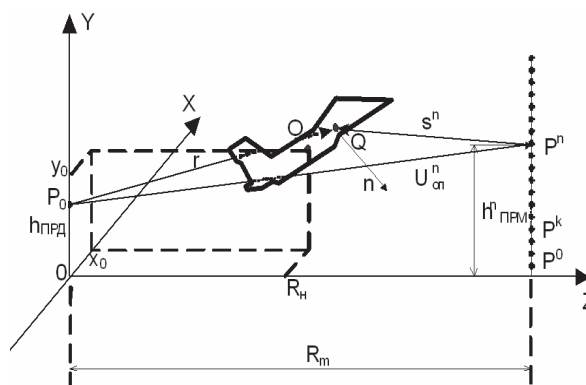


Рис. 1. Формирование сигналов в точках $P^n(0, h_{\text{ПРМ}}^n, R_m)$ нахождения антенн ПРМ вертикальной линейки ПРМ просветной РЛС

Для рассматриваемого случая проекции объекта на плоскость, параллельную плоскости ХОУ, формула Френеля-Кирхгофа для комплексной амплитуды электромагнитного поля $\dot{U}(P^n)$ в точках P^n нахождения точечных [2] антенн вертикальной линейки ПРМ трансформируется к виду:

$$\dot{U}(P^n) = -\frac{Ai}{2\lambda} \iint_S \frac{\beta_{\text{пр}}(x, y) \exp[ik(r + s^n)]}{rs^n} \times \quad (1)$$

$$\times [\cos(\vec{n}, \vec{r}) - \cos(\vec{n}, \vec{s}^n)] dS,$$

где r, s^n – модули векторов \vec{r} и \vec{s}^n ; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина волны ЭМ-поля; A – амплитуда возмущения на расстоянии единицы длины от антенны ПРД; $i = \sqrt{-1}$; S – площадь проекции ОСФ; $dS = dx dy$ – элемент площади этой поверхности; $\beta_{\text{пр}}(x, y)$ – функция пропускания объекта.

Входящие в (1) векторы \vec{r} и \vec{s}^n и \vec{n} определяются (при отсчете координат x и y относительно центра O объекта) выражениями:

$$\vec{r} = (x + x_0)\vec{i} + (y + y_0 - h_{\text{ПРД}})\vec{j} + R_H\vec{k};$$

$$\vec{s}^n = (x + x_0)\vec{i} + (y + y_0 - h_{\text{ПРМ}}^n)\vec{j} + (R_m - R_H)\vec{k};$$

$$\vec{n} = \vec{k}. \quad (2)$$

При определении выражений для $\cos(\vec{n}, \vec{r})$ и $\cos(\vec{n}, \vec{s}^n)$ можно использовать известное свойство скалярного произведения векторов $(\vec{r}, \vec{n}) = |\vec{r}||\vec{n}|\cos(\vec{r}, \vec{n})$, откуда

$$\cos(\vec{n}, \vec{r}) = \frac{R_H}{\sqrt{(x + x_0)^2 + (y + y_0 - h_{\text{ПРД}})^2 + R_H^2}};$$

$$\cos(\vec{n}, \vec{s}^n) = \frac{R_m - R_H}{\sqrt{(x + x_0)^2 + (y + y_0 - h_{\text{ПРМ}}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}}. \quad (3)$$

При использовании численных методов интеграл (1) заменяется двойной суммой, подынтегральная функция непрерывных аргументов X и Y – функцией дискретных аргументов $x_i = (i - I)\Delta x$ и $y_j = (j - J)\Delta y$, где Δx и Δy – шаг дискретизации для x и y соответственно. Расчет дифракционной картины производится для области значений $x_{0m} = (m - M)\Delta x_0$, где $m = 0, 1, \dots, 2M$, а Δx_0 – шаг дискретизации переменной x_0 . В случае эквидистантного (по высоте) размещения ПРМ с шагом $\Delta h_{\text{ПРМ}}$ величина $h_{\text{ПРМ}}^n = h_{\text{ПРМ}} + (n - N)\Delta h_{\text{ПРМ}}$, где $h_{\text{ПРМ}}$ – координата по оси Y середины линейки ПРМ, $n = 0, 1, \dots, 2N$. С учетом введенных обозначений (1) преобразуется к виду

$$U(x_{0m}, h_{\text{ПРМ}}^n) = U(m, n) = -\frac{Ai}{2\lambda} \sum_{j=0}^{2J} \sum_{i=0}^{2I} \beta_{\text{пр}}(i, j) \times$$

$$\times \frac{\exp[-ik(\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРД}})^2 + R_H^2})]}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРД}})^2 + R_H^2}} \times$$

$$\times \frac{\exp[-ik(\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРМ}}^n)^2 + (R_m - R_H)^2})]}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРМ}}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}} \times$$

$$\left[\frac{R_H}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРД}})^2 + R_H^2}} - \frac{R_m - R_H}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j + y_0 - h_{\text{ПРМ}}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}} \right] \Delta x \Delta y, \quad (4)$$

где $2I$ и $2J$ – максимальные значения индексов суммирования i и j .

В последнем выражении необходимо задание функции пропускания $\beta_{\text{пр}}(i, j)$ объекта в конечном количестве точек, что и равносильно представлению сложного объекта набором излучателей Гюйгенса с известными координатами. При этом функция пропускания $\beta_{\text{пр}}(x, y)$ трансформируется в матрицу, каждый элемент которой $\beta_{\text{пр}}(i, j)$ равен единице или нулю, в зависимости от того, располагается ли этот элемент в проекции ОСФ или нет, а также прозрачен или нет объект для ЭМ-поля. Для уменьшения объема вычислений при расчете комплексной амплитуды непрозрачного для ЭМ-поля ОСФ целесообразно использовать принцип Бабинне [1].

На рис. 2а приведена линия уровня матрицы $\beta_{\text{пр}}(i, j) = \text{const}$, используемого в расчетах ОСФ, а на рис. 2б – результат расчета его двумерной дифракционной картины (график $|\dot{U}(m, n)|$).

Для задания формы ОСФ использовалась матрица из 20 строк ($2I = 20$) и 100 столбцов ($2J = 100$). Значения Δx и Δy при расчете по формуле (4) равнялись 0,2 м; поэтому размеры прямоугольной области рис. 2а составляют $4 \times 20 \text{ м}^2$ при близких к этим цифрам габаритах ОСФ. Значения остальных величин: $\Delta x_0 = \Delta h_{\text{ПРМ}} = 0,1 \text{ м}$; $2M = 2N = 200$; $R_m = 10000 \text{ м}$; $R_H = 9750 \text{ м}$. Отметим, что приведенная на рис. 2б двумерная дифракционная картина ОСФ для улучшения ее восприятия рассчитана при отличных от приведенных параметрах $M, N, \Delta x_0$ и $\Delta h_{\text{ПРМ}}$.

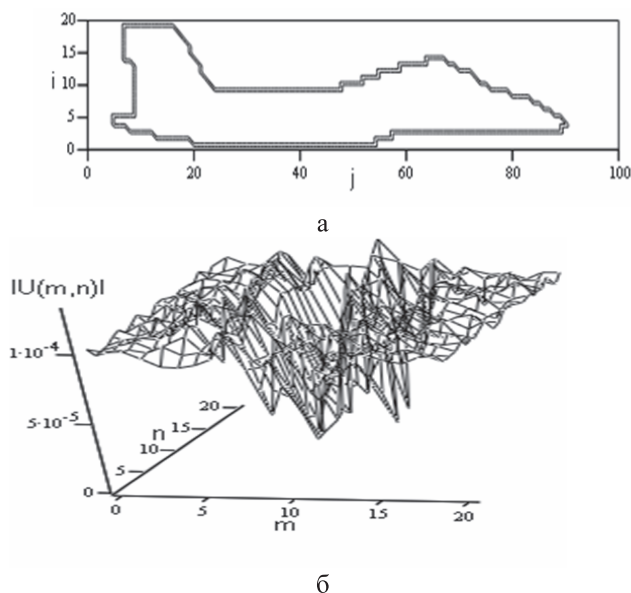


Рис. 2. Линия уровня матрицы $\beta_{pp}(i, j)$ ОСФ (а) и двумерная дифракционная картина объекта (б)

Проверку качества расчетов можно осуществить путем восстановления функции пропускания $\beta_{pp}(x, y)$ ОСФ по его дифракционной картине с последующим формированием контура теневого радиоизображения объекта, предложенного в работе [4]:

$$\beta_{pp}(x_i, y_j) \sim \frac{1}{2\lambda} \sum_{m=0}^{2M} \sum_{n=0}^{2N} \dot{U}(x_{0m}, h_{ПРМ}^n) \times \frac{\exp[-ik\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + y_j^2 + R_H^2}]}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + y_j^2 + R_H^2}} \times \frac{\exp[-ik\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j - h_{ПРМ}^n + h_{ПРМ}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}]}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j - h_{ПРМ}^n + h_{ПРМ}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}} \times \left[\frac{R_H}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + y_j^2 + R_H^2}} - \frac{R_H - R_m}{\sqrt{(x_i + x_{0m})^2 + (y_j - h_{ПРМ}^n + h_{ПРМ}^n)^2 + (R_m - R_H)^2}} \right] \Delta h_{ПРМ} \Delta x_0. \quad (5)$$

Сформированное по результату восстановления функции пропускания ОСФ теневое радиоизображение (как линия уровня $\beta_{pp}(x_i, y_j) = \text{const}$) объекта приведено на рис. 3. Сравнение его с исходной проекцией (см. рис. 2а) позволяет сделать вывод о достаточно хорошем качестве восстановления функции пропускания и полученного радиоизображения ОСФ. Таким образом, предложенная

методика расчета комплексной амплитуды ЭМ-поля ОСФ позволяет получить дифракционная картину, достаточно качественную для восстановления по ней функции пропускания и получения двумерного теневого радиоизображения объекта.

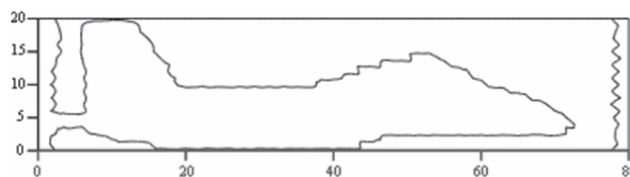


Рис. 3. Линия уровня результата восстановления функции пропускания ОСФ

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. – 720 с.
2. Оленин Ю.А. Двухпозиционные радиолокационные системы обнаружения ближнего действия: основы электродинамики формирования информационных признаков сигнала // Проблемы объектовой охраны. Пенза: ИИЦ ПГУ. Вып. 2, 2001. – 176 с.
3. Сальников И.И., Чернышев М.Н. Интеграл Френеля-Кирхгофа при моделировании нарушителя в виде эллиптического цилиндра в двухпозиционных РЛТСО // Труды V РНТК «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов». Пенза: Изд. ПДЗ, 2007. – С. 28-33.
4. Сальников И.И., Чернышев М.Н., Чернышев Н.И. Восстановление вида двумерной функции пропускания объекта в двухпозиционных РЛТСО // Труды VII РНТК «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов». Пенза: Изд. ПДЗ, 2009. – С. 20-24.
5. Писаревский И.Ф., Евдокимов Н.О., Маршалов Т.А., Костенко Е.А. Радиолокационная математическая модель человека при наклонном дистанционном зондировании // Радиотехника. №3, 2003. – С. 76-78.
6. Красников А.В. Об одном из методов расчета поля на приемной позиции двухпозиционной (бистатической) РЛС // Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ, вып. 3. 2008. – С. 155-158.

SIMULATION OF THE MOVING OBJECTS SHADY RADIO IMAGE FORMATION IN TRANSMISSION RADAR

Chernyshev M.N., Chernyshev N.I.

This article is devoted to moving objects diffraction pattern calculation. Complex shape object is considered to be a set of Huygens radiators, which locating in two-dimensional lattice points of object's plane projection. Accuracy of radiator set forming is checked up by means of transmission function reconstruction using diffraction pattern and shady radio image forming.

Keywords: *transmission radio-location set, fresne-kirchhoff integral, inverse transform, two-dimensional transmission function, shady radio image, shady contour.*

Чернышев Максим Николаевич, аспирант Кафедры «Вычислительные машины и системы» (ВМС) Пензенской государственной технологической академии (ПГТА). Тел. (8-412) 95-40-02; 49-61-56. E-mail: maximum_ch@mail.ru

Чернышев Николай Иванович, к.т.н., доцент Кафедры ВМС ПГТА. Тел. (8-412) 95-40-02; 49-61-56. E-mail: cher@pgta.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.91

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ РЕСУРСОВ

Прохоров С.А., Тимченко М.С.

Статья посвящена методу информационной поддержки процесса создания электронных учебных курсов на основе объектной модели управления текстовыми данными

Ключевые слова: управление обучением, обучающие программы, создание электронных учебников, дистанционное обучение, объектная обработка текста.

Постановка задачи

В настоящее время в России продолжается процесс информатизации образования. Одним из перспективных направлений в этой области являются системы электронного обучения (СЭО), используемые в целях управления образовательным процессом как для непосредственного планирования учебной нагрузки, так для управления учебными материалами и контроля качества знаний.

СЭО позволяют значительно повысить качество получения знаний, но их внедрение ограничивает ряд недостатков, связанных с реализацией в них технологий управления электронным обучением:

- учебные материалы готовятся, хранятся и предоставляются обучаемому в виде, не позволяющем реализовать новые информационные тех-

нологии управления адаптивным электронным обучением;

- алгоритмы управления строятся, как правило, по predetermined разработчиками сценарию, которые сложно скорректировать при изменении целей и задач обучения или программы учебного курса;

- по результатам тестирования обучаемому предоставляются только рекомендации о необходимости изучения тех или иных разделов учебного курса, что приводит к непродуктивным затратам времени на поиск обучаемым не усвоенного им учебного материала [2].

Общим недостатком СЭО является то, что они не позволяют приблизить процесс обучения по качеству (характеризующемуся уровнем усвоения изучаемого учебного материала) и времени, затрачиваемом на обучение, к процессу обучения с преподавателем [1].

Педагогам необходимы средства автоматизации, позволяющие упростить и ускорить процесс перевода знаний в общедоступный формат хранения данных, в формат электронного учебного ресурса (ЭУР) с целью адаптивного управления обучением путем коррекции контента на основе контроля усвоения учебного материала.