

Оптика и оптические материалы

УДК 621.383.8

Моделирование пространственной структуры световых полей методом Монте-Карло

Ю. Г. Эдельштейн

ГУДП СКБ ТНВ НПО "Орион", Москва, Россия

Изложена методика имитации слабых световых полей, например изображений элементарных тест-объектов в ЭОП, с целью визуальной оценки влияния дефектов структуры, пространственных шумов и других факторов на качество изображения. Методика реализуется на персональном компьютере с помощью программы EXCEL.

В настоящее время математические модели, описывающие процессы формирования и преобразования изображения в оптико-электронных системах (ОЭС), разработаны достаточно полно и дают возможность представить необходимые показатели структуры выходного изображения, в том числе в виде одномерных и даже двумерных графиков распределения интенсивности [1]. Однако такое представление в ряде случаев недостаточно наглядно для практических целей. В данной работе рассматривается возможность визуализации картины слабых световых полей, имитируя ее методом Монте-Карло.

Моделирование опирается на следующие предпосылки:

- световое поле создается конечным числом точек, имитирующих отдельные фотоны или фотоэлектроны (известно, что в пятне рассеяния ЭОП при рабочей освещенности 10^{-4} лк за время экспозиции накапливается 10—15 частиц-носителей информации). Координаты точек, разыгрываемые методом Монте-Карло, и их количество соответствуют вероятностным распределениям и интенсивности реальных процессов;

- равномерно освещенная область имитируется точечной диаграммой, координаты точек которой по осям X и Y подчинены равномерному закону распределения, а общее количество точек равно накопленному в имитируемом элементе. Можно показать, что такая диаграмма обладает всеми свойствами пуассоновского поля, каковой на самом деле и является однородно освещенная плоскость. Во-первых, вероятность попадания того или иного числа точек в любую ее область не зависит от того, сколько их попало в любую другую область, не пересекающуюся с данной; во-вторых, вероятность попадания в область $\Delta X \Delta Y$ двух или более точек пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одной точки [2]. Можно также показать, что число точек, принадлежащих к любой области диаграммы площадью Q , распределено по закону Пуассона с математическим ожиданием и дисперсией $a = \lambda Q$, где λ — плотность точек поля;

- изображение объектов строится как свёртка (композиция) функции рассеяния (ФР) системы и функции распределения интенсивности (ФРИ) объ-

екта, опираясь на теорему Котельникова. Согласно этой теореме [3] непрерывное изображение с ограниченным спектром пространственных частот ν_x и ν_y полностью определяется значениями интенсивности, взятыми в точках дискретных отсчетов, расположенных в узлах прямоугольной решетки (в общем случае решетка не обязательно должна быть прямоугольной) (рис. 1) и следующими друг за другом через промежутки $\Delta X < 1/2\nu_x$. В случае обычно принятых в оптике тест-объектов типа полуплоскости, штриха или круга, задача значительно упрощается, так как распределение интенсивности для них является равномерным;

- пространственные шумы и другие дефекты, вызывающие неоднородность поля, имитируются введением локальных отступлений от равномерного закона распределения по координатным осям.

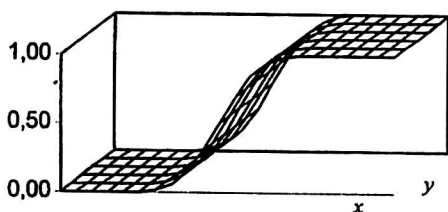


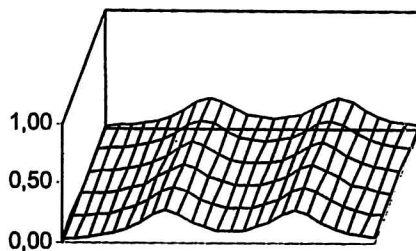
Рис. 1. График распределения интенсивности в изображении полуплоскости ОЭС с нормальной ФР

Моделирование осуществляется на персональном компьютере в среде Windows с помощью инструментов “Конструктор диаграмм”, “Мастер функций” и “Пакет анализа” стандартной программы EXCEL.

В качестве примера ниже приведена методика имитации фрагмента изображения полуплоскости (ПП) — базового элемента практически всех объектов. Изображение локализовано на входном фотокатоде электронно-оптического преобразователя и формируется системой, ФР которой имеет форму гауссоиды, т. е. подчиняется нормальному закону: $f(x) = (1/\sigma\sqrt{2\pi})\exp(-x^2/2\sigma^2)$.

На рис. 2 и 3 показаны график распределения интенсивности и фрагмент изображения теста в виде двух штрихов с помощью ОЭС, имеющей ФР, подчиняющуюся закону Коши $Y = 1/\pi^2(1+X^2)$. В этом случае координаты по оси X разыгрываются, используя известные положения метода Монте-Карло и решая уравнение функции распределения Коши $p = 0,5+(1/\pi)\arctg X$ относительно X.

Рис. 2. График распределения интенсивности в изображении двух штрихов ОЭС с ФР Коши



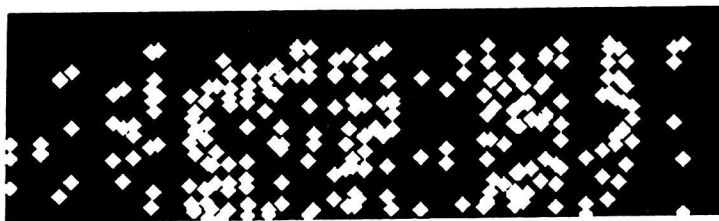


Рис. 3. Имитация изображения двух штрихов

Точечная структура диаграммы позволяет, используя счетные возможности EXCEL, оценить количественные показатели элементов изображения; определить контраст, отношение сигнал/шум.

Изложенный метод моделирования пороговых изображений представляется достаточно простым, не требует, в отличие от некоторых последних способов имитации, специального программного обеспечения [4] и может быть полезен в инженерной практике для оценки влияния структурных свойств, пространственных шумов и других факторов на качество изображения в оптико-электронных приборах.

Методика моделирования полуплоскости

Исходные данные для моделирования:

- разрешающая способность системы ν , штр/мм;
- параметр(ы) формы ФР, для нормальной ФР $\sigma \cong 0,4/\nu$, мм;
- размеры фрагмента (все размеры приводятся к фотокатоду); минимальные размеры по аналогии с мирой ГОИ должны быть $a \cdot b \geq 5/\nu \cdot 5/\nu$, мм·мм;
- размеры объекта: $c \cdot d$, мм; для ПП: $c = a/2$; $d = b$;
- координаты объекта $x(1)$, мм, в данном случае $x(1) = a/2$;
- плотность потока квантов μ (кв/мм²) = $10E \cdot E$ (лк) $\cdot \varphi$ (мкА/лм) $\cdot \tau$ (с) / e ;
- здесь E — освещенность входного фотокатода; φ — его чувствительность;
- τ — время накопления; $e = 1,6 \cdot 10E-19$, кул — заряд электрона;
- контраст объекта K ; в данном случае $K = 1$.

Процесс моделирования включает в себя два этапа.

1. Нормирование пространственных параметров и характеристик интенсивности модели (НОРМИРОВАНИЕ).
2. Построение и форматирование точечной диаграммы (ПОСТРОЕНИЕ).

1. Нормирование

1.1. Все пространственные параметры нормируются относительно параметра функции рассеяния σ и выражаются в безразмерных условных единицах.

Размеры поля построения диаграммы (фрагмента); $\alpha\beta = (a/\sigma) (b/\sigma)$;

размеры объекта (ПП) на диаграмме: $\varepsilon \cdot \delta = \alpha/2\beta$;

шаг дискретизации (по Котельникову): $\theta < (1/2\nu)/\sigma = 1$;

количество отсчетов (узлов): $\eta = \varepsilon/\theta + 1 = \alpha/2 + 1$;

координаты изображения объекта (первого узла): $X(1) = \alpha/2$.

Координаты узлов: $X(2) = X(1) + \theta$; $X(3) = X(2) + \theta \dots X(\eta) = X(\eta-1) + \theta$.

1.2. Каждый квант имитируется отдельной точкой (меткой) на диаграмме EXCEL;

число меток, приходящихся на каждый элемент диаграммы, равно числу квантов в соответствующем элементе фрагмента.

Число квантов, приходящихся на фрагмент: $n = \mu (ab)$;

число меток фона: $n_{\Phi} = n(\alpha/2\beta)$;

число меток сигнала: $\Delta n = n_{\Phi} - n_0 = n_{\Phi} 2K/(1+K)$;

число меток в узле (приходящихся на ФР): $\chi = \Delta n/\eta$.

2. Построение

2.1. Открыть лист книги в программе EXEL.

2.2. Заполнить столбец *A* исходными данными для построения диаграммы — координатами меток по оси *X*.

2.2.1. Выбрать команду **Анализ данных** в меню **Сервис**; в окне диалога выбрать инструмент **Генерация случайных чисел**;

2.2.2. В полях диалога установить: **Число переменных [1]**; **Число случайных чисел [χ]**; распределение **Нормальное**; **Стандартное отклонение [1]**; **Среднее [$X(1)$]**; **Выходной интервал [A1]**; нажать кнопку **ОК**.

2.2.3. Повторить 2.2.1 и 2.2.2 для каждого узла, устанавливая **Среднее [$X(2)$]...[$X(\eta)$]** и **Выходной интервал [A(1+ χ)]** и т. д.

2.3. Заполнить столбец *B* координатами меток по оси *Y*.

2.3.1. Выполнить 2.2.1.; в полях диалога установить: **Число переменных [1]**; **Число случайных чисел [Δn]**; **Распределение Равномерное**; **Между [0]** и **[β]**; **Выходной интервал [B1]**; нажать кнопку **ОК**.

2.4. Нажать кнопку **Конструктор диаграмм**, в поле **Диапазон** ввести ссылку на исходные данные, выбрать тип диаграммы **Точечная**, установить **Ряды данных по столбцам**, **Метки по оси X в первом столбце**.

2.5. Провести форматирование диаграммы (выбрать вид меток, оцифровку осей и сетки, цвет фона, ввести название и пр.).

Пример построения диаграммы приведен на рис. 4. Исходные данные: $v = 25$; $\sigma = 0,016$; $a \cdot b = 0,2 \cdot 0,2$; $c \cdot d = 0,1 \cdot 0,2$; $x(1) = 0,1$; $\mu = 10^4$; $\alpha \cdot \beta = 12 \cdot 12$; $\varepsilon \cdot \delta = 6 \cdot 12$; $\eta = 7$; $X(1) = 6 - X(7) = 12$; $n = 400$; $n_{\Phi} = 200$; $\Delta n = 200$; $\chi = 29$.



Рис. 4. Имитация изображения полуплоскости

Литература

1. Ган М. А. Моделирование на ЭВМ двумерных изображений тест-объектов с учетом реальных aberrаций оптических систем//Тр. ГОИ. 1982. Т. 51. Вып. 185.
2. Вентцель Е. С., Пугачев Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988.
3. Котельников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображения. — М.: Радио и связь, 1981.
4. Орлов С. В., Винецкий Ю. Р.: Докл. на 16-й Международной науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М., 2000.

Simulation of spatial structure of light fields by the Monte-Carlo method

Yu. G. Edelshtein

GUDE SKB TNV NPO "Orion", Moscow, Russia

The procedure of simulation of weak light fields, for instance, pictures of elementary test patterns in image converters, in purposes of visual estimation of influence of defects of structure, spatial noises and others factors on quality of scene. The procedure is realized on personal computer by means of program EXCEL.