

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА, МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ РАСТРОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

©1999 г. А. С. Попов, канд. техн. наук

– ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург

Предложена математическая модель растровой поверхности и алгоритм трассировки лучей через такую поверхность. В качестве базовой поверхности могут использоваться плоскость, цилиндр или сфера. Поверхность может иметь несколько зон, различающихся типом упаковки и параметрами микроповерхности. Реализовано 7 типов упаковок: линейная, прямоугольная, косоугольная (в частности, гексагональная), кольцевая, радиальная, радиально-кольцевая. В качестве микроповерхностей могут задаваться плоскости, диафрагмы, сферы, торы, асферики высших порядков и др. В основе алгоритма нахождения точки встречи луча с растровой поверхностью лежит алгоритм, разработанный ранее автором для моделирования рассеянного света в оптических системах.

В основе большинства режимов моделирования оптических систем лежит алгоритм расчета луча от поверхности к поверхности. В статье приведены результаты решения этой задачи для растровых поверхностей.

Отыскание точки встречи луча с поверхностью заключается в совместном решении уравнения луча и поверхности. Сложность решения этой задачи для растровых поверхностей состоит в том, что они не могут быть представлены единым аналитическим уравнением. Растровая поверхность состоит из множества часто неодинаковых микроповерхностей. Поэтому разработка алгоритма расчета луча в оптической системе с растрами потребовала создания математической модели растровой поверхности и решения задачи отыскания той микроповерхности, которую пересекает линия луча.

### Математическая модель растровой поверхности

Растровая поверхность является упорядоченной совокупностью отдельных поверхностей, в дальнейшем именуемых микроповерхностями (МП). Положение МП определяется типом и параметрами базовой поверхности (БП), в системе координат которой, в соответствии с выбранной упаковкой, задается положение вершины и ориентация связанной с МП системы координат. В качестве БП могут использоваться: плоскость, цилиндр, сфера.

В настоящее время разрабатываются модели растровых поверхностей, использующих в качестве базовой поверхность 2-го порядка и тор. Базовая поверхность задается в прямоугольной декартовой правой системе координат. Вершина БП совпадает с началом системы координат. Для задания упаковки используется дополнительная система координат (рис. 1): для плоскости – прямоугольная декартовая ( $X, Y$ ), косоугольная ( $X_1, X_2$ ), полярная ( $\rho, \varphi$ ); для

Поступила в редакцию 23.11.98.

цилиндра – цилиндрическая ( $X, \alpha, R$ ); для сферы – сферическая ( $\alpha, \beta, R$ ) – экватор лежит в плоскости  $XOZ$ , касаясь вершины БП; сферическая полярная ( $\alpha, \varphi, R$ ) – полюс совпадает с вершиной БП.

У цилиндрической и сферических систем координат величина  $R$  принимается равной радиусу БП.

Различные сочетания типов БП и систем координат позволяют задавать различные упаковки: линейную, ортогональную, косоугольную (в частности, гексагональную), радиальную, кольцевую, радиально-кольцевую. В качестве МП могут задаваться плоскость, диафрагмы различной формы, сфера, цилиндр, тор, асферическая поверхность высшего порядка. В таблице приводятся реализованные сочетания БП, систем координат, упаковок, микроповерхностей.

Модель растровой поверхности построена следующим образом. В соответствии с типом БП и упаковкой выбирается система координат (прямоугольная, косоугольная или криволинейная) и ее радиус кривизны. По заданным значениям периода упаковки (одно или два) в координатах выбранной

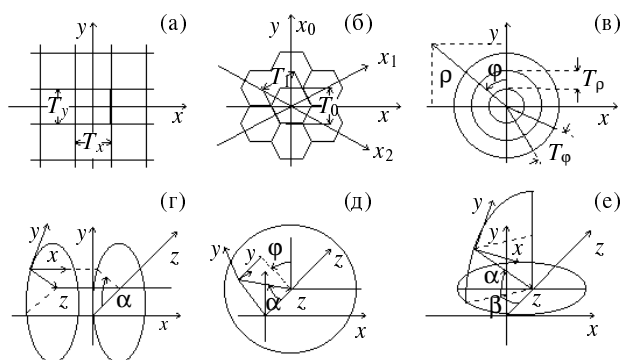


Рис. 1. Системы координат упаковок. а – прямоугольная, б – косоугольная (гексагональная), в – полярная, г – цилиндрическая, д – сферическая полярная, е – сферическая.

№	Тип базовой поверхности	Система координат упаковки	Упаковка, ось отсчета положений вершин	Микроповерхность
1	Плоскость	Прямоугольная	Линейная, $OX$ или $OY$	Все типы, кроме тора
2			Ортогональная, $OX$ и $OY$	Все типы, кроме тора
3		Косоугольная	Косоугольная, $OX_1$ и $OX_2$	
4		Полярная	Радиально-кольцевая, $\rho$ и $\varphi$	
5			Кольцевая, $\rho$	Торы с образующей 2-го порядка и различными радиусами направляющей
6			Радиальная, $\varphi$	Цилиндр с осью $\parallel$ или $\perp$ оси $\rho$
7	Цилиндр	Цилиндрическая	Линейная, $\alpha$	Цилиндр с осью $\parallel$ оси $OX$
8			Линейная, $OX$	Торы с образующей 2-го порядка и одинаковыми радиусами направляющей
9			Ортогональная $OX$ , $\alpha$	Все типы, кроме тора
10		Косоугольная	Косоугольная	
11	Сфера	Сферическая	Линейная, $\alpha$	Торы с образующей окружностью и различными радиусами направляющей
12			Линейная, $\beta$	Торы с образующей 2-го порядка и одинаковыми радиусами направляющей
13			Ортогональная, $\alpha$ , $\beta$	Все типы, кроме тора
14			Косоугольная (в т.ч. гексагональная)	
15		Сферическая полярная	Радиально-кольцевая, $\alpha$ , $\varphi$	
16			Кольцевая, $\alpha$	Торы с образующей окружностью и различными радиусами направляющей
17			Радиальная, $\varphi$	Торы с образующей окружностью и одинаковыми радиусами направляющей

системы на БП определяется положение вершин МП. Ось  $OZ$  системы координат МП направлена по нормали к БП (за исключением случаев № 11, 16). Оси  $OX$  и  $OY$  направлены по касательным к координатным линиям соответствующих ортогональных координат. Косоугольные координаты предварительно преобразуются в ортогональные.

Ограничение МП может производиться двумя способами: первый заключается в задании ограничений в системе координат упаковки на БП, второй, точный, – в результате самопересечения МП.

На БП может размещаться несколько зон, имеющих различные типы и параметры упаковок и МП.

### Алгоритм поиска точки встречи луча с растровой поверхностью

Этот алгоритм во многом напоминает алгоритм поиска поверхности и точки встречи с ней луча при решении задач рассеяния света в оптических системах [1], который, в свою очередь, является развитием алгоритма расчета луча в системах с заранее неизвестной последовательностью поверхностей [2]. В начале определяется группа поверхностей, с которой возможно пересечение луча, затем рассчитывается расстояние до каждой из них и выбирается наименьшее положительное значение. При этом используется следующая схема моделирования.

1. По координатам начала и направляющим косинусам луча рассчитывается расстояние до точки встречи с БП и определяются ее координаты в системе координат (СК) базовой поверхности (точка  $B$  рис. 2).

2. Определяется зона, которой принадлежит точка встречи.

3. Выполняется преобразование координат точки встречи в СК упаковки.

4. В СК упаковки определяется положение вершин и СК группы соседних МП (1 и 2 на рис. 2) с которыми возможна встреча луча (точки  $C$  и  $D$ ).

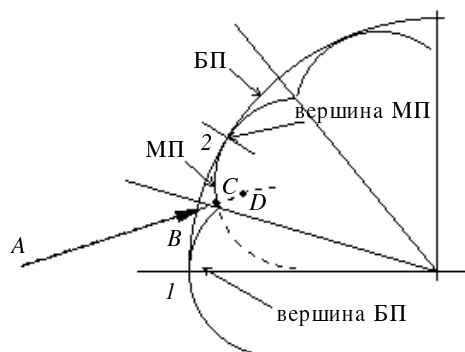


Рис. 2. Определение точки встречи луча с растровой поверхностью.

5. Выполняется преобразование координат точки встречи луча с БП и его направляющих косинусов из СК базовой поверхности в СК МП.

6. Рассчитываются расстояния от точки пересечения луча с БП до точек пересечения с МП ( $BC$  и  $BD$ ).

7. Из полученных значений выбирается наименьшее положительное ( $BC$ ), которое определяет точку встречи с растровой поверхностью. Суммарное расстояние ( $AC$ ) определяет длину луча. По нему рассчитываются координаты точки встречи луча с растровой поверхностью.

8. В СК выбранной МП определяются координаты точки встречи, а по ним направляющие косинусы нормали к поверхности.

9. Направляющие косинусы нормали преобразуются из СК МП в СК БП. Они используются для расчета направляющих косинусов луча после взаимодействия с поверхностью.

Эта схема моделирования позволяет реализовать ограничение МП по линиям самопересечения.

Если углы падения невелики, то можно ограничиться более простой схемой – рассчитывать точку встречи только с одной МП ( $I$  на рис. 2). Такое упрощение значительно ускоряет расчет, но может приводить к ошибкам в определении точки встречи вблизи границ МП.

Приведенная схема и алгоритм расчета использованы автором для доработки программы конструирования, моделирования и расчета оптических систем WinDEMOS – с целью включения в нее растровых поверхностей. На рис. 3 приведен пример меридионального сечения растровой оптической системы с трассировкой лучей. На рис. 4 приведены примеры точечных диаграмм после растровых поверхностей с различными типами упаковок.

Для большей наглядности точечные диаграммы получены в непосредственной близости от растровой поверхности, до перемешивания лучей от разных МП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.С. Схема моделирования рассеянного излучения в оптических системах // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического и машинного моделирования: Материалы Всесоюзной НТК. –

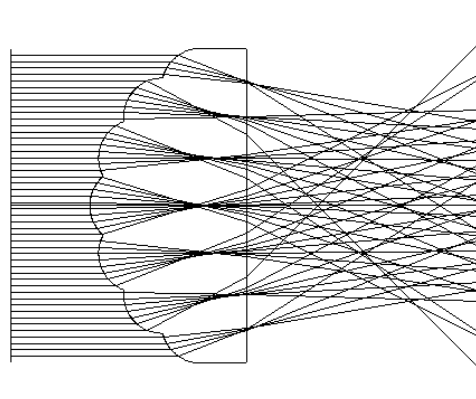


Рис. 3. Пример трассировки лучей в растровой оптической системе.

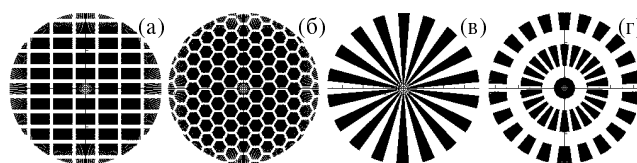


Рис. 4. Примеры точечных диаграмм от растровых поверхностей. а – ортогональной, б – гексагональной, в – радиальной, г – радиально-кольцевой.

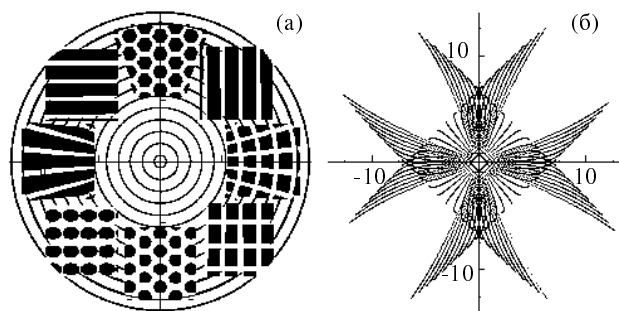


Рис. 5. Точечные диаграммы от растровых поверхностей с несколькими зонами.

На рис. 5 приведены примеры точечных диаграмм от растровых поверхностей с несколькими зонами.

Тестирование программы проводилось путем расчета освещенности, создаваемой оптическими системами с повышенной равномерностью освещенности.

Тамбов.: ТВВАИУ–МЭИ, 1991. – С. 286–288.

2. Медведев В.Е. Расчет хода лучей через оптические системы с заранее неизвестным количеством отражений и преломлений // Тр. ГОИ им. С.И. Вавилова. – 1980. – Т. 46, вып. 180. – С. 86–93.