

Оглавление

Введение.....	3
1. Обзор литературы и постановка задачи.....	4
1.1. Описания асферических поверхностей в различных программных продуктах.....	4
1.1.1. Описание поверхности вращения второго порядка в OPAL.....	4
1.1.2. Описание поверхности вращения второго порядка в ZEMAX....	5
1.1.3. Описание асферической поверхности высшего порядка в OPAL.....	5
1.1.4. Описание асферической поверхности высшего порядка в ZEMAX.....	8
1.2. Постановка задачи.....	8
2. Описание математических моделей и численных методов.....	10
2.1. Описание действительного (реального) луча.....	10
2.2. Расчет хода действительного луча через поверхность.....	10
2.2.1. Преобразование координат.....	11
2.2.2. Нахождение точки встречи луча с поверхностью.....	11
2.2.3. Уточнение точки встречи для поверхности высшего порядка...	12
2.2.4. Перенос.....	14
2.2.5. Нахождение преломленного луча.....	14
3. Особенности программной реализации.....	16
3.1. Объектно-ориентированный подход и описание объектов.....	16
3.2. Интерфейс программы.....	18
4. Анализ результатов.....	21
4.1.1. Асферика второго порядка.....	21
4.1.2. Асферика высшего порядка, заданная универсальным уравнением OPAL.....	22
4.1.3. Асферика высшего порядка, заданная международным уравнением.....	23

4.1.4. Асферика высшего порядка, заданная полиномиальным уравнением	24
Заключение	26
Список литературы	27
Приложение 1. Алгоритм вычисления точки встречи луча с поверхностью	28
Приложение 2. Диаграммы объектов	29

Введение

В наш век, когда персональные компьютеры заняли прочное положение во всех сферах деятельности человека, расчет оптических систем, как один из важнейших этапов производства в оптической промышленности немислим без использования ПК.

Одним из основных модулей любой программы автоматизированного проектирования оптических систем на ПК является расчет луча через оптическую поверхность, причем эффективность этой процедуры существенно зависит от принятого описания оптической поверхности.

Одними из самых сложных и в изготовлении, и при расчете, являются асферические поверхности, однако их использование в качестве поверхностей оптических деталей оправдано, так как обеспечивает повышение качества оптического изображения, увеличение поля оптической системы и ее относительного отверстия, уменьшение числа компонентов системы, а следовательно, габаритных размеров и массы. Описание асферической поверхности возможно различными способами.

Целью данной работы является разработка программы расчета луча через оптическую поверхность, дающую возможность описать рассматриваемую поверхность наиболее удобным и привычным для пользователя способом.

1. Обзор литературы и постановка задачи

В настоящее время существует большое количество различного программного обеспечения для расчета оптических систем. Это как небольшие программы для расчета некоторых характеристик системы, так и программные продукты для полноценного анализа свойств оптических систем. В рамках данной работы интересно сравнить возможности расчета реального луча через асферические элементы в различных программных продуктах.

1.1. Описания асферических поверхностей в различных программных продуктах

...

1.1.1. Описание поверхности вращения второго порядка в OPAL

В OPAL поверхности описываются уравнением относительно координат X, Y, Z точки на поверхности. Общий вид уравнения:

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1.1)$$

...

1.1.2. Описание поверхности вращения второго порядка в ZEMAX

В ZEMAX основой для описания асферик служит описание стандартной сферической поверхности:

$$z = \frac{c \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) \cdot c^2 \cdot r^2}} \quad (1.3)$$

где c – кривизна поверхности; r – радиальная координата на поверхности; и k – коническая константа (квадрат эксцентриситета).

...

1.1.3. Описание асферической поверхности высшего порядка в OPAL

В OPAL базовое уравнение поверхности вращения высшего порядка образуется из уравнения (1.2) добавлением деформации высшего порядка:

$$f(x, y, z) = z - \frac{r_0 \cdot (u + (1 - e^2) \cdot z^2)}{2} - Q = 0 \quad (1.4)$$

...

1.1.4. Описание асферической поверхности высшего порядка в ZEMAX

Симметричные полиномиальные асферические поверхности вращения описаны полиномиальным выражением отклонения от сферической поверхности.

...

1.2. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка программы для расчета хода луча через асферические поверхности с деформациями, причем эта программа должна предусматривать возможность описания поверхности способами, принятыми в различных программах для автоматизированного расчета оптических систем.

В рамках данной работы планируется решить следующие задачи:

1. Описание асферической поверхности различными способами. За основу берется описание, используемое программой OPAL-PC с добавлением новых возможностей. Поскольку переход от международного уравнения асферики, принятого за основное во всех зарубежных программах для расчета оптических систем (таких как ZEMAX и др.) к уравнению, принятому в OPAL, не всегда однозначен, необходимо разработать новый алгоритм для расчета хода луча через подобные поверхности.
2. Расчет хода луча через описанную поверхность.

2. Описание математических моделей и численных методов

В данной работе были использованы математические модели и алгоритмы для расчета оптических систем, которые были разработана на кафедре прикладной и компьютерной оптики под руководством профессора Родионова.

2.1. Описание действительного (реального) луча

Действительный луч описывается в системе координат данной поверхности:

- тремя линейными координатами x , y , z – проекциями радиус-вектора

$$\mathbf{s} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \text{ какой-либо точки на луче;}$$

- тремя угловыми координатами – направляющими косинусами луча, т.е.

$$\text{проекциями орта } \mathbf{q} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \text{ направления луча.}$$

...

2.2. Расчет хода действительного луча через поверхность

Задача расчета луча через поверхность заключается в определении координат луча, преломленного на этой поверхности в системе координат данной поверхности по известным координатам луча в системе предыдущей поверхности, а также по показателям преломления сред, находящихся до и после данной поверхности и параметрам взаимного расположения систем координат.

Расчет действительного луча происходит в несколько этапов:

- преобразование координат
- нахождение длины луча между поверхностями

- перенос
- преломление

2.2.1. Преобразование координат

...

2.2.2. Нахождение точки встречи луча с поверхностью

...

2.2.3. Уточнение точки встречи для поверхности высшего порядка

Для таких поверхностей уравнение (2.3) в общем случае неразрешимо аналитически, поэтому при его решении необходимо применять какой-либо численный метод. Используем один из наиболее употребительных методов – метод Ньютона-Рафсона, или метод касательной.

...

2.2.4. Перенос

После нахождения расстояния по лучу между поверхностями можно осуществлять перенос луча. Однако, при больших осевых расстояниях возможна потеря точности вычислений, и поэтому используется дополнительный метод. Длина луча между поверхностями формируется в два приема: к длине луча до плоскости, касательной к вершине поверхности добавляется (или вычитается) расстояние вдоль луча от этой плоскости до точки пересечения луча с поверхностью.

2.2.5. Нахождение преломленного луча

...

Алгоритм вычисления точки встречи луча с поверхностью приведен в Приложении 1.

3. Особенности программной реализации

3.1. Объектно-ориентированный подход и описание объектов

...

На основе рассмотренных в данной работе алгоритмов и математических моделей была разработана структура данных для расчета хода реального луча через сферическую и асферическую поверхность. В качестве основного принципа разработки была использована объектно-ориентированная технология. Программная реализация проводилась на языке C++.

Базовыми являются классы: ...

Класс «Асферическая поверхность второго порядка» ...

...

Диаграммы объектов приведены в Приложении 2.

3.2. Интерфейс программы

При запуске программы создается новый документ, в котором уже есть вычисленные координаты и рисунок системы, заданной по умолчанию.

В меню помимо стандартных пунктов **Файл**, **Правка**, **Вид** и **Справка** присутствуют пункты **Описание**, **Параметры** и **Координаты**. При работе с программой пользователь должен сначала задать в меню ...

...

Рис.3. Разработанная программа

Рассмотрим процесс изменения параметров тестируемой системы на примере 2-ой поверхности. ...

...

4. Анализ результатов

В качестве основного критерия корректности работы программы проводились исследования по точности вычислений координат реального луча. ...

4.1.1. Асферика второго порядка

В качестве тестового примера использовалась оптическая система из двух поверхностей, первая из которых – асферика второго порядка, а вторая – сферическая.

...

4.1.2. Асферика высшего порядка, заданная универсальным уравнением OPAL

...

4.1.3. Асферика высшего порядка, заданная международным уравнением

...

4.1.4. Асферика высшего порядка, заданная полиномиальным уравнением

...

Анализ результатов показал, что предлагаемая программа вычисляет соответствующие координаты с точностью до знаков, выводимых в OPAL-PC.

Заключение

В результате выполнения данной работы был разработан пакет программ для расчета хода луча через асферические поверхности высшего порядка, заданные различными способами: универсальным уравнением OPAL, полиномиальным уравнением и международным уравнением асферики.

Разработанные алгоритмы и вычислительные модули могут использоваться в системе автоматизированного проектирования, а тестирующий пакет программ может использоваться в обучающих целях при изучении асферических поверхностей.

В дальнейшем планируется расширение типов асферических поверхностей за счет добавления деформаций поверхности, описываемых полиномами Цернике и асферических поверхностей, не являющихся поверхностями вращения.

Список литературы

- [1] Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. и др. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1984.
- [2] Пол И. Объектно-ориентированное программирование с использованием C++. Киев. НИПФ "ДиаСофт", 1995. 480с.
- [3] Родионов С. А., Шехонин А. А. Методология проектирования оптических приборов. Учебное пособие. СПб.: СПбГИТМО(ТУ). 1996. 84 с.
- [4] Родионов С. А. Автоматизация проектирования оптических систем. Л.: Машиностроение, 1982. 270 с.
- [5] Родионов С.А., Еськова Л.М. Методические указания по использованию программ ОПАЛ-ЕС при расчете оптических систем с асферическими поверхностями. Л. ЛИТМО. 1979. -24 с.
- [6] Родионов, Шехонин. Математические модели оптических поверхностей при автоматизированном проектировании. Изв. вузов. Приборостроение. 1996, т.39 №2
- [7] Родионов С.А. Об описании оптических поверхностей в программах расчета оптических систем на ЭВМ. Изв. вузов. Приборостроение. 1978, т. XXI №5
- [8] Русинов М.М. Техническая оптика. Л.: Машиностроение, 1979. 488 с.
- [9] Система автоматизированного проектирования оптических систем OPAL-PC. Руководство для пользователей.
- [10] Zemax. Руководство пользователя.