

## 6. СИНТЕЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

### 6.1 Этапы синтеза трехмерного изображения

В общем случае задача синтеза изображения трехмерных объектов представляет собой задачу имитации визуальной обстановки, т.е. искусственного построения изображений окружающей среды с такой степенью достоверности, которая достаточна для выработки и поддержания у пользователя программы навыков управления подвижными объектами. Таким образом, синтезируемое изображение должно быть динамическим и как можно более реалистичным.

Переходя к формальному описанию стоящей задачи, можно отметить следующее (рис.6.1.1). В базовой системе координат ( $X, Y, Z$ ) задано описание трехмерной среды, составленной из непрозрачных или прозрачных твердых объектов, поверхности которых могут быть представлены конечным множеством радиус-векторов  $R_i$  и нормалей к поверхностям  $N_i$ . Характеристиками поверхности являются ее цвет, а также коэффициенты диффузного и зеркального отражения, коэффициенты преломления света. Наряду с неподвижными объектами в сцене могут присутствовать подвижные объекты, задаваемые в собственной подвижной системе координат ( $X_n, Y_n, Z_n$ ).

Кроме перечисленных двух систем координат, задается еще третья подвижная система координат, связанная с наблюдателем ( $X_n, Y_n, Z_n$ ). Начало этой системы координат совпадает с глазом наблюдателя (оператора), а ось  $Z_n$  – с направлением наблюдения. Также задается плоскость обзора, перпендикулярная оси  $Z_n$ , а в этой плоскости – прямоугольное окно обзора, ограничивающее угол зрения по вертикали и горизонтали.

Для каждого интервала времени  $T=1/F$ , где  $F$  – частота смены кадров изображения, известны положение и ориентация наблюдателя и всех подвижных объектов, которые могут быть заданы либо с помощью шести числовых параметров (три координаты векторов положения и три угла Эйлера), либо в виде матриц положения.

Визуализируемая среда освещается в простейшем случае бесконечно удаленным источником, направление освещения которого задается вектором  $I$ . Модуль этого вектора может для удобства задавать интенсивность освещения. Состояние окружающей атмосферы определяется цветом фона  $C_f$  и коэффициентом прозрачности (тумана, дымки)  $\beta$ .

Задача синтеза изображения состоит в том, чтобы для каждого временного интервала сформировать изображение объектов (или их частей) окружающей среды в плоскости обзора с учетом приемов имитации трехмерного пространства.

Решение общей задачи может быть представлено в виде совокупности следующих основных задач: преобразование всех объектов в единую систему координат, выделение объектов, попадающих в поле зрения наблюдателя, проецирование выделенных объектов на плоскость обзора, удаление невидимых поверхностей, вычисление цвета видимых поверхностей, формирование сигналов изображения для воспроизводящего устройства (например, видеосигналов для растрового дисплея).

Последовательность решаемых задач можно сформулировать в виде следующих восьми этапов.

1. Разработка трехмерной математической модели синтезируемой визуальной обстановки.

2. Определение направления линии визирования , положения картинной плоскости, размеров окна обзора, значений управляющих сигналов.
3. Формирование операторов, осуществляющих пространственное перемещение моделируемых объектов визуализации.
4. Преобразование модели, синтезируемой в пространстве, к координатам наблюдателя.
5. Отсечение объектов визуального пространства в пределах пирамиды видимости.
6. Вычисление двумерных перспективных проекций синтезируемых объектов видимости на картинную плоскость.
7. Исключение невидимых элементов синтезируемого пространства при данном положении наблюдателя, закрашивание и затенение видимых элементов объектов визуализации.
8. Вывод полутонового изображения синтезируемого визуального пространства на экран растрового дисплея.

Дадим краткую характеристику каждого из перечисленных этапов синтеза изображения. Первый этап является подготовительным. На этом этапе формируется база данных с информацией об объектах визуализации. Она формируется из моделей объектов визуализации с учетом специфики решаемой задачи и с использованием принципа минимизации времени доступа к отдельным элементам базы.

Существует большое число способов описания поверхностей объектов визуализации моделируемого пространства. Часто используют простейшую полигональную аппроксимацию, а также бикубические сплайны, поверхности и кривые Безье, Кунса. Основным графическим примитивом является грань — многоугольник, задаваемый координатами вершин и цветом.

При создании математической модели проводится часто также предварительное построение габаритных сфер объектов (это необходимо при использовании алгоритмов удаления невидимых поверхностей, в частности при использовании трассировки лучей), расчет теней о неподвижных объектах, раскраска неподвижных объектов, расчет взаимных пересечений.

На втором этапе задаются координаты положения наблюдателя ( $X_n, Y_n, Z_n$ ), положения картинной плоскости  $P$  (углы  $\alpha, \beta, \gamma$ , образуемые нормалью с осями координат, расстояние от оператора–наблюдателя до главной точки изображения (главной точкой изображения называется точка пересечения линии визирования и картинной плоскости), размеры окна обзора.

Для динамических объектов необходимо знать также управляющие сигналы в каждый момент времени регенерации изображения. В качестве управляющих сигналов можно выбрать, например, значения составляющих мгновенной угловой скорости вращения и поступательной скорости перемещения центра масс объекта визуализации.

На третьем этапе осуществляется формирование операторов преобразования координат модели синтезируемого пространства в систему координат наблюдателя. В качестве операторов могут выступать матрицы направляющих косинусов, углы Эйлера-Крылова, параметры Гамильтона, Кэйли-Клейна. Наиболее часто используются матрицы направляющих косинусов.

На четвертом этапе с использованием матриц преобразования осуществляется пересчет координат модели сцены из исходной системы координат в систему координат, связанную с наблюдателем.

После преобразования объектов сцены к системе координат наблюдателя на пятом этапе производится отсечение примитивов в пределах пирамиды видимости. Это связано с тем, что необходимо удалить из сцены те объекты или их фрагменты, которые не попадают в поле видимости наблюдателя. Считается, что наблюдатель может видеть лишь те объекты, которые находятся не ближе некоторого минимального расстояния по отношению к его глазу, не далее некоторого максимального расстояния и при этом попадают в конус видимости, вершина которого совпадает с глазом наблюдателя. Таким образом, необходимо удалить все объекты, лежащие за пределами получаемого усеченного конуса.

Для удобства работы усеченный конус заменяют усеченной четырехгранной пирамидой, которую и называют пирамидой видимости. Для полигональных сцен, состоящих из многоугольников, выполнение этого этапа состоит в последовательном отсечении всех многоугольников. Отсечение одного многоугольника осуществляется за шесть шагов. На каждом шаге выполняется отсечение многоугольника одной из шести плоскостей, проходящих через грань пирамиды видимости.

На шестом этапе проводится вычисление центральных проекций точек сцены на картинную плоскость с использованием матрицы центрального проецирования. Данное преобразование дополняется преобразованиями масштабирования и переноса для перехода к экранной системе координат дисплея.

На седьмом этапе проводится удаление невидимых линий и поверхностей объектов сцены. Для оставшихся объектов (граней) в соответствии с выбранной моделью освещения и оптическими свойствами поверхностей и материалов, из которых они состоят, проводится расчет яркости и интенсивности цвета каждого пиксела.

На заключительном восьмом этапе на основе полученной в ходе предыдущих этапов информации осуществляется формирование видеосигнала, обеспечивающего вывод на экран растрового дисплея синтезируемого изображения. При этом используются методы растровой развертки, т.е. ранее рассмотренные алгоритмы построения отрезков прямых, кривых, развертки сплошных областей.

Из задач, решаемых на каждом из рассмотренных этапов синтеза изображения, не все решаются с использованием методов машинной графики. Часть задач решается с использованием методов теоретической механики, теории управления. В машинной графике решаются задачи разработки модели синтезируемой обстановки, задания исходных данных, связанных с определением положения наблюдателя и картинной плоскости, преобразования объектов сцены из одной системы координат в другую систему координат, отсечение объектов, вычисление перспективных проекций, удаление невидимых линий и поверхностей, создание реалистических изображений, растровой развертки простейших элементов изображения.

Часть из перечисленных задач нами уже рассмотрена. В дальнейшем основное внимание будет уделено наиболее интересным и сложным задачам всей машинной графики: удалению невидимых линий и поверхностей, а также созданию реалистических изображений. Наряду с этим рассмотрим также преобразования в трехмерном пространстве, проецирование, трехмерное отсечение.