

УДК 514.181.4: 681.3

Ю. Н. Косников, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет**Л. И. Осокина**, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЦЕПТИВНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ**

Представлена математическая модель преобразований проецирования для получения перцептивной перспективы геометрического объекта. Получено перцептивное изображение геометрического объекта средствами библиотеки компьютерной графики OpenGL.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, перцептивная перспектива, математическая модель, библиотека компьютерной графики OpenGL.

Одной из задач компьютерной графики является повышение реалистичности изображений. Для этого применяют различные средства: текстуры, моделирование освещения, реалистическую динамику, что в конечном итоге обеспечивает лучшее понимание рассматриваемой сцены. На это, в частности, направлено формирование объектов сцены в перспективе.

Чтобы достичь реалистичности изображения, воспользуемся перцептивной перспективой, то есть перспективой, учитывающей факторы естественного зрительного восприятия. В отличие от фотографии, кино, телевидения, ручной перспективы и компьютерной графики, где действуют законы линейной геометрической оптики, геометрическая модель зрительного аппарата человека характеризуется нелинейностью. Название перцептивной перспективы пришло из области психологии как представление о реальном физическом пространстве, которое формируется у человека на основе его зрительного восприятия [1]. Перцептивная перспектива отличается от линейной перспективы создаваемым общим впечатлением о размерах и форме объекта: объекты переднего плана меньше по высоте, а заднего, наоборот, больше, чем в линейной перспективе; здания и интерьеры имеют меньшую протяженность по глубине; тела вращения при наблюдении их с отклонением от главного луча зрения не увеличиваются в поперечнике, как это происходит в линейной перспективе, а сферы никогда не воспринимаются эллипсоидами. Кроме того, прямые углы зданий в горизонтальной плоскости, обращенные к зрителю своей вершиной, в натуре всегда видятся тупыми, в то время как в линейной перспективе они иногда изображаются острыми. Причина в том, что мозг человека автоматически «доставляет» изображение до правильного вида [2]. Считается, что на рисунке с натуры перспективные пропорции передаются более точно по сравнению с фотографией или ручной и компьютерной перспективой [3]. В связи с этим напрашивается вывод: для повышения реалистичности изображений в компьютерной графике их фор-

мирование также должно осуществляться по законам перцептивной перспективы.

Компьютерная реализация перцептивной проекции должна быть основана на некотором формализованном описании соответствующих преобразований. Исследователи, работающие в этой области, утверждают, что получить строгую математическую модель проективного преобразования, учитывающую все особенности зрительного восприятия, невозможно [3, 4]. Однако в компьютерной графике широко применяются средства «обмана глаза», создающие иллюзию требуемых свойств графических объектов на основе их приближенных моделей. Классическими примерами являются полигональное представление криволинейных поверхностей и искусственная расстановка нормалей к поверхности объекта (закраска Фонга, технология bump-mapping) [5]. В связи с этим представляется целесообразным разработать принципы формирования перцептивных изображений, приближающие синтезированные графические образы к визуальному восприятию реального мира.

При моделировании перцептивной перспективы средствами компьютерной графики приходится решать две основные задачи. Во-первых, выбор математической модели проективного преобразования, которая была бы способна придать изображению требуемый вид («качественная» задача). Во-вторых, выбор параметров преобразования, обеспечивающих «правильные» геометрические соотношения компонентов изображения («количественная» задача).

Сложность первой задачи заключается в следующем. В современных графических процессорах аппаратно реализуется линейное перспективное преобразование, а перцептивная перспектива не поддерживается. Следовательно, перцептивную перспективу нужно обеспечивать программным путем средствами хоста. В настоящее время создано несколько математических моделей, отражающих те или иные свойства перцептивной перспективы. Например, в основе модели Б. Раушенбаха [4] лежит вычисление трех функций F_1 , F_2 , F_3 , с помощью которых на картин-

ной плоскости можно получить проекции характерных точек графического объекта:

$$F_1(\bar{L}) = \frac{1 - (ad + bd)^n}{1 - d}; \quad F_2(\bar{L}) = \frac{F_1(\bar{L})}{1 + \bar{L}};$$

$$F_3(\bar{L}) = \int_0^{\bar{L}} \frac{F_1(\bar{L})}{(1 + \bar{L})^2} d\bar{L},$$

где $d = \bar{L}/(1 + \bar{L})$, $a + b = 1$, $n > 0$; \bar{L} – относительное удаление объекта от наблюдателя.

Ясно, что применение приведенных достаточно сложных в вычислительном отношении функций к каждой из сотен тысяч вершин трехмерной сцены значительно затянет процесс рендеринга. Можно предложить двухэтапный подход компьютерного построения перцептивной перспективы: сначала выполняется предварительное искажение (предыскажение) графического объекта в пространстве, а затем – линейное проецирование объекта стандартными средствами компьютерной графики. При этом предыскажение должно сводиться к простым геометрическим преобразованиям вершин объекта и выполняться в центральном процессоре, а линейное проецирование должно осуществляться графическим процессором по обычным алгоритмам. Предложенный подход проиллюстрирован на рис. 1, где показан вид сбоку системы координат наблюдателя графической системы.

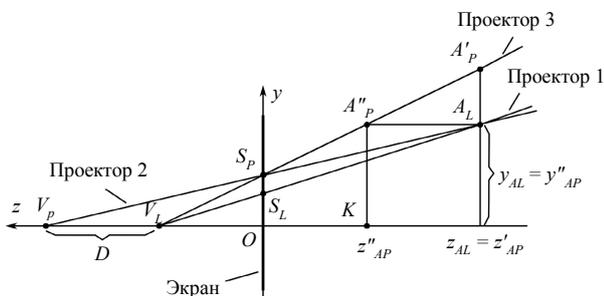


Рис. 1. Получение перцептивной перспективы на основе предыскажения объекта

Точка наблюдения V_L расположена на оси глубины z , плоскость экрана (картинная плоскость) совпадает с плоскостью $z = 0$, на рис. 1 экран показан утолщенной линией. По закону линейной перспективы экранный образ S_L пространственной точки A_L лежит на пересечении экрана проектором 1, то есть лучом, проведенным из точки V_L через точку A_L . Пусть образ точки A_L , полученный по закону перцептивной перспективы, должен лежать в точке S_P . В работе [6] А. Ковалев рассматривает вариант получения точки S_P как результат линейного проецирования точки A_L из другого, удаленного относительно точки V_L , центра V_P . Проецирование идет с использованием проектора 2. Однако такой подход не свободен от недостатков, поскольку, по утверждению автора, чтобы получить реалистичный вид

изображения, «добавочное» удаление D нужно подбирать для каждого наблюдателя индивидуально. Анализ рис. 1 показывает, что для получения «перцептивного образа» S_P точки A_L ее пространственное положение нужно изменить так, чтобы точка попала на проектор 3 – вектор, проведенный из точки наблюдения через точку S_P . Это можно сделать двумя путями. Первый сохраняет удаление z_{AL} (точка A_L переходит в точку A'_P), при этом изменяются и должны быть пересчитаны координаты x_{AL} и y_{AL} . Второй путь – изменение глубины z_{AL} (точка A_L переходит в точку A''_P), при этом остальные координаты точки A_L не изменяются. Для минимизации количества вычислительных операций следует выбрать второй путь. В соответствии с ним значение вертикальной координаты точки S_P находится из обычного выражения линейного проецирования (из подобия треугольников $V_L S_P O$ и $V_L A''_P K$):

$$y_{SP} = \frac{y_{AL}}{1 + \frac{z''_{AP}}{z_{VL}}},$$

где z_{VL} – расстояние наблюдения, остальные обозначения даны на рис. 1. Размеры перцептивного образа объекта связаны с координатой глубины этого объекта нелинейной зависимостью. Это означает, что новая глубина z''_{AP} точки объекта должна нелинейно зависеть от исходной глубины z_{AL} :

$$z''_{AP} = z_{AL} K(z),$$

где $K(z)$ – функциональный коэффициент пересчета глубины.

Значение коэффициента $K(z)$ можно взять из экспериментальных данных. Например, в работе [3] соотношение между истинной и воспринимаемой глубиной объекта выражено в графической форме (показано на рис. 2). В зависимости от диапазона глубин (обозначен у правой границы рисунка), в который попадает объект, значения аргумента исчисляются в десятках, сотнях или тысячах метров. Каждому диапазону глубин на графике соответствует своя кривая. Эти кривые позволяют определить воспринимаемое удаление Z_n по реальному удалению Z . Коэффициент пересчета $K(z)$ находится путем деления Z_n на Z для каждого значения Z .

Для компьютерной реализации нелинейных зависимостей (рис. 2) могут быть применены испытанные вычислительные методы, например, табуляция значений с последующим занесением их в память компьютера или различные виды интерполяции (сплайновая, кусочно-линейная).

Таким образом, обобщенный алгоритм получения перцептивной перспективы полигонального геометрического объекта стандартными средствами компьютерной графики выглядит следующим образом: средствами хост-процессора организуется перебор вершин объекта. Для каждой вершины в соответствии со значением координаты глубины находится

функциональный коэффициент пересчета (считывается из памяти, вычисляется методом интерполяции и т. д.); пересчитывается координата глубины, остальные координаты сохраняются. В результате возникает новый набор вершин, представляющий модель объекта с предсказанием по закону перцептивной перспективы. Этот набор вершин передается для дальнейшей обработки (в том числе линейного проецирования) в графический процессор.

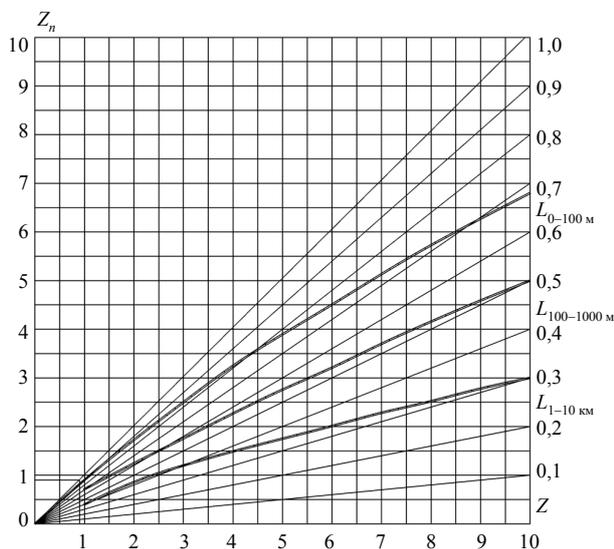


Рис. 2. Зависимость перцептивного восприятия глубины пространства от удаления объекта

После выбора математической модели перцептивной перспективы необходимо решить вторую задачу: определить количественные значения параметров проективного преобразования. В библиотеках компьютерной графики, в том числе в OpenGL, принята следующая организация геометрических преобразований [5]. Система координат наблюдателя (СКН) подвижна относительно системы координат мира (СКМ), в которой размещены объекты сцены. Выбор наблюдаемого фрагмента сцены часто сравнивают с использованием видеоискателя съемочной камеры. Положение камеры задается направлением линии зрения (оси z СКН) и наклоном относительно этой линии (направлением оси y СКН). Наблюдаемый через видеоискатель фрагмент сцены ограничен усеченной пирамидой видимости [5]. Положения всех граней задаются и могут изменяться в графической программе.

Отсчет координат в СКМ и СКН идет в относительных единицах, сопоставление которых с единицами реального мира (метрами, километрами и т. д.) требует применения масштабирования. Поле обзора сцены и размеры объектов задаются надлежащим выбором угла при вершине пирамиды видимости. Кроме того, вывод одних и тех же объектов на экраны разного размера и разрешения дает различные абсолютные размеры изображений этих объектов. Перечисленные факторы приводят к такому выводу: абсолютные размеры изображения на экране в каждой графической программе должны настраиваться

с помощью графических операций, в частности операции масштабирования.

Возникает вопрос: как выбирать масштабные коэффициенты при отображении перцептивной проекции? Для этого можно применить способ, основанный на электронной линейке. Электронная линейка – это эталонный отрезок, созданный в виде геометрической модели в том же пространстве, где моделируются отображаемые объекты. Например, в сцене предполагается использовать модель реального храма, высота которого известна (H_W). Пусть в единицах СКМ графической библиотеки его высота составляет H_V единиц. Тогда вертикальный отрезок высотой h_W метров в СКМ получит высоту h_V , равную $h_V = h_W H_V / H_W$. Модели храма и эталонного отрезка выводятся на экран, где высоты их образов составляют, соответственно, H_S и h_s . С помощью геометрических построений, использующих аппарат перцептивной перспективы [3, 4], можно определить, каким должен быть на экранной плоскости образ эталонного отрезка. Пусть построения дают высоту h_p . Тогда масштабный коэффициент по координате высоты получает значение $m_y = h_p / h_s$. Введя его в графическую программу, получим «правильную» высоту храма на экране: $H_p = m_y H_S$. Размещая эталонный отрезок по горизонтали и глубине, описанным способом несложно получить масштабные коэффициенты по осям x и z СКМ.

На рис. 3 показан вид пространственной сцены, полученный магистрантом В. Доненко средствами графической библиотеки OpenGL с применением линейной и перцептивной перспективы.

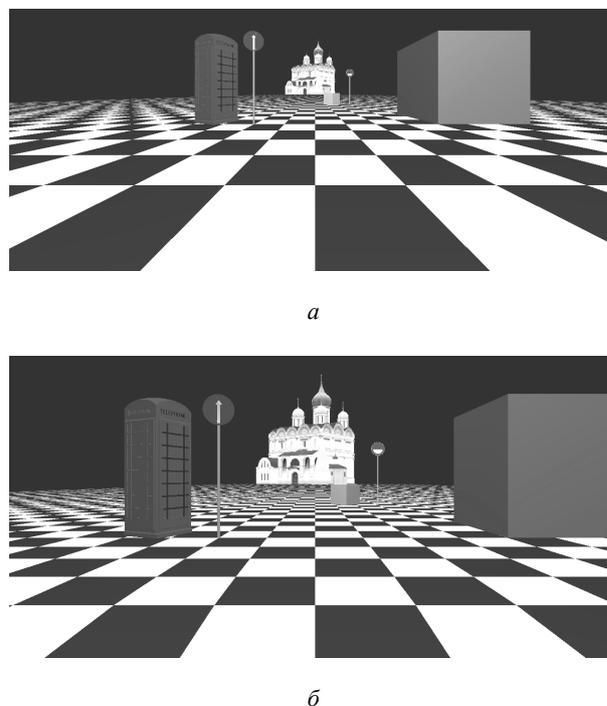


Рис. 3. Сцена в линейной (а) и перцептивной (б) перспективе, полученная средствами графической библиотеки OpenGL

Анализ показывает наличие на рис. 3, б характерных особенностей «перцептивного образа»: протяженность переднего плана меньше и выглядит реалистичней, нежели в линейной перспективе; объекты среднего и дальнего планов не смотрятся неправдоподобно малыми, что соответствует законам зрительного восприятия в плане константности восприятия величины и формы. Общее впечатление от изображения объектов в перцептивной перспективе более эстетичное, чем от рис. 3, а.

В качестве вывода можно утверждать, что предлагаемый подход позволяет приблизить изображение геометрического объекта, созданное стандартными средствами компьютерной графики, к его перцептивному образу.

Список литературы

1. *Соболев Н. А.* Общая теория изображений : учеб. пособие для вузов. – М. : Архитектура-С, 2004. – 672 с.
2. *Федоров М. В.* Рисунок и перспектива. – М. : Искусство, 1960. – 199 с.
3. *Федоров М. В., Короев Ю. И.* Объемно-пространственная композиция в проекте и в натуре. – М. : Гостройиздат, 1961. – 148 с.
3. *Раушенбах Б. В.* Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. – М. : Наука, 1986. – 252 с.
4. *Херн Д., Бейкер М. П.* Компьютерная графика и стандарт OpenGL ; пер. с англ. – 3-е изд. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1168 с.
5. *Ковалев А. М.* Оценка искажений предметов при отображении перцептивного пространства на картинную плоскость // Автометрия. – Т. 40. – № 6. – С. 87–100.

Yu. N. Kosnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Penza State University

L. I. Osokina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Penza State University of Architecture and Building

Computer Modeling of Perceptive Perspective

The article describes a mathematics model of projection transformations to obtain perceptive perspective of a geometry object. The described model provides perceptive image of the geometry object by means of computer graphics Open GL library.

Key words: computer realization, perceptive perspective, mathematics model, Open GL library.

УДК 681.5:621.311.1:620.9

А. Л. Ахтулов, доктор технических наук, профессор, филиал «Тобольский индустриальный институт» Тюменского государственного нефтегазового университета

Л. Н. Ахтулова, кандидат технических наук, доцент, филиал «Тобольский индустриальный институт» Тюменского государственного нефтегазового университета

Е. Н. Леонов, аспирант, филиал «Тобольский индустриальный институт» Тюменского государственного нефтегазового университета

С. И. Смирнов, кандидат физико-математических наук, доцент, филиал «Тобольский индустриальный институт» Тюменского государственного нефтегазового университета

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ СОВРЕМЕННЫХ САПР

Рассматривается алгоритм синтеза принципиальных схем объектов электроснабжения, позволяющий создать систему автоматизированного проектирования с учетом детализации и основных характеристик.

Ключевые слова: система автоматизации проектирования, синтез, принципиальная схема, система электроснабжения, детализация.

Принципиальная схема электроснабжения представляет собой совокупность элементов и связей между ними и дает возможность детально представить принципы работы системы и процессы, происходящие в ней, а также возможность физической реализации системы. Принципиальные схемы являются основой для анализа работоспособности системы в разных режимах и разработки конструкторской документации, следовательно, ее построению следует уделять особое внимание.

Построение принципиальных схем происходит с учетом требований большого числа нормативных

документов (стандартов, норм и правил), которые ограничивают и дисциплинируют процесс формирования содержания и форм принципиальных схем.

В задачи САПР принципиальных схем обычно входит: детализация систем электроснабжения и выбор элементов, входящих в принципиальную схему; детализация элементов систем и их структурно-параметрическое описание; выбор электрических связей между элементами систем, конкретизация проводных связей, трассировка проводников; описание полученных принципиальных схем в стандартных формах.