

УДК 681.323

В.М. ГУСЯТИН, В.Н. СИДОРОВ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ (КОРПУСКУЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА)

Предлагается метод определения пути следования света в газодинамическом объекте на базе корпускулярной теории света. Определены пространственные границы области, внутри которой распространяется свет при прохождении через газодинамический объект, что существенно уменьшает объем вычислений при реализации данного метода. Результаты могут быть использованы при разработке систем визуализации реального времени для авиационных и космических тренажеров.

газодинамический объект, коэффициент преломления света, корпускулярная теория света, анизотропная среда, угловое разрешение системы визуализации, проекционный луч, система визуализации

Введение

При формировании изображения в системах визуализации (СВ) тренажеров транспортных средств значительное внимание уделяется отображению различных природных явлений. Визуализация таких природных явлений, как марево перегретого воздуха или струя турбулентного течения за соплом реактивного двигателя, необходимы в тренажерах летательных аппаратов, так как значительно повышают реалистичность получаемого изображения и помогают приблизить режим обучения пилота на тренажере к реальности. В настоящее время отображение подобных объектов в системах визуализации сводится к зрительной имитации [1, 2].

В приведенной статье рассматривается один из способов определения пути следования луча света внутри газодинамического объекта (ГО). Этот метод основывается на корпускулярной теории света, а именно на принципе Ферма [3]. Такой физически точный подход к визуализации ГО позволит использовать СВ не только для построения тренажеров, но и для визуализации газодинамических явлений в процессе их исследования [4, 5].

Постановка задачи. На рис. 1 представлены основные геометрические элементы рассматриваемой задачи, принятые в [6].

Введены правая "земная" g -система координат (с/к) x, y, z , связанная с наблюдателем v -система координат u, v, w , начало которой размещено в центре тяжести транспортного средства (самолета, машины и т.д.), и газодинамический объект (ГДО), его положение определено в с/к $x'y'z'$, центр которой O_1 совмещен с центром одного из оснований газодинамического объекта и задан относительно g -системы координатами $X_1 Y_1 Z_1$. Точка наблюдения h (центр проекции) задана относительно начала координат v -системы радиус-вектором $\vec{h}(U_h, V_h, W_h)$. Экран (плоскость проекции) расположен перпендикулярно оси u так, что его центр O_s в v -системе в общем случае имеет координаты $(U_s + U_h), V_s, W_s$.

В плоскости экрана введена система координат y_s, z_s с началом в центре экрана. Показан вектор наблюдения \vec{v} , идущий от точки наблюдения h до центра текущего пиксела экрана. Точки пересечения проекционного луча (ПЛ) с ГО определяются в соответствии с работой [7] путем итерационного вычисления $\lambda \vec{v}$.

На рис. 1 показаны точка входа P_1 проекционно-го луча в классификационную оболочку ГО и конус (ось $P_1 P_2$) выхода ПЛ. (ось $P_1 P_2$) выхода ПЛ.

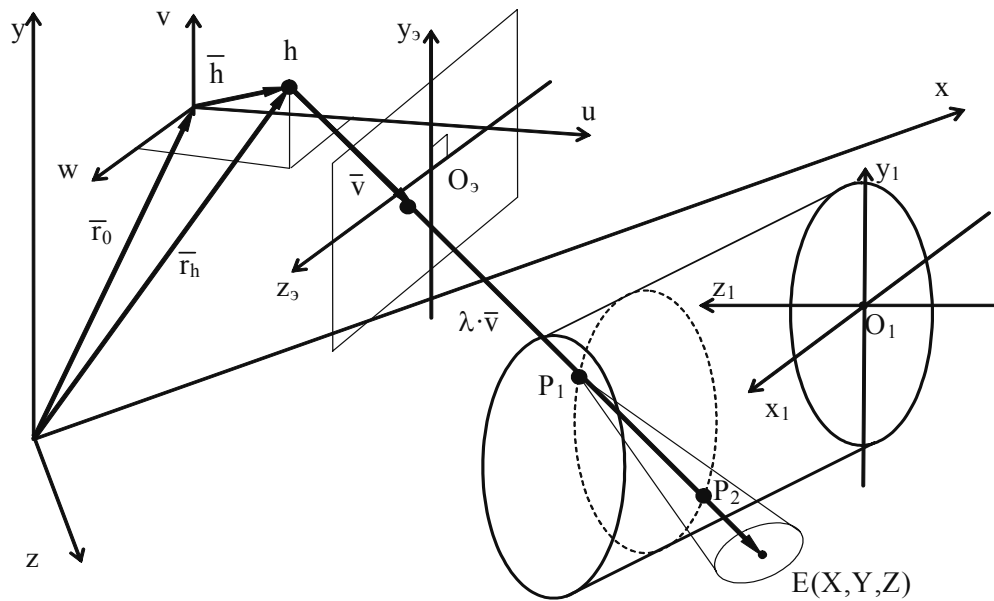


Рис. 1. Основные геометрические элементы задачи

Определение пути следования светового луча внутри газодинамического объекта

Так как газодинамический объект является анизотропной средой, то при прохождении через него луч света будет отклоняться от прямолинейного пути следования. В соответствии с принципом Ферма необходимо проанализировать время прохождения света внутри газодинамического объекта по всем возможным траекториям и выбрать минимальное.

Траектория следования светового луча, соответствующая этому наименьшему времени, и будет являться искомой траекторией. Для уменьшения количества счета определяется область, внутри которой может отклоняться луч. Эта область ограничена конусом с вершиной в точке P_1 и боковой поверхностью, характеризующейся максимальным углом отклонения проекционного луча β (рис. 2) от прямолинейного распространения [8]:

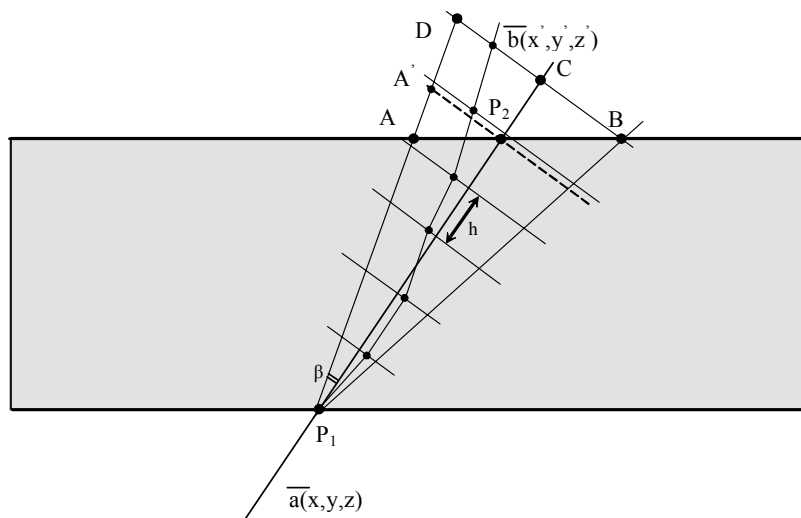


Рис. 2. Путь следования луча света в газодинамическом объекте (двумерный случай)

$$\begin{aligned} \beta &= \arccos \frac{P_1 P_2}{P_1 A'} = \\ &= \arccos \frac{cn_{\min} t}{cn_{\max} t} = \arccos \frac{n_{\min}}{n_{\max}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме;

n_{\min} – наименьший показатель преломления вещества, образующего газодинамический объект;

n_{\max} – наибольший показатель преломления вещества, образующего газодинамический объект;

t – время, за которое свет пройдет путь $P_1 P_2$ при скорости, соответствующей наибольшему, в рамках анализируемого объекта, показателю преломления.

Область газодинамического объекта, в которой распространяется свет, разбивается на совокупность узлов, по которым находится наиболее вероятный путь прохождения света. При прохождении света в газодинамическом объекте считаем, что явление отражения отсутствует. Для определения пути прохождения света применим итерационный алгоритм. Для этого узлы равномерно располагаем на сечениях конуса плоскостями, перпендикулярными оси

В результате этого разбиения получаем множества A^1, A^2, \dots, A^n , описывающие совокупность узлов

конуса $P_1 P_2$ и отстоящими от точки P_1 и друг от друга на расстояния h .

Расстояние между узлами на сечениях конуса определяется угловой разрешающей способностью глаза человека. Величина h выбирается таким образом, чтобы между двумя сечениями луч света отклонился не более чем на один узел от прямолинейного пути распространения при показателе преломления света, соответствующим средней плотности вещества в газодинамическом поле. Запишем соотношение для нахождения h (рис. 3):

$$h = ctg \left(\arccos \left(\frac{n_{\min}}{n_{av}} \right) \right) \cdot \Delta, \quad (2)$$

$$\Delta = OP_1 \cdot tg(\alpha), \quad (3)$$

где n_{\min} – минимальный коэффициент преломления света в газодинамическом объекте;

n_{av} – средний коэффициент преломления света в газодинамическом объекте;

OP_1 – расстояние от точки наблюдения до точки входа ПЛ в классификационную оболочку;

α – угловое разрешение системы визуализации. на каждом из сечений конуса, внутри которого проводится анализ.

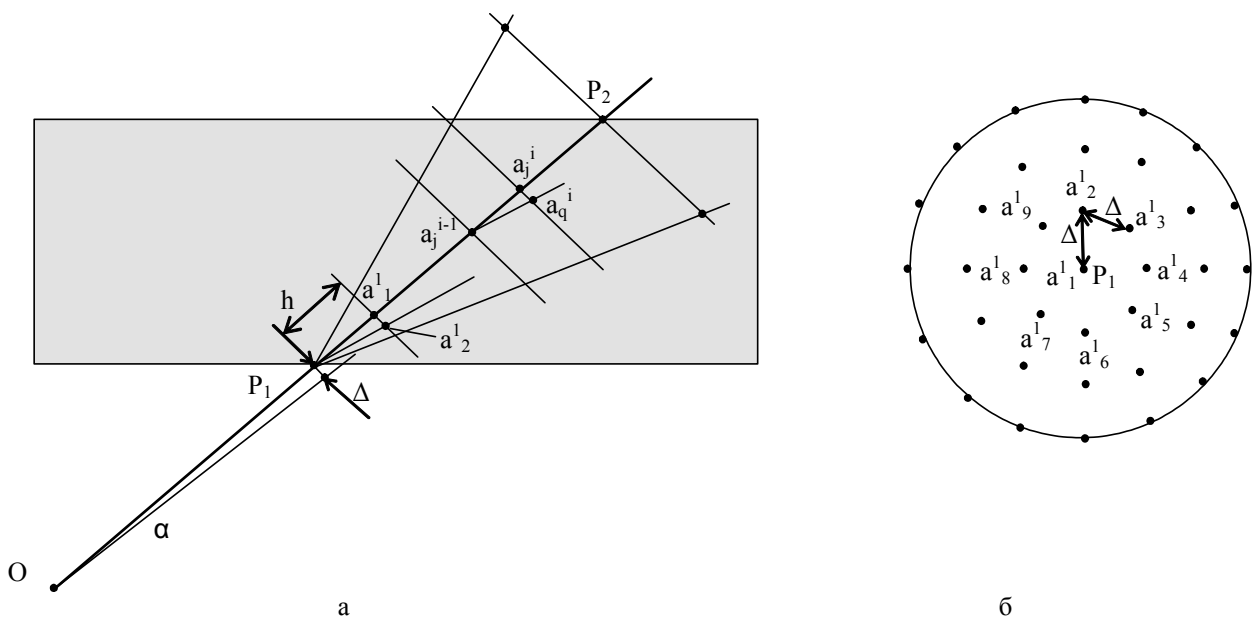


Рис. 3. Определение расстояния между узлами и шага между сечениями в объекте (двумерный случай)

Обозначим узлы анализа следующим образом:

$$A^i = \{a_1^i, a_2^i, \dots, a_j^i, \dots, a_m^i\}.$$

Узлы в сечениях располагаются в соответствии с рис. 3, б, на котором показан первый срез газодинамического объекта. Расстояние между узлами определяется по формуле (3).

Алгоритм определения пути следования света в газодинамическом объекте состоит в вычислении кратчайшего по времени прохождения света пути от точки P_1 до каждого из узлов сечения A^n .

На первом шаге алгоритма берем множество узлов A^1 и определяем время T_j^1 распространения света от точки P_1 до каждого из узлов этого множества.

Получаем множество $T^1 = \{T_1^1, T_2^1, \dots, T_j^1, \dots, T_m^1\}$.

На следующем этапе берем множество узлов A^2 и определяем для каждого из узлов этого множества время распространения света от точки P_1 по пути, проложенном через каждый из узлов множества A^1 . Для каждого j -го узла множества A^2 получаем множество $t^2 = \{t_1^2, t_2^2, \dots, t_q^2, \dots, t_m^2\}$. Поскольку величины t_q весьма малы, то для изменения их масштаба введем коэффициент c , равный скорости распространения света в вакууме. Тогда

$$t_q = t \cdot c, \quad (4)$$

где t – время распространения света между соответствующими узлами сечений.

Таким образом,

$$t_q^2 = T_j^1 + a_j^1 a_q^2 \cdot n_{temp},$$

или, в общем случае, для i -го слоя

$$t_q^i = T_j^{i-1} + a_j^{i-1} a_q^i \cdot n_{temp}, \quad (5)$$

где $a_j^{i-1} a_q^i$ – расстояние между соответствующими узлами текущего и предыдущего слоя;

T_j^{i-1} – кратчайшее время распространения света

от точки P_1 до узла a_j^{i-1} ;

n_{temp} – коэффициент преломления света в газодинамическом объекте, соответствующий пути между узлами a_j^{i-1} и a_q^i . Один из способов вычисления n_{temp} – это линейная интерполяция между показателями преломления света в узлах a_j^{i-1} и a_q^i .

Затем ищем минимум в полученном множестве t^i . Путь, соответствующий минимальной величине t_i для q -го узла фиксируем как путь следования света от точки P_1 до узла a_q^i :

$$T_q^i = \min\{t^i\}. \quad (6)$$

Таким образом, определяем наименьший по времени путь распространения света от точки P_1 до каждого из узлов множества A^i . В итоге получаем множество T^i .

Аналогичные вычисления проводим для всех оставшихся множеств A^i . Последним шагом алгоритма является анализ путей распространения света от точки P_1 до узлов множества A^n и нахождения пути, время распространения для которого наименьшее

$$S = \min\{T^n\}. \quad (7)$$

Этот путь и будет являться путем следования света в газодинамическом объекте.

Из соотношений (2 – 7) следует большой объем вычислительных затрат при определении следования света в газодинамическом объекте. Поэтому этот метод сложно реализуется в системах визуализации реального времени. В то же время достоинством данного метода является высокое физическое соответствие процессам, протекающим в газодинамическом объекте, что позволяет его рекомендовать для визуализации газодинамических явлений при решении научно-исследовательских задач.

Выводы

1. Предложен метод определения пути следования света в газодинамическом объекте на базе корпускулярной теории света.

2. Определены пространственные границы области, внутри которой распространяется свет при прохождении через газодинамический объект, что существенно уменьшает объем вычислений при реализации данного метода.

3. Определены величины дискретизации параметра h и расстояния между узлами в сечениях A^i , оптимальные как с точки зрения аппаратных затрат, так и с точки зрения точности вычислений, проводимых в соответствии с алгоритмом.

4. Данный метод определения пути следования света в газодинамическом объекте может быть рекомендован для визуализации газодинамических явлений при решении научно-исследовательских задач.

Литература

1. Foley J.D., Van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F. Computer Graphics (principles and practice). – Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1996. – 1175 p.

2. Майкл Тодд Петерсон. Эффективная работа в 3D Studio Max2. – СПб.: Питер, 1999. – 650 с.

3. Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Беседы о преломлении света / Под ред. В.А. Фабриканта. – М.: Наука, 1982. – 176 с.

4. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. – М.: Наука, 1982. – 500 с.

5. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод «крупных частиц» для задач газовой динамики // Инф. бюл. СО АН СССР "Численные методы механики сплошной среды". – 1970. – Т. 1. – С. 27 – 33.

6. Виноградов А.К., Макаров А.А. Проективные преобразования телевизионного изображения для формирования видеоэффектов // Техника средств связи. Серия «Техника телевидения». – 1986. – Вып. 4. – С. 11-16.

7. Гусятин В.М. Математическая модель геометрических преобразований для спецпроцессоров растровой графики // Радиотехника и информатика. – 1997. – № 1. – С. 86-87.

8. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебн. пос. для вузов. – М.: Высш. шк., 1981. – 400 с.

Поступила в редакцию 13.12.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.