

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК 681.323

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ НЕНАПРАВЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С УЧЕТОМ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

ГУСЯТИН В.М., БУГРИЙ А.Н.

Предлагается модель расчета освещенности рассеяния, создаваемой ненаправленным источником света на экране с учетом атмосферных условий, позволяющая синтезировать реалистичные изображения источников света в условиях тумана.

1. Актуальность задачи

При проектировании систем визуализации тренажеров транспортных средств разработчику необходимо формировать реалистичные изображения. При этом часто возникает задача синтеза изображения источников света (ИС) с учетом свойств атмосферы. Создание такой математической модели является актуальным. Её решение позволит адекватно отображать различные световые эффекты, что особенно важно при отработке на тренажерах таких упражнений, как взлет-посадка в ночных условиях и в условиях плохой видимости.

2. Постановка задачи

Необходимо синтезировать изображение ненаправленного ИС с учетом свойств атмосферы. Свет, излучаемый ИС, на пути к наблюдателю частично поглощается молекулами воздуха и взвешенными в нем жидкими и твердыми частицами (водяными каплями, кристаллами льда, пылинками и т.п.) и рассеивается на них. В нашей задаче рассматривается рассеивание света туманом. В этом случае атмосферу представляют как совокупность взвешенных прозрачных сферических частиц (капель воды) со средним радиусом a и расстоянием d между ними [4]. Значения a и d однозначно связаны с метеорологической дальностью видимости [2,4]. На расстоянии L от наблюдателя расположен ИС, который представляет собой сферу радиусом R , равномерно излучающую во все направления свет силой $I_{ИС}$. Световой поток, излучаемый ИС, рассеивается на взвешенных частицах. Благодаря рассеянию света некоторый слой

атмосферы приобретает в любом направлении от центра ИС определенную яркость. Видимость слоя атмосферы обуславливается освещенностью рассеяния E_p , создаваемой на пикселах экрана. Найденная освещенность позволит должным образом синтезировать изображения на экране.

3. Математическая модель

Воспользуемся математической моделью геометрических преобразований, изложенной в [1]. На рис. 1 представлены геометрические элементы задачи. Показаны центр проекции h , экран и ИС.

Решаемая задача является симметричной. Её симметричность заключается в том, что для всех проекционных лучей (ПЛ), которые расположены под углом ξ относительно направления на ИС, освещенность, создаваемая на экране, будет одинаковой. Поэтому для синтеза всего изображения достаточно найти зависимость освещенности от угла между ПЛ и направлением на ИС.

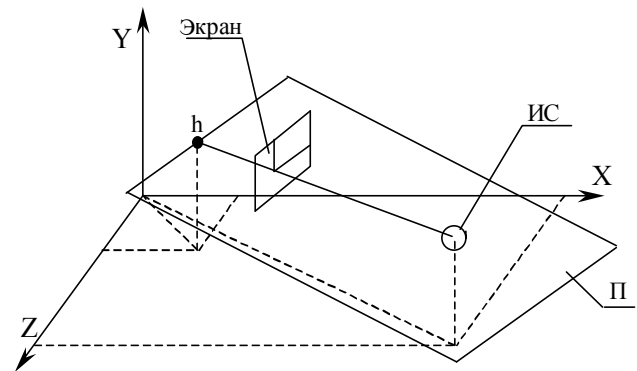


Рис. 1

Выделим плоскость Π , проходящую через центр проекции h и центр ИС. Для определенности ориентацию плоскости в пространстве выберем таким образом, чтобы она пересекала экран параллельно строке пикселей. Найдем освещенность E_p , создаваемую слоем атмосферы на экране для каждого ПЛ, находящегося в данной плоскости. На рис. 2 показана геометрическая модель определения зависимости освещенности от угла между направлением на ИС и ПЛ.

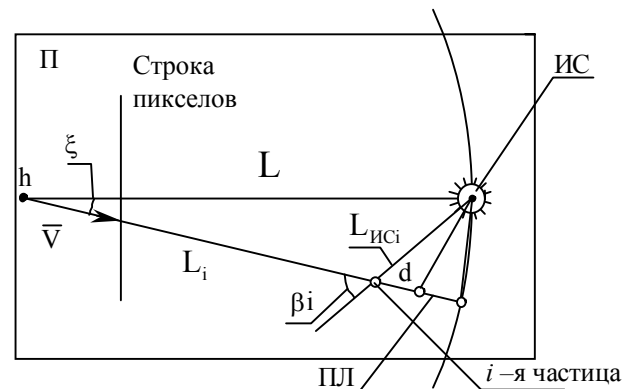


Рис. 2

Для определения E_p необходимо суммировать освещенности E_i , создаваемые каждой принадлежащей ПЛ частицей на экране:

$$E_p = \sum_{i=0}^n E_i, \quad (1)$$

где $n = \lfloor (L - |\vec{V}|) / d \rfloor$ – количество частиц, принадлежащих ПЛ; $\lfloor \cdot \rfloor$ – функция выделения целой части числа с округлением в сторону меньшего; $|\vec{V}|$ – модуль вектора наблюдения [1].

Для упрощения расчетов ограничим ПЛ окружностью радиусом, равным L , с центром в точке h . Такое ограничение возможно потому, что частицы, находящиеся за пределами окружности, рассеивают в сторону центра проекции менее 3,6% попавшего на них светового потока [4]. Таким образом, будем учитывать только те частицы, которые принадлежат внутренней области окружности. ПЛ в [1] представляет собой математический луч, проходящий через центр пиксела. В таком случае он не учитывает все взвешенные частицы слоя атмосферы. Построим вокруг ПЛ пирамиду с вершиной в центре проекции и ребрами, проходящими через угловые точки пиксела экрана, как показано на рис. 3.

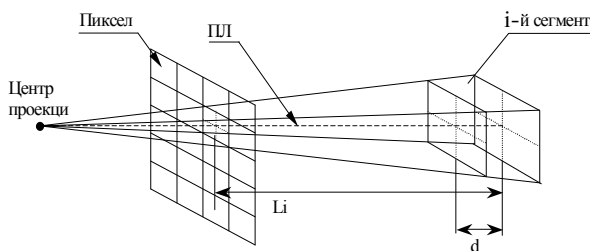


Рис. 3

Для определения E_p необходимо учитывать все частицы, которые попали в пирамиду. Разобьем ее на сегменты плоскостями, параллельными экрану с шагом d . Для каждого i -го сегмента (аналогично i -й частице) определим количество взвешенных частиц N_i , которые могут в нем поместиться:

$$N_i = \left(\left\lfloor \frac{(L - d \cdot i) \cdot \delta_{\text{П}}}{|\vec{V}| \cdot d} \right\rfloor + 1 \right)^2,$$

где $\delta_{\text{П}}$ – линейный размер пиксела (ширина или высота, считаем, что пиксел квадратный); $\lfloor \cdot \rfloor$ – функция выделения целой части числа с округлением в сторону меньшего.

Учитывая сказанное выше, n для соотношения (1) теперь определяем как количество сегментов пирамиды, принадлежащей ПЛ.

E_i определяется из соотношения [2]:

$$E_i = N_i \frac{I_i}{L_i^2} e^{-\alpha L_i}. \quad (2)$$

Здесь I_i – интенсивность света, рассеянного i -й частицей в направлении центра проекции; $L_i = L - |\vec{V}| - d \cdot i$ – расстояние между i -й плоскостью и пикселом, принадлежащим ПЛ; $e^{-\alpha L_i}$ – показатель ослабления светового потока. В дальнейшем, для упрощения счета, вместо $e^{-\alpha L_i}$ будем

$$\frac{L_i}{2^{l_0}}$$

использовать 2^{-l_0} [3]. Значения L_i и I_i примем для каждой взвешенной частицы сегмента одинаковые, посчитанные для частицы, принадлежащей точке пересечения ПЛ и задней плоскости, которая ограничивает сегмент пирамиды.

Для определения I_i используем понятие индикатрисы рассеяния (ИР). Свет рассеивается на взвешенных частицах (каплях), которые ничем не отличаются от маленьких сферических линз. ИР показывает, как распределяется рассеянный свет по углам рассеяния. Согласно [4] для частиц, имеющих место в данной задаче, можно использовать ИР, рассчитанную по методу геометрической оптики.

Интенсивность света, рассеянного частицей в направлении наблюдателя, определяется из соотношения [4]:

$$I_i = \frac{a^2}{4L_{\text{ИС}i}^2} I_0 \frac{\tau(\beta_i)}{2}, \quad (3)$$

здесь a – радиус частицы; I_0 – интенсивность света, падающего на частицу; τ – геометрическая индикатриса рассеяния; β_i – угол между ПЛ и вектором, направленным из ИС к i -й частице; $L_{\text{ИС}i}$ – расстояние между ИС и частицей. Анализ показывает, что β_i связан с углом ξ следующим

соотношением: $\beta_i = \xi + \arctg\left(\frac{(L - d \cdot i) \cdot \sin \xi}{L - (L - d \cdot i) \cdot \cos \xi}\right)$.

Значение $L_{\text{ИС}i}$ определяется из соотношения:

$$L_{\text{ИС}i} = \sqrt{L^2 + (L - d \cdot i)^2 - 2L(L - d \cdot i) \cos \xi}.$$

В (3) I_0 – интенсивность ИС с учетом затухания на пути от источника света до частицы. I_0 определим в соответствии с [3] следующим образом:

$$I_0 = I_{\text{ИС}} \cdot 2^{-\frac{L_{\text{ИС}i}}{l_0}}, \quad (4)$$

здесь $I_{\text{ИС}}$ – сила света источника; $L_{\text{ИС}i}$ – расстояние между ИС и частицей.

Подставив (4) в (3), а (3) в (2), получим:

$$E_i = N_i \frac{a^2 I_{\text{ИС}} \tau(\beta_i)}{8 \cdot L_i^2 \cdot L_{\text{ИС}i}^2} 2^{-\frac{(L_i + L_{\text{ИС}i})}{l_0}}.$$

Окончательно получим:

$$E_p = \sum_{i=0}^n N_i \frac{a^2 I_{\text{ИС}} \tau(\beta_i)}{8 \cdot L_i^2 \cdot L_{\text{ИС}i}^2} 2^{-\frac{(L_i + L_{\text{ИС}i})}{l_0}},$$

или с учетом всех подстановок:

$$E_p = \sum_{i=0}^{[(L-L_{II})/d]} \left(\left[\frac{(L-d \cdot i) \delta_{II}}{|\bar{V}| \cdot d} \right] + 1 \right)^2 \cdot \frac{a^2 I_{ис}}{8 \cdot L_i^2 \cdot L_{исi}^2} \times$$

$$\times \left(\xi + \arctg \left(\frac{L_i \cdot \sin \xi}{L - L_i \cdot \cos \xi} \right) \right) \cdot 2 \cdot \frac{L_i + \sqrt{L^2 + L_i^2 - 2LL_i \cos \xi}}{l_0}$$

4. Результаты

Полученное соотношение для E_p при синтезе изображения ненаправленного источника света позволит отображать эффекты рассеяния света в атмосфере с учетом заданных количественных значений параметров тумана. Такой подход повышает соответствие синтезируемого изображения реалиям внешней обстановки в сложных метеоусловиях, что является обязательным требованием при проектировании систем визуализации тренажеров транспортных средств различного назначения.

УДК 621.3.049:681.3

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАССИРОВКА СОЕДИНЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

АЛИПОВ Н.В., ЛИТВИНОВА Е.И.

Описывается новая топологическая модель многослойной печатной платы, выполняющая топологическую и геометрическую трассировку совместно. Модель позволяет уменьшить длину трассы, количество переходных отверстий и улучшить качество топологического рисунка.

Известно, что достаточно большой класс задач можно решать геометрически либо алгебраически (топологически).

При трассировке соединений в многослойных печатных платах (МПП) первоначально использовался геометрический подход. Однако ему присущ главный недостаток — он не позволяет корректировать решение в процессе трассировки очередного соединения (на его основе не могут быть созданы так называемые «гибкие» алгоритмы трассировки).

К настоящему времени известно несколько топологических моделей МПП. В работе [1] описана модель, ориентированная на то, что элементы, установленные на МПП, — одногабаритные. Этот недостаток значительно ограничивает область использования модели. В работе [2] была предложена модификация модели [1]. Она позволила теоретически выполнять трассировку соединений в МПП для разногабаритных элементов. Однако в ней построение крупнодискретного рабочего поля выполнялось вручную. Этот недостаток значительно

Литература: 1. Гусятин В.М. Математическая модель геометрических преобразований для спецпроцессоров растровой графики // Радиоэлектроника и информатика. 1997. №1. С.86-87. 2. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. Ленинград: Гидрометеоздат, 1966. 3. Гусятин В.М., Остроушко А.П. Математическая модель и алгоритм обработки метеоусловий для систем визуализации // АСУ и приборы автоматики. 1999. Вып. 111. С. 9-14. 4. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. Гостехиздат, 1951.

Поступила в редколлегию 24.09.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Руденко О.Г.

Гусятин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: теория и практика построения спецпроцессоров растровых графических систем реального времени. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-54, 66-61-22.

Бугрий Андрей Николаевич, аспирант кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-54.

увеличивал время на подготовку входных данных для трассировки.

В дальнейшем в работе [3] была предложена новая топологическая модель, лишенная указанных недостатков. Однако она позволяла реализовать трассировку соединений МПП в два этапа: на первом этапе выполнялась макротрассировка (топологическая), а на втором — микротрассировка (геометрическая).

При таком подходе могли возникать конфликтные ситуации: на топологическом уровне трассировка выполнялась, а на геометрическом возникали пересечения отдельных фрагментов трасс.

Вданной статье описывается модель, которая позволяет реализовать топологическую и геометрическую трассировку параллельно (одновременно).

Основой такой модели является крупнодискретное рабочее поле (КДРП), представляющее собой совокупность макродискретов. Эта совокупность получается с помощью продолжений линий, определяющих стороны прямоугольников, описанных вокруг установочных мест. Такие линии проводятся до пересечения их с границами печатной платы.

Каждый дискрет КДРП отображается совокупностью четырех упорядоченных подмножеств L_{α_j} ($j = 1, 4$) и двух двумерных массивов L_{α_5} , L_{α_6} , причем $|L_{\alpha_1}| = |L_{\alpha_2}| = \rho_1$; $|L_{\alpha_3}| = |L_{\alpha_4}| = \rho_2$, где ρ_1 и ρ_2 — пропускные способности каналов в горизонтальном и вертикальном направлениях.

В подмножествах $L_{\alpha_1}, L_{\alpha_2}, L_{\alpha_3}, L_{\alpha_4}$ будем записывать номера трасс, проходящих соответственно через левую, правую, нижнюю и верхнюю стороны дискрета. Между магистралями дискрета D_{α} и позициями подмножеств L_{α_j} зададим взаимно-