

УДК 629.735

В.М. ГУСЯТИН, Я.В. ЧАГОВЕЦ, Д.Г. КОЖУШКО

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

МЕТОД РАСЧЕТА ЦВЕТА ПРОЕКЦИИ ПИКСЕЛЯ В ЗАДАЧАХ НАНЕСЕНИЯ ТЕКСТУР, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НЕПОЛНЫМ КВАТЕРНАРНЫМ ДЕРЕВОМ

Предложен метод расчета цвета проекции пикселя в задачах нанесения текстур при синтезе 3D изображений методом обратного трассирования. С целью упрощения расчетов проекцию пикселя предлагается аппроксимировать набором прямоугольников (фрагментов). Предложен высокопроизводительный алгоритм расчета взвешенного цвета таких фрагментов с проходом по неполному кватернарному дереву текстур. Сумма взвешенных цветов таких фрагментов формирует интегральный цвет проекции пикселя. Расчет интегрального цвета пикселя позволяет устранить алиасинг при синтезе 3D изображений.

Ключевые слова: текстура, проекция пикселя, фрагмент, взвешенный цвет, неполное кватернарное дерево, система координат, классификационный квадрат

Введение

Данная статья является продолжением [1, 2]. В статье [1] авторов предлагаются древовидные форматы упаковки векторных текстур, которые, с одной стороны, позволяют уменьшить объемы памяти, а с другой стороны, позволяют отображать текстуры без предварительной распаковки в реальном времени. Текстура в формате [1] представляет собой кватернарное дерево (КД), англ. quadtree [3, 4]. Существуют две разновидности кватернарного дерева: полное и неполное [1]. Неполное кватернарное дерево целесообразно применять, когда текстура имеет неравномерное распределение детализации (векторные с произвольными линиями раздела, векторные простые неравномерные [1]), что позволяет существенно сократить объемы памяти [1, 5].

Ключевым понятием при рассмотрении алгоритмов прохода по дереву подготовленных текстур является так называемый классификационный квадрат (КК) [1].

Классификационный квадрат – это область текстуры, имеющая форму квадрата, которая, в свою очередь, может делиться на четыре КК меньшего размера. В конечном итоге КД текстуры состоит из конечного множества КК [1]. Такие форматы текстур ориентированы на метод устранения алиасинга, рассмотренный в статье [2] авторов. В статье [2] с целью упрощения расчета интегрального цвета проекции пикселя предлагается аппроксимировать реальную форму проекцию пикселя набором прямоугольников, стороны которых параллельны системе координат (с/к) текстуры. Такие прямоугольники были названы *фрагментами* [2].

В данной статье излагается метод расчета цвета проекции пикселя как суммы взвешенных цветов фрагментов, предлагается высокопроизводительный алгоритм расчета взвешенного цвета таких фрагментов с проходом по неполному дереву подготовленных текстур в формате [1].

1. Расчет взвешенного цвета фрагмента с проходом по неполному кватернарному дереву текстур**1.1. Общие соотношения**

Исходными данными для расчета являются координаты вершин фрагмента [2] в с/к текстуры, номер максимального уровня k прохода по дереву текстур, единичная векторная текстура, представленная в виде неполного КД в формате [1]. Общим подходом для реализации алгоритма прохода по неполному КД является анализ соотношений расположения КК и фрагмента [6, 7], однако такой подход неэффективен, так как количество таких соотношений (для случая большого количества уровней КД) велико. Предлагается подход, позволяющий сократить объем вычислений при проходе по неполному дереву подготовленных текстур.

1.2. Анализ взаимного расположения КК и фрагмента

Алгоритм расчета взвешенного цвета фрагмента с проходом по неполному КД можно записать в виде рекурсивной функции. На каждом шаге рекурсии КК соответствующего уровня дерева разбивается на четыре дочерних КК. Ключевой задачей для

данного алгоритма является определение вариантов взаимного расположения на плоскости таких дочерних КК и фрагмента. Для решения этой задачи перейдем к одномерному случаю, рассмотрим взаимное расположение проекций фрагмента и КК на ось OX_T и OZ_T .

В нашем случае интервалы КК и фрагментов, на которых они задаются, являются *полуоткрытыми* (они включают в себя левую и нижнюю стороны и не включают правую и верхнюю). Поэтому их проекции на каждую из осей представляют собой также полуоткрытые интервалы (далее – *полуинтервалы*). Обозначим полуинтервал фрагмента в виде объекта i_F , а полуинтервал КК в виде объекта i_{KK} с полями соответственно $low[i_F]$, $low[i_{KK}]$ (левый, или нижний, конец полуинтервала (рис. 1, а)) и $high[i_F]$, $high[i_{KK}]$ (правый, или верхний, конец полуинтервала (рис. 1, а)).

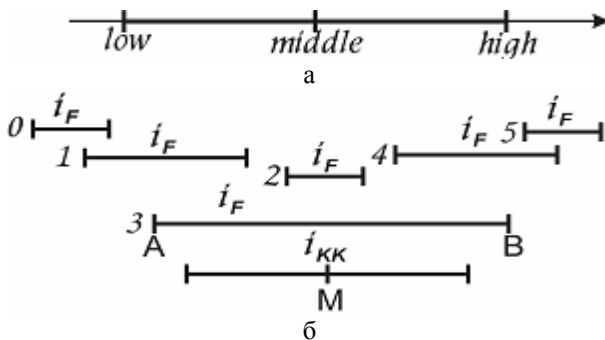


Рис. 1. Варианты расположения фрагмента относительно КК по одной из осей.

При этом возможны шесть вариантов $V_{F,KK} \in [0,5]$ взаимного расположения i_F и i_{KK} (рис. 1, б). Обозначим через $middle[i_{KK}]$ середину полуинтервала i_{KK} .

Рассмотрим два дочерних полуинтервала

$$i_{low} = [low[i_{KK}], middle[i_{KK}]]$$

и
$$i_{high} = [middle[i_{KK}], high[i_{KK}]]$$

как проекции дочерних КК на одну из осей. Проанализировав варианты $V_{F,KK}$, значения полей $low[i_F]$, $high[i_F]$ и $middle[i_{KK}]$, составим два графа перехода из $V_{F,KK}$ в варианты взаимного расположения фрагмента и дочерних КК $V_{F,low} \in [0,5]$ (рис. 2, а) и $V_{F,high} \in [0,5]$ (рис. 2, б) по одной из осей.

Анализ вариантов $V_{F,low}$ и $V_{F,high}$ по оси координат текстуры OX_T и OZ_T (в дальнейшем по тексту $V_{low}^x, V_{high}^x, V_{low}^z, V_{high}^z$) на каждом шаге ал-

горитма позволяет определить вариант взаимного расположения фрагмента и каждого из четырех дочерних КК на плоскости. Соответствие вариантов дочерним КК на плоскости приведено на рис. 3.

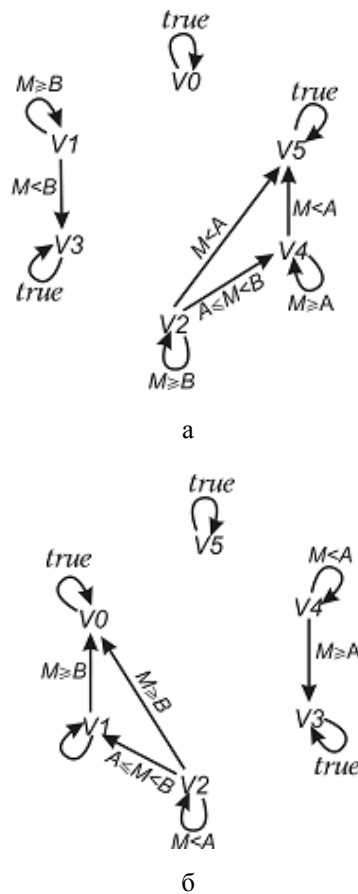


Рис. 2. Граф переходов

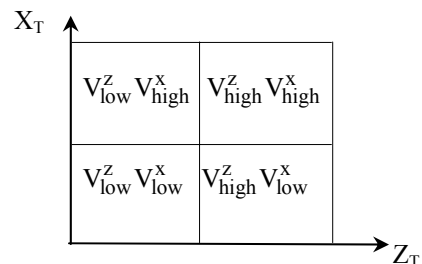


Рис. 3. Соответствие вариантов взаимного расположения фрагмента и дочерних КК на плоскости

1.3. Проход по неполному КД текстур

На этапе инициализации алгоритма определяются левая нижняя $P_F^{\min} = \{X_F^{\min}, Z_F^{\min}\}$ и правая верхняя $P_F^{\max} = \{X_F^{\max}, Z_F^{\max}\}$ вершины фрагмента. По соотношению (1) вычисляются начальные варианты V_{init}^x, V_{init}^z взаимного расположения фрагмента и единичного КК первого уровня дерева по оси OX_T и OZ_T соответственно.

$$\begin{aligned} V_{init}^x &= F_{init}^V(X_F^{\min}, X_F^{\max}), \\ V_{init}^z &= F_{init}^V(Z_F^{\min}, Z_F^{\max}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $F_{init}^V(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{if } B < 0, \\ 1, & \text{if } A < 0, 0 \leq B < 1, \\ 2, & \text{if } A < 0, B \geq 1, \\ 3, & \text{if } A \geq 0, B < 1, \\ 4, & \text{if } 0 \leq A < 1, B \geq 1, \\ 5, & \text{if } A \geq 1. \end{cases} \quad (2)$

На втором этапе выполняем рекурсивный проход по неполному КД.

Входными данными для каждого шага этого алгоритма прохода являются: КК в нормированных двумерных координатах (задается левой нижней $P_{KK}^{\min} \in [0, 1]^2$ и правой верхней $P_{KK}^{\max} \in [0, 1]^2$ вершинами), i – номер текущего уровня дерева (уровня рекурсии), индекс КК в текущем уровне дерева [1], вариант взаимного расположения фрагмента и КК на плоскости V_i^x, V_i^z , рассчитанный на предыдущем уровне рекурсии. Каждый шаг рекурсии содержит в себе этапы:

Этап 1. КК разбивается на четыре дочерних (см. рис. 3). По соотношениям (3 – 6) определяются варианты $V_{low}^x, V_{high}^x, V_{low}^z, V_{high}^z$ взаимного расположения фрагмента и дочерних КК (рис. 3) на текущем уровне дерева.

$$V_{low}^x = F_{low}^V(X_F^{\min}, X_F^{\max}, X_{KK}^{\text{middle}}, V_i^x); \quad (3)$$

$$V_{high}^x = F_{high}^V(X_F^{\min}, X_F^{\max}, X_{KK}^{\text{middle}}, V_i^x); \quad (4)$$

$$V_{low}^z = F_{low}^V(Z_F^{\min}, Z_F^{\max}, Z_{KK}^{\text{middle}}, V_i^z); \quad (5)$$

$$V_{high}^z = F_{high}^V(Z_F^{\min}, Z_F^{\max}, Z_{KK}^{\text{middle}}, V_i^z); \quad (6)$$

$$F_{low}^V(A, B, M, V) = \begin{cases} 0, & \text{if } V = 0, \\ 1, & \text{if } V = 1, M \geq B, \\ 3, & \text{if } V = 1, M < B, \\ 2, & \text{if } V = 2, M \geq B, \\ 4, & \text{if } V = 2, A \leq M < B, \\ 5, & \text{if } V = 2, M < A, \\ 3, & \text{if } V = 3, \\ 4, & \text{if } V = 4, M \geq A, \\ 5, & \text{if } V = 4, M < A, \\ 5, & \text{if } V = 5. \end{cases} \quad (7)$$

Функции (7, 8) представляют запись графов (рис. 2, а, б) в виде кусочно-заданной функции, где $X_{KK}^{\min}, Z_{KK}^{\min}$ – координаты левой нижней вершины КК; $X_{KK}^{\max}, Z_{KK}^{\max}$ – координаты правой верхней вершины КК;

$$X_{KK}^{\text{middle}} = \frac{X_{KK}^{\max} + X_{KK}^{\min}}{2}, \quad Z_{KK}^{\text{middle}} = \frac{Z_{KK}^{\max} + Z_{KK}^{\min}}{2} -$$

координаты центра КК.

$$F_{high}^V(A, B, M, V) = \begin{cases} 0, & \text{if } V = 0, \\ 0, & \text{if } V = 1, M \geq B, \\ 1, & \text{if } V = 1, M < B, \\ 2, & \text{if } V = 2, M < A, \\ 0, & \text{if } V = 2, M \geq B, \\ 1, & \text{if } V = 2, A \leq M < B, \\ 3, & \text{if } V = 3, \\ 4, & \text{if } V = 4, M < A, \\ 3, & \text{if } V = 4, M \geq A, \\ 5, & \text{if } V = 5. \end{cases} \quad (8)$$

Этап 2. На основании рассчитанных вариантов по каждой из осей Ox_T, Oz_T выполняется анализ взаимного расположения дочерних КК текущего уровня дерева и фрагмента. При этом производится последовательная проверка таких случаев:

– значения двух вариантов, соответствующих дочернему КК (рис. 3), равны 3 (дочерний КК попадает внутрь фрагмента). Вычисляется взвешенный цвет [2] такого дочернего КК:

$$C_{дкк}^* = C_{дкк} \cdot S_{дкк}, \quad (9)$$

где $S_{дкк} = 2^{-2i}$ – площадь дочернего КК на текущем уровне рекурсии; $C_{дкк}$ – цвет дочернего КК текстуры в формате [1];

– значение хотя бы одного варианта, соответствующего дочернему КК, равно 0 или 5 (дочерний КК не пересекает фрагмент). Данный дочерний КК отбрасывается;

– достигнут максимальный уровень прохода по дереву ($i=k$) или текущий дочерний КК является терминальным. Вычисляется взвешенный цвет:

$$C_{дкк}^* = C_{дкк} \cdot S_{дкк}^{\text{cross}}, \quad (10)$$

где $S_{дкк}^{\text{cross}}$ – площадь области пересечения дочернего КК и фрагмента;

– не достигнут максимальный уровень прохода по дереву текстур ($i < k$) и текущий дочерний КК не является терминальным. Для данного дочернего КК производится переход на следующий уровень дерева (следующий шаг рекурсии пункты 1-2).

Этап 3. На всех шагах рекурсии производится накапливающее суммирование рассчитанных взвешенных цветов $C_{дкк}^*$ по соотношениям (9, 10).

Сумма взвешенных цветов таких фрагментов определяет цвет проекции пикселя.

Заключення

Предложен высокопроизводительный алгоритм расчета взвешенного цвета фрагмента с проходом по неполному КД.

Предложенный алгоритм позволяет рассчитывать взвешенный цвет фрагмента с проходом по дереву текстур в формате [1] без распаковки в реальном масштабе времени.

Расчет взвешенных цветов фрагментов проекции пикселя позволяет получить интегральный цвет проекции пикселя [2].

Расчет интегрального цвета проекции пикселя позволяет устранить эффект алиасинга при нанесении текстур на 3D объекты в методе обратного трассирования.

Литература

1. Гусятин В.М. Упаковка векторных текстур в задачах синтеза изображений для систем визуализации / В.М. Гусятин, Я.В. Чаговец, Д.Г. Кожушко // *Вісник НТУ "ХПИ" Інформатика і моделювання*. – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – №56. – С. 9-16.

2. Гусятин В.М. Метод нанесения векторных и растровых текстур при синтезе изображения обратным трассированием лучей / В.М. Гусятин, Я.В. Чаговец, Д.Г. Кожушко // *Проблеми інформатики і моделювання: матеріали п'ятої міжнародної наук.-техн. конференції*. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – №39. – С. 36-43.

3. Samet H. *Hierarchical Data Structures and Algorithms for Computer Graphics, Part I: Fundamentals* / H. Samet, R. Webber // *CG&A*. – 1988. – Vol. 8. – P. 48-68.

4. Horbelt S. *Texture Mapping by Successive Refinement Proceedings* / S. Horbelt, P. Th'evenaz, M. Unser // *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'00)*. – 2000. – Vol. 2. – P. 307-310.

5. Hwa L.M. Joy. *Adaptive 4-8 texture hierarchies* / L.M. Hwa, M.A. Duchaineau // *Proc. Visualization*. – 2004. – Vol. 3. – P. 219-226.

6. Кормен Т. *Алгоритмы: построение и анализ* / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест // М.: МЦНМО. – 2001. – 960 с.

7. Samet H. *The quadtree and related hierarchical data structures* / H. Samet // *ACM. Computing Surveys*. – 1984. – Vol. 16. – P. 187-260.

Поступила в редакцию 25.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЛЬОРУ ПРОЕКЦІЇ ПІКСЕЛЯ В ЗАДАЧАХ НАНЕСЕННЯ ТЕКСТУР, НАДАНИХ НЕПОВНИМ КВАТЕРНАРНИМ ДЕРЕВОМ

В.М. Гусятин, Я.В. Чаговец, Д.Г. Кожушко

Запропоновано метод розрахунку кольору проекції пикселя в задачах нанесення текстур при синтезі 3D зображень методом зворотного трасування. З метою спрощення розрахунків проекція пикселя апроксимується набором прямокутників (фрагментів). Запропоновано високопродуктивний алгоритм розрахунку зваженого кольору таких фрагментів з проходженням по неповному кватернарному дереву текстур. Сума зважених кольорів таких фрагментів формує колір проекції пикселя.

Ключові слова: текстура, проекція пикселя, фрагмент, зважений колір, неповне кватернарне дерево.

METHOD FOR CALCULATION OF PIXEL PROJECTION COLOR IN TEXTURE MAPPING TASKS USING INCOMPLETE QUAD-TREE

V.M. Gusyatin, Y.V. Chagovets, D.G. Kozhushko

We propose the method for calculating the projection pixel color in the texture mapping tasks during the rendering of 3D images by ray-tracing method. In order to simplify the calculations we propose to approximate pixel projection by the set of rectangles (fragments). High-performance algorithm for the calculation of weighted color of fragments is proposed for incomplete quad-tree textures. The amount of weighted colors of such fragments form color of pixel projection.

Key words: texture, pixel projection, fragment, weighted color, incomplete quad-tree.

Гусятин Владимир Михайлович – канд. техн. наук, доцент, проф. кафедры Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: V.Gusyatin@gmail.com.

Чаговец Ярослав Васильевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: y112@gmail.com.

Кожушко Дмитрий Геннадиевич – аспирант Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: D.Kozhushko@gmail.com.