

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 629.7.058.74 : 681.3.06

Н. В. Котов, В. В. Курочкин, С. В. Перебейнос
(Новосибирск)

К ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОДНОГО ИЗ АЛГОРИТМОВ
СИНТЕЗА ФИЛЬТРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Получены соотношения для оценки предельной производительности систем синтеза визуальной обстановки, использующих алгоритмы фильтрации и проецирования изображений с аналитическим представлением ребер граней. Приведены графики, на которых показана зависимость среднего количества граней на каждый пиксел экрана от производительности, изменяющейся в широком диапазоне.

Производительность систем синтеза визуальной обстановки (ССВО) с высоким качеством генерируемой сцены можно оценить по общей методике [1]. Однако ее применение для анализа алгоритмов синтеза изображений [2], в которых ребра многоугольников задаются в виде прямых направленных линий $Ax + By + C = 0$, требует уточнения основных соотношений.

В таких алгоритмах каждое аналитически заданное ребро делит экран на две полуплоскости: области положительных и отрицательных значений заданной функции. Области с одноименными знаками ограничивают площадь каждого многоугольника сцены. Если уравнения прямых нормализованы, то для каждого центра пиксела можно вычислить расстояние d до прямых, совпадающих с ребрами многоугольников [2, 3]. Условием пересечения фильтра, имеющего круглое основание диаметром α , с ребром грани является $|d| \leq \alpha/2$. Выполнение этого условия при проецировании многоугольников на растр эквивалентно сдвигу каждого ребра грани на величину $\alpha/2$:

$$A_n x + B_n y + C_n + \alpha/2 = 0,$$

где A_n , B_n и C_n — коэффициенты нормализованных уравнений ребер. Отсюда следует, что при проецировании многоугольников на телевизионный растр их площади расширяются с учетом апертуры фильтра, т. е. в углах таких многоугольников образуются дополнительные площади.

В предлагаемой работе получены соотношения для оценок производительности алгоритмов синтеза изображений, в которых ребра граней заданы аналитически, а в углах фильтрованных граней учтены полные площади, ограниченные прямыми направленными линиями ребер. Эти соотношения дают предельное значение производительности, которое достигается при равенстве площадей всех многоугольников в синтезированном изображении. Полученные результаты сравниваются с данными, приведенными в [1]. Анализ выполнен для двух наиболее распространенных типов фильтров: с круглым и квадратным основаниями [4, 5].

Фильтр с круглым основанием расширяет каждый многоугольник сцены для рассматриваемого алгоритма синтеза, как показано на рис. 1, а. Полная площадь, которая подвергается дискретизации, состоит из площади 1 многоугольника, равной величине S , площади 2 на его ребрах, площади 3 апертуры фильтра, а также дополнительной площади 4 в углах многоугольника. Пло-

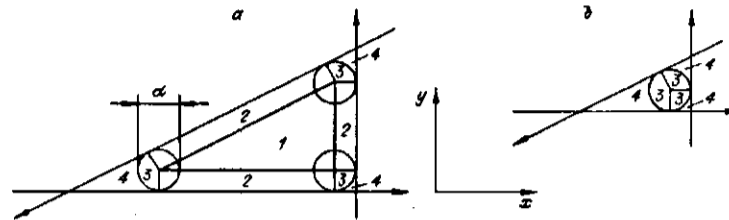


Рис. 1

щади 3 и 4, собранные вместе (рис. 1, б), образуют многоугольник периметром L с вписанной в него окружностью апертуры фильтра диаметром α .

Дополнительные площади 4 в углах многоугольника имеют максимальное значение при генерации треугольных граней. В этом случае сумму площадей 3 и 4 можно определить через радиус вписанной в треугольник окружности:

$$S_{\Delta} = \alpha L/4,$$

где L — периметр треугольника, представленного на рис. 1, б. Если периметр L выразить через относительный коэффициент формы генерируемой грани l [1]:

$$L = 2l\sqrt{\pi S_{\Delta}},$$

то площадь S_{Δ} можно представить в виде

$$S_{\Delta} = \pi \alpha^2 l^2 / 4. \quad (1)$$

Искомая дополнительная площадь в углах многоугольника равна разности площадей S_{Δ} и площади вписанного в него круга $\pi \alpha^2 / 4$ и в общем случае для произвольного числа ребер грани равна

$$\Delta S_{\circ} \leq \frac{\pi \alpha^2}{4} (l^2 - 1). \quad (2)$$

Полная площадь многоугольника, расширенная с учетом апертуры круглого фильтра и ограниченная прямыми направленными линиями ребер, равна сумме площади S_{\circ} [1] и величины ΔS_{\circ} :

$$S_{\circ}^* \leq S_{\circ} + \Delta S_{\circ} \leq S + \alpha l \sqrt{\pi S} + \pi \alpha^2 l^2 / 4 = S + \alpha l \sqrt{\pi} (\sqrt{S} + \sqrt{S_{\Delta}} / 2). \quad (3)$$

Если изображение телевизионного кадра содержит F видимых граней, то количество пикселей, накрытых суммарной площадью изображения, составляет:

$$P_{\circ}^* \leq \sum_{i=1}^F S_i + \alpha \sqrt{\pi} \sum_{i=1}^F l_i (\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}} / 2). \quad (4)$$

Умножив и поделив второй член выражения (4) на величину

$$\sum_{i=1}^F (\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}}/2),$$

получим выражение

$$P_{\text{O}}^* \leq \sum_{i=1}^F S_i + \alpha\sqrt{\pi} \frac{\sum_{i=1}^F l_i(\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}}/2)}{\sum_{i=1}^F (\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}}/2)} \left(\sum_{i=1}^F \sqrt{S_i} + \frac{\alpha\sqrt{\pi}}{4} \sum_{i=1}^F l_i \right). \quad (5)$$

В случае предельной производительности исследуемого алгоритма синтеза изображений площади генерируемых многоугольников сцены равны между собой. Отсюда следует, что в выражении (5) отношение

$$\frac{\sum_{i=1}^F l_i(\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}}/2)}{\sum_{i=1}^F (\sqrt{S_i} + \sqrt{S_{\Delta i}}/2)}$$

стремится к величине

$$\frac{\sum_{i=1}^F l_i / \sum_{i=1}^F 1}{\sum_{i=1}^F 1} = \sum_{i=1}^F l_i / F,$$

которая равна среднему коэффициенту формы генерируемой сцены:

$$l_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^F l_i / F. \quad (6)$$

Учитывая [1], что величина $\sum_{i=1}^F S_i$ равна площади синтезированного изображения:

$$\sum_{i=1}^F S_i = S_{\text{общ}}, \quad \text{а} \quad \sum_{i=1}^F \sqrt{S_i} \leq \sqrt{S_{\text{общ}} F},$$

и принимая величину коэффициента l_{cp} соответствующей выражению (6), количество пикселей, накрытых суммарной площадью изображения, можно представить в виде

$$P_{\text{общ}}^* \leq S_{\text{общ}} + \alpha l_{\text{cp}} \sqrt{\pi S_{\text{общ}} F} + \frac{\pi \alpha^2}{4} l_{\text{cp}}^2 F = (\sqrt{S_{\text{общ}}} + \sqrt{S_{\text{общ}}^* F})^2, \quad (7)$$

где $S_{\text{общ}}^* = \pi \alpha^2 l_{\text{cp}}^2 / 4$ — средняя площадь многоугольника, образованного прямыми, параллельными ребрам средней грани, с вписанной в него окружностью апертуры фильтра (см. рис. 1, б).

Если экран содержит m^2 пикселей, то количество граней, приходящихся на каждый пиксел экрана, не превышает величины $n_{\text{O}}^* = P_{\text{O}}^* / m^2$:

$$n_{\text{O}}^* \leq \kappa + \frac{\alpha l_{\text{cp}}}{m} \sqrt{\pi \kappa F} + \frac{\pi \alpha^2}{4 m^2} l_{\text{cp}}^2 F = (\sqrt{\kappa} + \sqrt{\kappa^* F})^2. \quad (8)$$

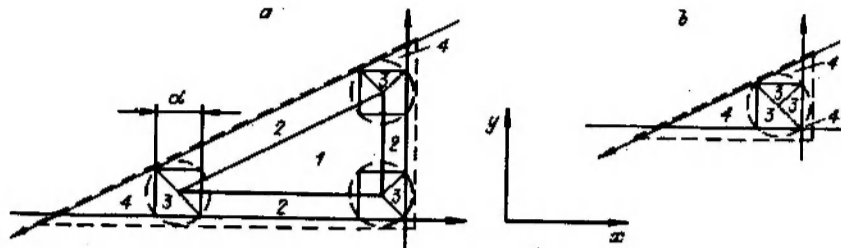


Рис. 2

Здесь $\kappa = \bar{S}_{\text{сцен}} / m^2$ — относительная площадь синтезированного изображения; $\kappa^* = \bar{S}_{\text{сцен}}^* / m^2$ — относительная площадь среднего многоугольника, составленного из площадей в узлах средней генерируемой грани.

Аналогичные соотношения между параметрами сцены и площадью экрана можно получить для фильтра с квадратной апертурой (рис. 2, а). Полная площадь каждого многоугольника при его дискретизации равна сумме составляющих: площади 1 многоугольника, площади 2 на его ребрах, площади 3 апертуры фильтра, равной α^2 , а также дополнительной площади 4 в углах многоугольника. Диаметр окружности, описывающей квадрат, равен $\alpha\sqrt{2}$. На рис. 2, а эта площадь показана штриховыми линиями. Площади 3 и 4, собранные вместе (рис. 2, б), также всегда меньше площади многоугольника с вписанной в него окружностью диаметром $\alpha\sqrt{2}$. С учетом этого можно записать, что количество граней, приходящихся на один пиксел экрана для фильтра с квадратной апертурой, не будет превышать значения n_{\square}^* , полученного из соотношения (8) заменой величины α на $\alpha\sqrt{2}$:

$$n_{\square}^* \leq \kappa + \frac{\alpha l_{\text{ср}} \sqrt{2\pi\kappa F}}{m} + \frac{\pi\alpha^2}{2m^2} i_{\text{ср}}^2 F = (\sqrt{\kappa} + \sqrt{2\kappa^* F})^2. \quad (9)$$

Полученные выражения (8) и (9) для оценки предельной производительности рассматриваемого алгоритма синтеза изображений дают возможность рассчитывать количество вычислительных операций для обработки дополнительных площадей в узлах многоугольников генерируемой сцены.

На рис. 3 сплошные линии — функции $n_{\square}(F)$, приведенные в [1] и полученные для максимального значения среднего коэффициента формы генерируемых сюжетов: $i_{\text{ср}} = 3$, размера экрана $m^2 = 512 \times 512$, апертуры фильтра $\alpha = 1$, относительной площади изображения $\kappa = 1 + 2$. При этом производительность F изменяется в широких пределах — от 1 до 64 К в телевизионном кадре. Здесь же штриховые линии — функции $n_{\square}^*(F)$, рассчитанные при тех же исходных параметрах по соотношению (9).

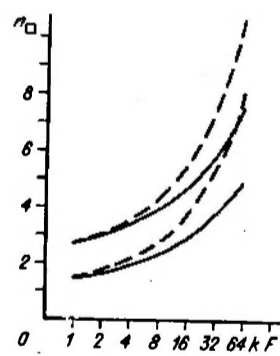


Рис. 3

Из приведенных графиков следует, что при малых производительностях они незначительно различаются между собой. Это связано с тем, что размер средней грани генерируемого изображения намного больше дополнительных площадей в углах этой грани, ограниченной прямыми направленными линиями ребер с учетом апертуры фильтра. С ростом производительности размер средней грани уменьшается и при $F \rightarrow 64$ К становится соизмеримым с дополнительными площадями. Отсюда следует, что для обработки этих площадей в углах многоугольников в случае достижения высоких производительностей

потребуется значительные вычислительные мощности.

По результатам выполненной работы можно сделать следующие практические выводы:

1. Для алгоритмов синтеза фильтрованных изображений, в которых ребра граней заданы аналитически, а площади генерируемых граней расширяются с учетом апертуры фильтра, в углах многоугольников генерируемой сцены образуются дополнительные площади, обработка которых требует дополнительных вычислительных затрат.

2. Дополнительные площади в углах многоугольников имеют максимальные значения при генерации изображения из треугольных граней. При увеличении количества ребер граней дополнительные площади уменьшаются.

3. С ростом производительности ССВО влияние дополнительных площадей в углах многоугольников возрастает. Поэтому при реализации ССВО высокой производительности необходимо принимать специальные меры для удаления из обработки дополнительных площадей в углах многоугольников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А. М., Токарев А. С. К оценке производительности алгоритмов фильтрации синтезированных изображений // Автометрия.—1989.—№ 2.
2. Fuch H. Fast spheres, shadows, textures, and image enhancement in pixel-planes // Comput. Graph.—1985.—19(3).
3. Carpenter L. The a-buffer, an antialiased hidden surface method // Comput. Graph.—1984.—18(3).
4. Grow F. C. The aliasing problem in computer generated shaded images // CACM.—1977.—N 11.
5. Catmul E. An analytic visible surface algorithm for independent pixel processing // Comput. Graph.—1984.—18(3).

Поступила в редакцию 5 февраля 1991 г.

УДК 681.3.06

М. М. Лагиева, В. М. Хачумов, Д. В. Шабалов

(Махачкала)

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предлагается алгоритм построения взвешенных линий и векторов, задающих ориентацию и линейные размеры полутонных изображений. Приводятся примеры измерения углов поворота между двумя положениями изображения.

Наличие геометрических преобразований в системах с техническим зрением приводит к существенному различию эталонов и реальных изображений, что затрудняет решение задачи идентификации [1, 2].

В настоящее время сложилось несколько подходов к сравнению преобразованных изображений. Основными являются методы, использующие корреляционные алгоритмы [3, 4], байесовский подход и статистический принцип инвариантности [5, 6], нормализацию [7]. Один из эффективных способов нормализации группы аффинных преобразований — построение инвариантных прямых, связывающих входное и эталонное изображения [7].

В рамках данного подхода предлагается один из алгоритмов построения линий положения, позволяющий определять ориентацию полутонных изображений на плоскости и выработать стратегию их нормализации для последующей идентификации.

Под полутонным изображением принято понимать [4] двумерное дискретное поле (матрицу) яркостей (интенсивностей), представленное в виде функции $t(x, y)$, где t — яркость в точке (x, y) . Предположим, что над матрицей определены такие преобразования, как сжатие, растяжение вдоль