

АФФИННЫЕ ВИДЕОПРОЦЕССОРЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ ВИДЕОЭФФЕКТОВ

Введение

В системах имитации визуальных обстановок тренажеров транспортных средств и летательных аппаратов, в системах анализа, нормализации, классификации и распознавания изображений, в системах машинного зрения, в устройствах телевизионных видеоэффектов и т. д. основную роль играют видеопроцессоры, позволяющие работать с изображениями в реальном времени. Использование специализированных видеопроцессоров необходимо, поскольку в настоящее время вычислительной мощности универсальных компьютеров пока еще недостаточно для выполнения в реальном времени сложных преобразований некомпьютеризованного телевизионного (ТВ) изображения без потери качества исходного изображения. В современных ТВ системах цифровые видеопроцессоры должны позволять в реальном времени трансформировать ТВ изображение с неограниченной точностью, без его компрессии и декомпрессии. В работах [1, 2] описаны такие видеопроцессоры, реализующие аффинные преобразования ТВ изображений (далее – аффинные процессоры).

В настоящее время темп развития техники очень высок. В связи с этим разработчикам выдвигаются все более и более высокие требования. Само собой, это коснулось и устройств видеоэффектов. В таких условиях для обеспечения конкурентоспособности устройства, основанного на аффинных процессорах, возникает необходимость в повышении его функциональности. Одним из наиболее быстрых и экономичных способов является расширение набора эффектов, реализуемых при помощи существующих процессоров. Как известно, к аффинным преобразованиям относятся следующие преобразования: косяя симметрия, сдвиг, сжатие, косое сжатие, гиперболический и эллиптический повороты. Для многих задач указанных преобразований достаточно. Однако, например, для устройства видеоэффектов, желательно иметь больший набор преобразований для создания более зрелищных эффектов. Возможности по созданию эффектов путем изменения последовательности и скорости выполнения аффинных преобразований, как показывает практика, себя исчерпали. В данной статье предлагается совместно использовать несколько аффинных процессоров для создания расширенного набора эффектов. В результате появляется возможность создавать такие зрелищные эффекты, как проекции телевизионных изображений на грани выпуклого многогранника, а также получать перспективные проекции телевизионных изображений [3].

© О.Г. Руденко, П.О. Сотников, 2004

Алгоритм проецирования телевизионного изображения на грани куба

В качестве примера рассмотрим эффект, возникающий в результате проекции телевизионного изображения на грани куба. Очевидно, для куба количество видимых граней не превышает 3. Следовательно, для реализации такого эффекта достаточно 3 аффинных процессоров.

Аффинные преобразования плоскости описываются следующими соотношениями:

$$\begin{cases} xэ = Ax + Bxy + Cx; \\ yэ = Ay + Byy + Cy, \end{cases} \quad (1)$$

где $A_x, B_x, C_x, A_y, B_y, C_y$ – аффинные коэффициенты.

Таким образом, задача состоит в вычислении аффинных коэффициентов для каждой грани куба при определенном положении куба в пространстве. Кроме того, возникает задача определения 3 видимых граней куба из 6. Для этого нужно учитывать глубину расположения (z координату) точек изображения. Необходимо также для каждой видимой грани куба правильно определить ее смещение относительно центра поворота куба, так, чтобы не было разрывов на ребрах куба.

На рис. 1 изображен куб. Углы поворота куба относительно каждой из осей координат равны 0. Примем такое положение куба за начальное. Обратим внимание на расположение граней куба. Передняя, задняя, верхняя и нижняя грани отличается лишь их углом поворота вокруг оси X куба, а также смещениями. Примем для расчета аффинных коэффициентов граней куба следующую последовательность их поворота вокруг осей координат: вокруг Ox , вокруг Oy , вокруг Oz . Тогда, поскольку поворот вокруг оси X выполняется в первую очередь, можно рассчитать аффинные коэффициенты для любой из этих граней, а положение остальных граней определять, учитывая их начальный угол поворота вокруг оси Ox . При этом при расчете аффинных коэффициентов какой-либо грани ее центр поворота необходимо перенести в точку $(0, 0, 0)$. Для определения реального положения каждой из граней нужно затем определить их смещения относительно центра поворота куба.

Левая и правая грани куба повернуты на 90° вокруг оси Y куба. Но поскольку поворот вокруг оси Oy выполняется вторым по очередности, то учесть начальное положение этих граней при помощи начального угла поворота не удастся. Поэтому формулы для вычисления аффинных коэффициентов левой и правой граней куба, с учетом их начального положения, будут иметь несколько иной вид, нежели формулы для расчета аффинных коэффициентов остальных граней.

Введем следующие обозначения:

$(xэ, yэ)$ – координаты точки экрана;

(x, y, z) – координаты точки изображения;

x_e, y_e – смещения изображения относительно экрана;

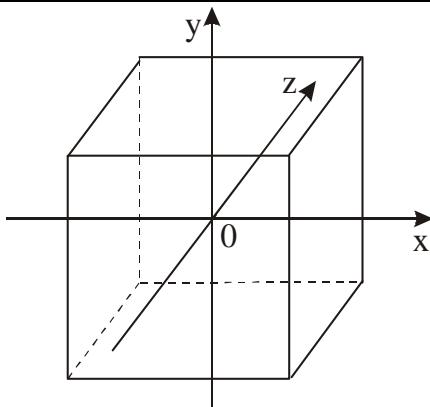


Рис. 1 – Куб в начальном положении

(x_c, y_c) – координаты центра поворота изображения относительно изображения;

x, y, z – углы поворота изображения соответственно вокруг осей x, y, z .

Определим выражения для расчета аффинных коэффициентов передней грани куба. Передняя грань, повернутая вокруг осей Ox и Oy соответственно на углы x и y , изображена на рис. 2. При этом центр поворота грани расположен в ее центре. Начальное положение грани показано на рисунке пунктирной линией.

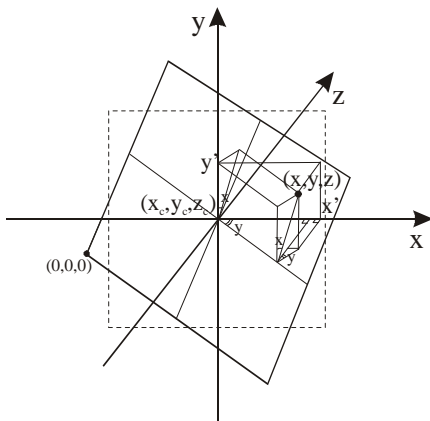


Рис. 2 – Передняя грань куба

Пусть плоскость $z = 0$ является плоскостью экрана. Спроецируем изображение передней грани на плоскость экрана, то есть отобразим точку (x, y, z) изображения в точку (x', y') экрана. Тогда отображение точки

(x, y, z) может быть представлено следующими соотношениями:

$$\begin{cases} x' = (x - xc) \cos y + (y - yc) \sin x \sin y; \\ y' = (y - yc) \cos x. \end{cases} \quad (2)$$

Как известно, поворот системы координат описывается следующими выражениями:

$$\begin{cases} x\varepsilon = x' \cos z + y' \sin z; \\ y\varepsilon = -x' \sin z + y' \cos z. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда, подставляя (2) в (3), получим отображение точки (x, y, z) на плоскость экрана с учетом поворота куба вокруг оси Oz :

$$\begin{cases} x\varepsilon = (x - xc) \cos y \cos z + (y - yc) \sin x \sin y \cos z + (y - yc) \cos x \sin z; \\ y\varepsilon = -(x - xc) \cos y \sin z - (y - yc) \sin x \sin y \sin z + (y - yc) \cos x \cos z. \end{cases} \quad (4)$$

Сравнивая соотношения (4) с выражениями (1), нетрудно получить искомые выражения для расчета аффинных коэффициентов:

$$Ax = \cos y \cos z;$$

$$Bx = \sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z;$$

$$Ay = -\cos y \sin z;$$

$$By = -\sin x \sin y \sin z + \cos x \cos z;$$

$$Cx = -xc \cos y \cos z - yc(\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z) + xe; \quad (5)$$

$$Cy = xc \cos y \sin z - yc(\cos x \cos z - \sin x \sin y \sin z) + ye.$$

Теперь определим выражения для расчета аффинных коэффициентов левой и правой граней куба. Левая грань, повернутая вокруг осей Ox и Oy соответственно на углы x и y , изображена на рис. 3. Центр поворота левой грани находится в ее центре. Начальное положение грани изображено на рисунке пунктирной линией.

Исходя из рис. 3, получаем следующие выражения для проекции точки (x, y, z) изображения на плоскость экрана:

$$\begin{cases} x' = (x - xc) \cos x \sin y + (y - yc) \sin x \sin y; \\ y' = -(x - xc) \sin x + (y - yc) \cos x. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда, с учетом поворота куба вокруг оси Oz , подставляя (6) в (3), получим следующие соотношения для отображения точки (x, y, z) на плоскость экрана:

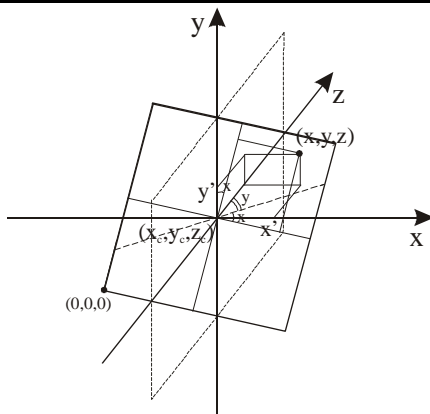


Рис. 3 – Левая грань куба

$$\begin{cases} xэ = (x - xc) \cos x \sin y \cos z + (y - yc) \sin x \sin y \cos z + \\ (y - yc) \cos x \sin z - (x - xc) \sin x \sin z; \\ yэ = -(x - xc) \cos x \sin y \sin z - (y - yc) \sin x \sin y \sin z + \\ (y - yc) \cos x \cos z - (x - xc) \sin x \cos z. \end{cases} \quad (7)$$

Сравнивая соотношения (7) с выражениями (1), получаем искомые выражения для расчета аффинных коэффициентов:

$$Ax = \cos x \sin y \cos z - \sin x \sin z;$$

$$Bx = \cos x \sin z + \sin x \sin y \cos z;$$

$$Ay = -\sin x \cos z - \cos x \sin y \sin z;$$

$$By = \cos x \cos z - \sin x \sin y \sin z; \quad (8)$$

$$Cx = xc(\sin x \sin z - \cos x \sin y \cos z) - yc(\cos x \sin z + \sin x \sin y \cos z) + xe;$$

$$Cy = xc(\sin x \cos z + \cos x \sin y \sin z) - yc(\cos x \cos z - \sin x \sin y \sin z) + ye.$$

Теперь нужно определить смещения (x_e, y_e) граней куба в плоскости Оху относительно центра поворота куба. Необходимо также определить их смещения по оси Oz. Таким образом будет определена глубина расположения граней куба, что необходимо для последующего определения видимых граней. Куб с ребром длиной d, расположенный под углами x, y соответственно относительно осей Ох, Оу, изображен на рис. 4.

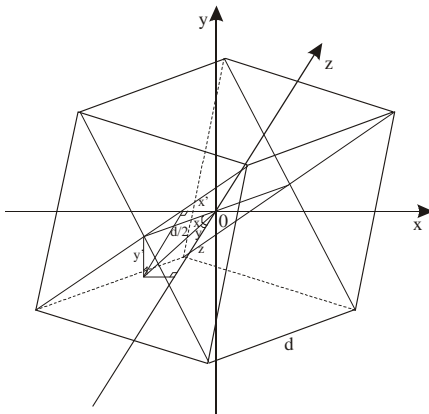


Рис. 4 – Куб, расположенный под углами x , y относительно осей Ox , Oy

Учитывая, что поворот граней куба в нашем случае производился относительно их центра, а центр поворота куба совпадает с началом координат, то будем искать смещения центров граней относительно центра поворота куба. Кроме того, смещения противоположных граней будут равными по модулю, но с противоположными знаками. Поэтому найдем смещения только для 3 граней, например, передней, левой и верхней.

Исходя из рис. 4, находим смещения x' , y' , z' для передней грани куба:

$$\begin{cases} x' = -d/2 \cdot \cos x \sin y; \\ y' = d/2 \cdot \sin x; \\ z' = -d/2 \cdot \cos x \cos y. \end{cases} \quad (9)$$

Для левой и верхней граней куба смещения находятся аналогично (соответственно выражения (10) и (11)).

$$\begin{cases} x' = -d/2 \cdot \cos y; \\ y' = 0; \\ z' = d/2 \cdot \sin y. \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} x' = d/2 \cdot \sin x \sin y; \\ y' = d/2 \cdot \cos x; \\ z' = d/2 \cdot \sin x \cos y. \end{cases} \quad (11)$$

Для учета поворота куба вокруг оси Oz подставим поочередно выражения (9)-(11) в (3). В результате получаем смещения передней, левой и верхней граней куба, повернутого на угол z вокруг оси Oz (соответственно выражения (12)-(14)).

$$\begin{cases} xe = -d/2(\cos x \sin y \cos z - \sin x \sin z); \\ ye = d/2(\cos x \sin y \sin z + \sin x \cos z); \\ z = -d/2 \cdot \cos x \cos y. \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} xe = -d/2 \cdot \cos y \cos z; \\ ye = d/2 \cdot \cos y \sin z; \\ z = d/2 \cdot \sin y. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} xe = d/2(\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z); \\ ye = -d/2(\sin x \sin y \sin z - \cos x \cos z); \\ z = d/2 \cdot \sin x \cos y. \end{cases} \quad (14)$$

Эффективность предлагаемого алгоритма проверялась путем компьютерного моделирования при помощи программы, разработанной в среде Delphi. Программа осуществляет преобразование изображений в соответствии с выражениями (1). При этом аффинные коэффициенты вычисляются по формулам (5), (8) с учетом смещений (12)-(14). Анализируя глубину расположения граней z , определяем, какие грани нужно отображать, а какие – нет. Результат работы программы приведен на рис. 5.



Рис. 5 – Компьютерное моделирование проекции изображения на грани куба

Выводы

Рассмотренный в статье алгоритм позволяет синтезировать проекции телевизионных изображений на грани куба. Выражения, непосредственно осуществляющие преобразование изображений, сведены к аффинным преобразованиям (1). Вычисление таких преобразований реализовано в аффинных процессорах [1, 2]. Таким образом, аппаратно разработанный алгоритм реализуется на основе аффинных процессоров. Скорость вычисления преобразований (1) аффинными процессорами позволяет осуществлять преобразования изображений в реальном времени. Коэффициенты же, используемые в алгоритме, необходимо вычислять

лишь 1 раз за кадр. В результате разработанный алгоритм может быть использован для получения соответствующих проекций телевизионных изображений в реальном времени, без их компрессии и декомпрессии. Таким образом, алгоритм позволяет расширить возможности устройства видеоэффектов, основанного на аффинных процессорах, без существенных затрат на доработку устройства.

Литература

1. Rudenko O.G., Sotnikov O.M., Anjutin A.A. A Device for Fast Geometric Transformations of Color TV Images //Pattern Recognition and Image Analysis. 1991. Vol. 1, N 2. P 265-266.
2. Елаков С.Г., Елисеев А.А., Торба А.А. Аффинный видеопроцессор //Междунар. науч.-техн. конф. “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”: тез. докл. Харьков. 1995. С. 87-88.
3. Руденко О.Г., Сотников П.О. Об одном алгоритме синтеза перспективных трансформаций телевизионных изображений на основе аффинных преобразований //Бионика интеллекта. – 2005. – 1. – С. 36-38.