

УДК 621.397.331

О.Г. Руденко, П.О. Сотников

## ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ СИНТЕЗА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

### Введение

В системах имитации визуальных обстановок тренажеров, в системах анализа, нормализации, классификации и распознавания изображений, в системах машинного зрения, в устройствах телевизионных эффектов и т. д. основную роль играют видеопроцессоры, позволяющие работать с изображениями в реальном времени. В современных телевизионных (ТВ) системах цифровые видеопроцессоры должны позволять в реальном времени трансформировать изображение с неограниченной точностью без его компрессии и декомпрессии. Кроме того, независимость времени выполнения преобразований от степени детализации изображений позволяет использовать видеопроцессоры при обработке изображений в стандарте высокой четкости.

В [1, 2] описаны разработанные ранее видеопроцессоры, реализующие аффинные преобразования ТВ-изображений. Известно, что при аффинном отображении одной плоскости на другую параллельные прямые переходят в параллельные. Как показывает практика, в результате изображения, полученные при помощи разработанных видеопроцессоров, выглядят недостаточно реалистично, что в современных условиях ограничивает область применения устройства.

Для получения более реалистичных изображений трехмерных объектов необходимо учитывать «эффект перспективы». Целью данной статьи является разработка алгоритма синтеза перспективных проекций ТВ-изображений на основе аффинных преобразований. В статье предлагается метод преобразования общих выражений для перспективных преобразований к виду, в котором их можно реализовать на специализированном вычислителе [1, 2].

### Постановка задачи

Аффинные преобразования плоскости описываются следующими соотношениями:

$$\begin{cases} x_3 = A_x x + B_x y + C_x; \\ y_3 = A_y x + B_y y + C_y, \end{cases} \quad (1)$$

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

Для того чтобы осуществлять аффинные преобразования изображений в реальном времени, программируемые средства должны успевать осу-

ществлять необходимые вычислительные операции за период развертки изображения на устройстве визуализации. Это могут быть незначительные предварительные вычисления, результат которых, воздействуя на аппаратные средства, будет настраивать их на выполнение преобразований координат всего массива элементов разложения, согласно заданному преобразованию.

В разработанном в [1, 2] видеопроцессоре такой подход к синтезу аффинных проекций телевизионных изображений реализован таким образом, что аффинные коэффициенты необходимых преобразований видеопроцессорам задаются от персонального компьютера (ПК). ПК используется как средство удобного интерфейса пользователя для задания и выдачи на видеопроцессор желаемых коэффициентов преобразования. ПК может выдавать последовательность динамически изменяемых коэффициентов преобразования, имитируя эволюции реальной обстановки, а видеопроцессор производит эти эволюции с входным изображением.

Для достижения реального времени выполнения преобразований независимо от сложности изображений был использован принцип функционального соответствия между координатами экрана и адресами элементов изображения в буфере регенерации. При выполнении аффинных преобразований над исходным изображением, хранящимся в буфере, для его элементов определяются новые координаты, после чего эти элементы последовательно выводятся на видовую поверхность. При этом достигается существенный выигрыш времени выполнения преобразования по сравнению со временем, необходимым для выполнения такого же преобразования традиционным методом определения координат всех элементов массива по формулам (1). Высокое быстродействие достигается благодаря переходу от вычисления координат каждого элемента дискретизации изображения по выражениям (1) к вычислению по этим выражениям координат лишь начальных элементов строк и определенному вычислению координат остальных элементов строк.

Таким образом, для выполнения преобразований аффинной группы изображений, представленной своим массивом элементов дискретизации, по каналам связи достаточно передавать для каждого нового кадра изображения новые координаты лишь трех точек плоскости изображения.

Воспользуемся таким же подходом для реализации аппаратно-ориентированного алгоритма синтеза перспективных проекций ТВ-изображений, включающих помимо двух координат  $x$  и  $y$  еще и третью координату  $z$ .

**Алгоритм перспективных трансформаций**

Рассмотрим плоскость изображения в ортогональных координатах  $(x, y, z)$  (рис. 1). Плоскость  $z = 0$  в данном случае является плоскостью экрана, точка  $S$  — глаз наблюдателя, точка  $(0, 0, 0)$  — центр экрана. Таким образом, предполагается, что взгляд наблюдателя направлен по вектору нормали к экрану, имеющему начало в его центре.

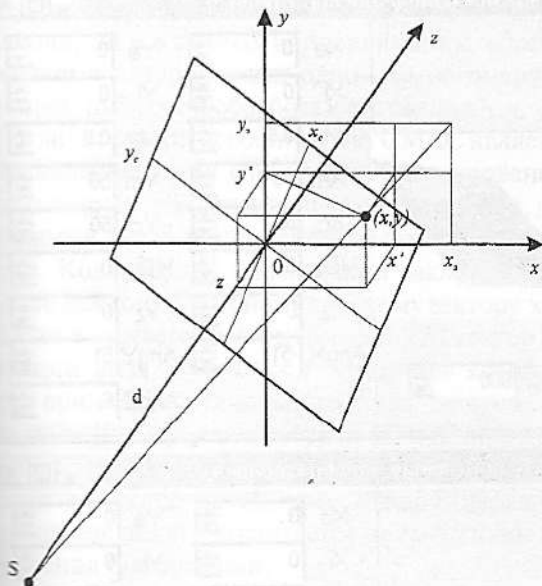


Рис. 1. Плоскость изображения

Введем следующие обозначения:

- $(x_s, y_s)$  — координаты точки экрана;
- $(x, y, z)$  — координаты точки изображения;
- $x_c, y_c$  — смещения изображения относительно центра экрана соответственно по осям  $x$  и  $y$  экрана;
- $x_i, y_i$  — смещения изображения в плоскости изображения соответственно по осям  $x$  и  $y$  изображения;
- $(x_c, y_c)$  — координаты центра поворота изображения;

$x, y, z$  — углы поворота изображения соответственно вокруг осей  $x, y, z$  экрана.

Спроецируем изображение 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:

$$\begin{cases} x' = (x - (x_c + x_i)) \cos y \cos z + (y - (y_c + y_i)) (\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z); \\ y' = -(x - (x_c + x_i)) \cos y \sin z + (y - (y_c + y_i)) (-\sin x \sin y \sin z + \cos x \cos z). \end{cases} \quad (2)$$

Пусть глаз наблюдателя удален от экрана на расстоянии  $d$ . В этом случае с учетом «эффекта перспективы» точка  $(x, y, z)$  изображения будет отображаться в точку  $(x_s, y_s)$  экрана следующим образом:

$$\begin{cases} x_s = x' \left(1 + \frac{z}{d - z}\right); \\ y_s = y' \left(1 + \frac{z}{d - z}\right). \end{cases} \quad (3)$$

Предположим, что выполняется условие  $z \ll d$ , которое, как показало компьютерное моделирование, является вполне допустимым (слишком малые значения  $d$  давали чрезмерный «эффект перспективы», на практике не применимый, а при тех значениях  $d$ , которые давали наилучший результат, изображение было без видимых искажений).

Тогда выражения (3) принимают вид:

$$\begin{cases} x_s = x' + x' \frac{z}{d}; \\ y_s = y' + y' \frac{z}{d}. \end{cases} \quad (4)$$

Найдем координату  $z$  точки изображения

$$z = (x - (x_c + x_i)) \sin y - (y - (y_c + y_i)) \sin x \cos y. \quad (5)$$

Подстановка (2) и (5) в (4) приводит к формулам, которые ввиду их громоздкости здесь не приводятся, однако, как нетрудно убедиться, имеют вид

$$\begin{cases} x_s = a_1 x^2 + a_2 xy + a_3 y^2 + a_4 x + a_5 y + a_6; \\ y_s = b_1 x^2 + b_2 xy + b_3 y^2 + b_4 x + b_5 y + b_6. \end{cases} \quad (6)$$

Соотношения (6), в свою очередь, могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} x_s = (A_{xx}x + B_{xx}y + C_{xx})x + (A_{xy}x + B_{xy}y + C_{xy})y + C_x; \\ y_s = (A_{yx}x + B_{yx}y + C_{yx})x + (A_{yy}x + B_{yy}y + C_{yy})y + C_y. \end{cases} \quad (7)$$

Из (7) видно, что как сами эти преобразования, так и коэффициенты при  $x$  и  $y$  представляют собой аффинные преобразования.

Сравнивая формулы, получаемые в результате подстановки (2) и (5) в (4), с соотношениями (7), после несложных преобразований получаем выражения для коэффициентов  $A_{xx}, B_{xx}, C_{xx}, A_{xy}, B_{xy}, C_{xy}, C_x$  и  $A_{yx}, B_{yx}, C_{yx}, A_{yy}, B_{yy}, C_{yy}, C_y$ :

$$A_{xx} = d^{-1} \cos y \cos z \sin y;$$

$$B_{xx} = -d^{-1} \sin x \cos z \cos 2y;$$

$$C_{xx} = \cos y \cos z - d^{-1} (2(x_c + x_i) \cos y \cos z \sin y - (y_c + y_i) (\cos z \sin x \cos 2y - \cos x \sin y \sin z));$$

$$A_{xy} = d^{-1} \cos x \sin y \sin z;$$

$$B_{xy} = -d^{-1} \sin x \cos y (\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z);$$

$$C_{xy} = \sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z + d^{-1}((x_c + x_i)(\sin x \cos z \cos 2y - \cos x \sin y \sin z) + 2(y_c + y_i) \sin x \cos y (\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z));$$

$$C_x = -(x_c + x_i) \cos y \cos z - (y_c + y_i)(\sin x \sin y \cos z - \cos x \sin z) + d^{-1}((x_c + x_i)^2 \cos y \sin y \cos z + (x_c + x_i)(y_c + y_i)(-\sin x \cos z \cos 2y + \cos x \sin y \sin z) - (y_c + y_i)^2 \sin x \cos y (\sin x \sin y \cos z + \cos x \sin z)) + x_c + x_e;$$

$$A_{yx} = -d^{-1} \cos y \sin y \sin z; \quad (8)$$

$$B_{yx} = d^{-1} \sin x \sin z \cos 2y;$$

$$C_{yx} = -\cos y \sin z + d^{-1}(2(x_c + x_i) \sin y \cos y \sin z - (y_c + y_i)(\sin x \sin z \cos 2y + \cos x \sin y \cos z));$$

$$A_{yy} = d^{-1} \cos x \sin y \cos z;$$

$$B_{yy} = d^{-1} \sin x \cos y (\sin x \sin y \sin z - \cos x \cos z);$$

$$C_{yy} = \cos x \cos z - \sin x \sin y \sin z - d^{-1}((x_c + x_i)(\sin x \sin z + \cos x \sin y \cos z) + 2(y_c + y_i) \sin x \cos y (\sin x \sin y \sin z - \cos x \cos z));$$

$$C_y = (x_c + x_i) \cos y \sin z + (y_c + y_i)(\sin x \sin y \sin z - \cos x \cos z) - d^{-1}((x_c + x_i)^2 \sin y \cos y \sin z + (x_c + x_i)(y_c + y_i)(\sin x \sin z \cos 2y + \cos x \sin y \cos z) + (y_c + y_i)^2 \sin x \cos y (\sin x \sin y \sin z - \cos x \cos z)) + y_c + y_e.$$

Эффективность предлагаемого алгоритма проверялась путем компьютерного моделирования при помощи программы, разработанной в среде Delphi. Программа осуществляет преобразование изображений в соответствии с формулами (7), (8). Некоторые результаты трансформации произвольного изображения размером 120 × 100 точек при помощи разработанной программы приведены на рис. 2.

Как видно из фрагментов, представленных на рис. 2, расстояние  $d$  от глаза наблюдателя до экрана для достижения наилучшего результата было выбрано равным 600 точек. Для наглядности исходное изображение на каждом из фрагментов расположено под разными углами по отношению к осям координат  $(x, y, z)$  (соответственно  $\text{ang}X, \text{ang}Y, \text{ang}Z$ ). При этом центр поворота изображения совпадает с его центром  $(x_c = 60; y_c = 50)$ .

**Выводы**

Таким образом, предложенный в данной статье алгоритм позволяет синтезировать перспективные проекции телевизионных изображений на основе аффинных преобразований. Как и в случае аффинных преобразований, время выполнения преобразований (7), (8) не зависит от степени детализации изображений и поэтому данный алгоритм может быть использован для получения соответствующих

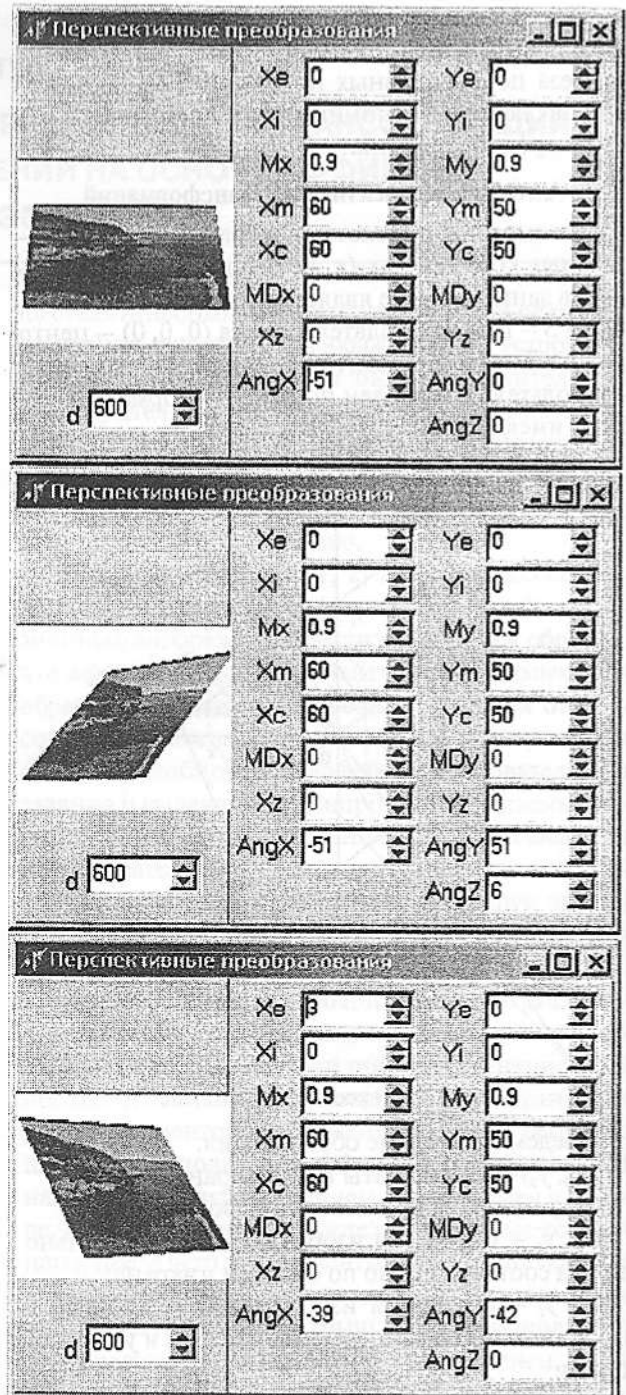


Рис. 2. Компьютерное моделирование перспективных преобразований

перспективных трансформаций изображений в реальном времени. Кроме того, аппаратно данный алгоритм может быть реализован на основе аффинных процессоров [1, 2].

Список литературы: 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.

Поступила в редколлегию 28.10.2004