УДК 004.021::004.92

ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОВОРОТА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. Смолий
Восточноукраинский национальный университет, Северодонецкий технологический институт

У роботі розглянуто питання підвищення продуктивності систем обертання растрових зображень з урахуванням особливостей їх представлення у обчислювальних системах, запропоновано алгоритми для реалізації операцій обертання та висунуто ідеї що до покращення якості зображень при їх виконанні.

Актуальность. Операция вращения является одной из наиболее трудоёмких операций геометрических преобразований изображений. В связи с этим, работы по повышению эффективности и производительности систем геометрических преобразований в компьютерной графике являются крайне актуальными не смотря на высокие темпы роста производительности вычислительных средств.

Для унификации выполняемых преобразований используется аппарат матричных операций в однородной системе координат, позволивший реализовать геометрические преобразования на регулярных аппаратных структурах, выполняемых в виде геометрического сопроцессора.

С целью уменьшения объемов обрабатываемых данных объекты, как правило, представляются каркасной структурой, описываемой наборами вершин элементарных объектов, которые в последующем подвергаются растеризации рисующими процессорами графической подсистемы. Такая модель может интерпретироваться так же как векторное описание объектов, для которого в 2-D системах могут использоваться средства [1-4] CORDIC семейства алгоритмов, отличительной особенностью которых является их хорошая аппаратная реализация и сравнительная простота. Последние работы, например, [6] показали, что необходимый результат при вращении точки можно получить за ограниченное и заранее определенное время работы CORDIC архитектуры – максимум за 15 тактов её работы. В работе [5] рассмотрены некоторые другие методы.

Однако даже использование таких средств является не всегда эффективным. Например, в полиграфических системах, где возникает потребность в обработке больших растровых изображений, системах распознавания текста, системах для нанесения текстур, компьютерных тренажерных системах, требующих за ограниченное время выполнить поворот большого массива точек.

При повороте растровых изображений кроме проблемы больших объемов вычислений существует так же проблема искажения исходного изображения, накладывающая свои ограничения на построение графических систем.

В данной работе основной задачей является оптимизация вычислений в процессе вращения растрового изображения относительно центра системы координат.

Обоснование метода. С математической точки зрения операция вращения описывается уравнением вида (1):

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Данное соотношение определяет, что для выполнения операции поворота в плоскости необходимо выполнить 4 операции умножения и 2 операции сложения с плавающей запятой. Для определения координат растровой точки необходимо еще выполнить 2 операции округления. Итого – 8 операций. По времени выполнения это будет зависеть от архитектуры вычислителя.

Особенностью представления растровых изображений является то, что они могут интерпретироваться как наборы горизонтальных или вертикальных линейных массивов пикселей. В пределах такого массива индексы соседних пикселей отличаются на единицу. В такой интерпретации поворот всего изображения может интерпретироваться как совокупность поворотов линейных объектов, представляющих скан-строки или скан-столбцы.

После преобразования – поворота линейного объекта, геометрия объекта не изменяется, он останется линейным и для его развертки могут быть применены обычные методы, например, широко известный алгоритм Брезэнхэма. Для исходной идентификации линейных объектов, параллельных одной из осей, достаточно одной координаты (в плоскости). Однако, с практической точки зрения, предлагается использовать для этой цели точку P (рис.1) пересечения линейного объекта и координатной оси. Тогда, данная точка может выступать в качестве центра относительной локальной системы координат объекта для его развертки, а координаты любой другой точки A объекта могут быть определены как соответствующее значение дискретного смещения относительно точки P, что описывается для горизонтальных скан-строк соотношением вида (2):

$$[x \quad y] = [0 \quad y] + [x \quad 0]. \tag{2}$$

Вектор $[0 \quad y]$ определяет положение точки P, идентифицирующей соответствующую скан-строку, а $[x \quad 0]$ - вектор смещения точки A в пределах данной скан-строки.

В такой интерпретации, операция вращения может интерпретироваться как движение идентифицирующей линию точки по окружности и связанное с этим движением изменение угла наклона самой линии.

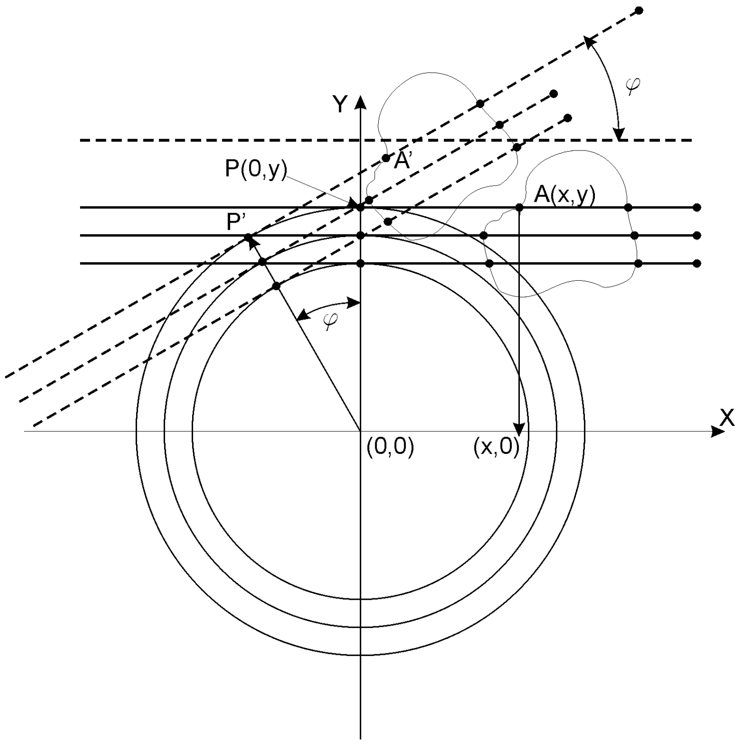

Рис. 1 - Операция вращения скан-строки.

После преобразования, точка P переходит в точку P’, координаты которой, в соответствии с уравнением (1), будут определяться как:

$$[x' \quad y'] = [0 \quad y] \times \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} = y \cdot [-\sin(\varphi) \quad \cos(\varphi)]. \tag{3}$$

Координаты произвольной точки A на прямой после преобразования и перехода в точку A’, в соответствии с выражениями

(1) и (2), могут быть определены как:

$$\left(\begin{bmatrix}0 & y\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}x & 0\end{bmatrix}\right)\times\begin{bmatrix}\cos(\varphi) & \sin(\varphi)\\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi)\end{bmatrix}=y\cdot\begin{bmatrix}-\sin(\varphi) & \cos(\varphi)\end{bmatrix}+x\cdot\begin{bmatrix}\cos(\varphi) & \sin(\varphi)\end{bmatrix}. \quad (4)$$

То есть, координаты точки P’ и соответствующее смещение для точки A с учетом операции поворота. Учитывая, что для растровых систем расстояние между точками изменяется дискретно на «1», получим, что на i+1 шаге развертки координаты точки Ai+1 находятся внутри скан строки (локальная линейная система координат) как

$$x_{A_{i+1}}=x_{A_i}+1. \quad (5)$$

В соответствии с выражением (4), подставив в качестве вектора смещения $\lfloor x_{A_{i+1}} \quad 0\rfloor$ значение из выражения (5) и выполнив тривиальные преобразования, получим:

$$\lfloor x_{A_{i+1}} \quad y_{A_{i+1}}\rfloor=\lfloor x_{A_i} \quad y_{A_i}\rfloor+1\cdot\left[\cos(\varphi) \quad \sin(\varphi)\right]. \quad (6)$$

Для начального цикла итерации $\lfloor x_{A0} \quad y_{A0}\rfloor=\lfloor x_{P'} \quad y_{P'}\rfloor$. Таким образом, получена итерационная формула для определения координат очередной точки растрового изображения. Для нахождения значений тригонометрических функций могут быть применены методы, предложенные в рассмотренной литературе или другие.

Результаты. Предварительный анализ приведенных соотношений показывает, что для определения координат точки P, идентифицирующей положение скан-строки необходимо выполнить (только для операции поворота) 2 операции умножения с плавающей запятой и 2 операции округления. Для определения координаты произвольной точки A’ необходимо выполнить 2 операции сложения с плавающей запятой и 2 операции округления. То есть, предложенный итерационный метод имеет значительную вычислительную эффективность в сравнении с традиционными методами выполнения поворота растровых изображений.

К недостаткам данного метода относится искажение изображения, характеризуемое смещением точек растра относительно их исходного положения при округлении значений координат и накапливаемое в процессе выполнения ряда последовательных вращений.

Для улучшения качества выводимого изображения и уменьшения некоторых геометрических искажений можно использовать аппроксимирующие значения яркости точек, определяемые с учетом разницы линейного шага в ортогонально расположенном к координатной оси линейном объекте и объекте, расположенном под непрямым углом. Такая аппроксимация может выполняться, в частности, и с учетом корреляции к соседним линейным объектам.

Литература.

1. J. E. Volder, "The CORDIC trigonometric computing technique," IRE Trans. Electron. Comput., vol. EC-8, no. 3, pp.330-334, Sep. 1959.
2. J. S. Walther, "A unified algorithm for elementary functions," in Proc. Joint Spring Compute. Conf., vol.38, Jul. 1971, pp.379-385.
3. K. Maharatna and S. Banerjee, "CORDIC based array architecture for affine transformation of images," in Proc. Int. Conf. Communications, Computers and Devices, vol. II, Kharagpur, India, Dec. 2000, pp.645-648.
4. C. Wu, A. Wu "Modified vector rotational CORDIC (MVR-CORDIC) algorithm and architecture", IEEE Trans. Cyrcuits Syst. II, Exp. Briefs, Vol.48, no. 6, pp. 548-561, Jun. 2001
5. G. Hecstra, E. Deprettere, "Fast rotations: Low-cost arithmetic methods for orthonormal rotation," in Proc. 13th IEEE Symposium of Comp. Arithmetic, 1997, pp.116-125.
6. K. Maharatna, S. Banerjee, E. Grass, M. Krstic, A. Troya, "Modified virtually scaling-free adaptive CORDIC rotator algorithm and arhitecture,"IEEE Trans. Circutes Syst. Video Technol., vol.15, no. 11, pp.1463-1474, Nov. 2005.

Получено 01.06.07