КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 004.923

Ю. Н. Груц, канд. техн. наук
Ин-т проблем моделирования
в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул.Генерала Наумова, 15,
тел. (044)2747991, E-mail:gyn@voliacable.com)

Процедура виртуального 3*D* погружения в графических стереомоделях

Предложено два способа реализации процедуры виртуального 3*D* погружения в графических стереомоделях, в основе которых лежит использование прямых стереооператоров постоянного и переменного ракурсов видения.

Запропоновано два способи реалізації процедури віртуального 3*D* занурення в графічних стереомоделях, базованих на використанні прямих стереооператорів постійного і змінного ракурсів бачення.

Ключевые слова: стереомоделирование, стереооператор, 3D-стереографика.

При трехмерном графическом стереомоделировании погружение виртуального наблюдателя внутрь трехмерной сцены дает исследователю уникальную возможность в полной мере ощутить преимущества бинокулярного зрения при синтезе и анализе 3*D* оъектов и сцен.

У исследователя, работающего с графическими стереомоделями, возникает естественное желание наблюдать глубинные соотношения стереомодели, не только в одном ракурсе, но и погрузиться в глубь изучаемого пространства, чтобы более детально исследовать трехмерную зону интереса. Такая процедура глубинного погружения фактически сводится к пересчету стереоскопической сцены для нового положения наблюдателя.

Рассмотрим реализацию данной процедуры на основе теории стереооператоров, рассмотренных в работе [1], где положение наблюдателя в пространстве задано трехмерным вектором ракурса наблюдения $\hat{\mathbf{R}}$, и, следовательно, пересчет стереосцены необходимо выполнять с новой координатой глубины $\hat{Z}$ в этом векторе. Следует заметить, что изменение координаты $\hat{z}_0$ в ракурсе стереонаблюдения $\hat{\mathbf{r}}_0$ для прямого стереооператора постоянного ракурса $S_0\{\}$ не является решением поставленной задачи.

Как известно, стереооператор $S_0\{\}$ реализуется с помощью следующих математических зависимостей:

$$\mathbf{s} = A(\mathbf{V}+\dot{\mathbf{c}})/(\hat{z}_0 - Z - \dot{z}). \tag{1}$$

Здесь **s** — искомый вектор стереокоординат, **V** — вектор пространственных координат произвольной точки, находящейся в зоне стереовидения, $\dot{\mathbf{c}}$ — вектор смещения мировой и экранной систем координат, $\hat{\mathbf{r}}_0$ — вектор постоянного ракурса, A — матрица параметров преобразования из трехмерного пространства в стереопространство,

$$\mathbf{s}=\begin{bmatrix} x_l \\ x_r \\ y \end{bmatrix};\quad \mathbf{V}=\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix};\quad \dot{\mathbf{c}}=\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix};\quad \hat{\mathbf{r}}_0=\begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ \hat{y}_0 \\ \hat{z}_0 \end{bmatrix};\quad A=\begin{bmatrix} \hat{z}_0 & 0 & a-\hat{x}_0 \\ \hat{z}_0 & 0 & -a-\hat{x}_0 \\ 0 & -\hat{z}_0 & -\hat{y}_0 \end{bmatrix},$$

где a — половина базиса стереовидения.

Компоненты вектора постоянного ракурса $\hat{\mathbf{r}}_0$ в выражении (1) определяют позицию переносицы исследователя перед экранной плоскостью стереомонитора. Отличие этих значений координат от расчетных (для которых синтезирована графическая стереосцена) приводит к деформации восприятия стереоскопических изображений, т.е. к геометрическим изображениям, показанным в работе [2].

Моделировать процедуру погружения в глубину стереосцены посредством изменения глубинной координаты $\hat{z}_0$ в формулах, реализующих прямой стереооператор постоянного ракурса $S_0\{\}$, не представляется возможным. Убедимся в этом на простом примере.

Пусть $\dot{\mathbf{c}}$ = 0 и произвольная пространственная точка K находится на экране, т.е. $Z_K=0$. Представим выражение (1) в виде

$$x_l=\frac{X\hat{z}_0-(Z+\dot{z})(\hat{x}_0-a)+\hat{z}_0\dot{x}}{\hat{z}_0-Z-\dot{z}},$$

$$x_r=\frac{X\hat{z}_0-(Z+\dot{z})(\hat{x}_0+a)+\hat{z}_0\dot{x}}{\hat{z}_0-Z-\dot{z}},$$

$$y=\frac{\hat{z}_0(\dot{y}-Y)-\hat{y}_0(Z+\dot{z})}{\hat{z}_0-Z-\dot{z}}.$$

Подставив в эти формулы выбранные параметры, получим $x_{l-k}=X_K$, $x_{r-k}=X_K$, $y_k=-Y_K$. Как видим, значение стереокоординат точки K, находящейся на экране, не зависит от глубинной координаты вектора ракурса наблюдения.

Для решения поставленной задачи виртуального погружения в глубь моделируемой графической стереосцены предлагается использовать прямой стереооператор переменного ракурса $Si\{\}$ [1]. В случае, когда исследователь находится перед монитором стереосистемы в точке постоянного ракурса (задан вектор $\hat{\mathbf{r}}_0$), стереооператор $Si\{\}$ позволяет видеть то, что видел бы виртуальный наблюдатель, перемещающийся в пространстве относительно искомого объекта.

Прямой стереооператор переменного ракурса реализуется с помощью следующих математических зависимостей:

$$\mathbf{s} = A(\mathbf{V} + \dot{\mathbf{c}} - \Delta\,\hat{\mathbf{r}}_i)/(\hat{z}_i - Z - \dot{z}), \tag{2}$$

где

$$\Delta\,\hat{\mathbf{r}}_i = \hat{\mathbf{r}}_i - \hat{\mathbf{r}}_0 = \begin{bmatrix} \Delta\hat{x}_i = \hat{x}_i - \hat{x}_0 \\ \Delta\hat{y}_i = \hat{y}_i - \hat{y}_0 \\ \Delta\hat{z}_i = \hat{z}_i - \hat{z}_0 \end{bmatrix}; \quad \hat{\mathbf{r}}_i = \begin{bmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \\ \hat{z}_i \end{bmatrix};$$

матрица A и вектор $\dot{\mathbf{c}}$ те же, что и в формулах (1).

Позиция оператора перед монитором стереосистемы задается вектором $\hat{\mathbf{r}}_0 = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ \hat{y}_0 \\ \hat{z}_0 \end{bmatrix}$, представленным в экранной системе координат, а позиция воображаемого наблюдателя — вектором переменого ракурса $\hat{\mathbf{R}}_i = \begin{bmatrix} \hat{X}_i \\ \hat{Y}_i \\ \hat{Z}_i \end{bmatrix}$, представленным в мировой системе координат. Поскольку искомые координаты стереовектора $\mathbf{s}$ вычисляются в экранной системе координат, вектор $\hat{\mathbf{R}}_i$ переводится в экранную систему с помощью выражения $\hat{\mathbf{r}}_i = D\,\hat{\mathbf{R}}_i + \dot{\mathbf{c}}$, где

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для реализации процедуры погружения воображаемого наблюдателя в глубину трехмерной сцены и обратно необходимо и достаточно иметь возможность программно изменять глубинную координату $\pm\hat{Z}_i$ в мировой системе координат или ее эквивалент в экранной системе координат $\pm\hat{z}_i$. Убедимся в этом на примере.

Пусть произвольная точка K стереоскопической сцены находится в плоскости стереоэкрана, $Z_K = 0$, а вектор сдвига систем координат $\dot{\mathbf{c}} = 0$. Запишем (2) в координатах:

$$x_l = \frac{X_K\hat{z}_0 + Z_K(a - \hat{x}_0) + \hat{x}_0(\hat{z}_i - \dot{z}) + \hat{z}_0(\dot{x} - \hat{x}_i) + a(\dot{z} + \hat{z}_0 - \hat{z}_i)}{\hat{z}_i - Z_K - \dot{z}},$$

$$x_r = \frac{X_K \hat{z}_0 - Z_K(\hat{x}_0 + a) + \hat{x}_0(\hat{z}_i - \dot{z}) + \hat{z}_0(\dot{x} - \hat{x}_i) - a(\dot{z} + \hat{z}_0 - \hat{z}_i)}{\hat{z}_i - Z_K - \dot{z}},$$

$$y = \frac{Y_K \hat{z}_0 + Z_K \hat{y}_0 + \hat{y}_0(2\hat{z}_0 + \dot{z} - \hat{z}_i) + \hat{z}_0(\dot{y} - \hat{y}_i)}{Z_K + \dot{z} - \hat{z}_i}.$$

Учитывая, что $Z_K = 0$, $\dot{\mathbf{c}} = 0$, получаем

$$x_l = \frac{X_K \hat{z}_0 + \hat{x}_0 \hat{z}_i + \hat{z}_0(\dot{x} - \hat{x}_i) + a(\hat{z}_0 - \hat{z}_i)}{\hat{z}_i},$$

$$x_r = \frac{X_K \hat{z}_0 + \hat{x}_0 \hat{z}_i + \hat{z}_0(\dot{x} - \hat{x}_i) - a(\hat{z}_0 - \hat{z}_i)}{\hat{z}_i},$$

$$y = \frac{Y_K \hat{z}_0 + \hat{y}_0(2\hat{z}_0 - \hat{z}_i) - \hat{z}_0 \hat{y}_i}{-\hat{z}_i}.$$

Анализируя полученные формулы, видим, что составляющие стереопары искомой точки имеют различные значения в зависимости от глубинной координаты вектора стереоракурса воображаемого наблюдателя $\pm\hat{z}_i$.

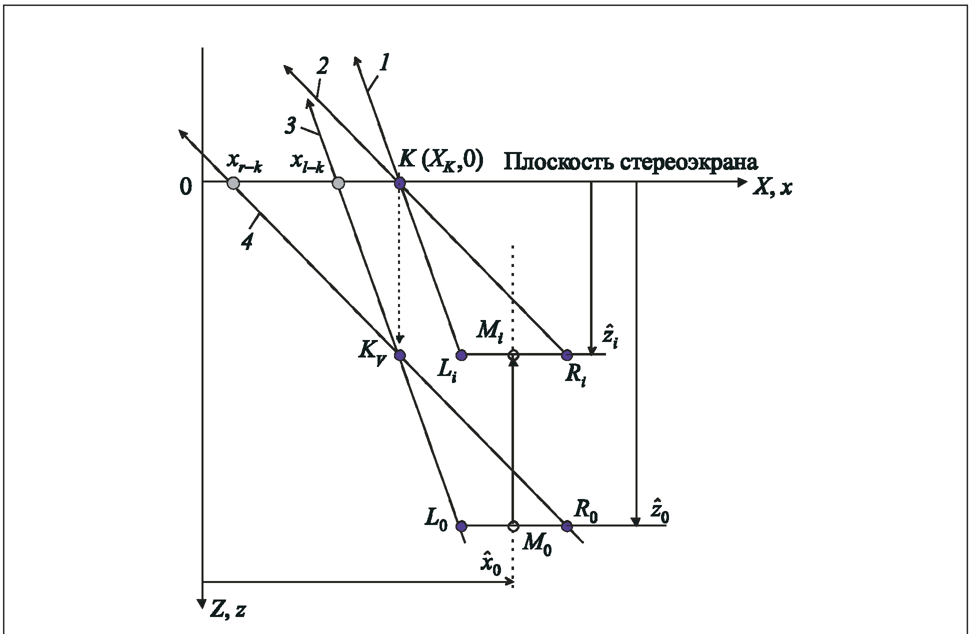
Рассмотрим случай, когда ракурс стреовидения воображаемого наблюдателя и ракурс оператора перед экраном стереосистемы совпадают: $\hat{\mathbf{r}}_i = \hat{\mathbf{r}}_0$. Подставив исходные данные, получим те же значения, что и в примере с прямым стереооператором постоянного ракурса: $x_{l-k} = X_K$, $x_{r-k} = X_K$, $y_k = -Y_K$, т.е. левая и правая составляющие стереопары равны. Значит, точка находится на экранной плоскости.

Теперь выполним процедуру погружения в глубину при тех же условиях, уменьшая координату $\hat{z}_i$. Пусть $\hat{z}_i = 0{,}5\hat{z}_0$. Тогда стереокоординаты искомого вектора **s** будут следующие:

$$x_{l-k} = 2X_K + a - \hat{x}_0, \quad x_{r-k} = 2X_K - a - \hat{x}_0, \quad y_k = -2Y_K + \hat{y}_0.$$

Как видно из рисунка, лучи зрения виртуального наблюдателя на одну и ту же пространственную точку K при погружении совпадают с лучами зрения оператора перед стереомонитором, если использован стереооператор переменного ракурса $Si\{\}$. В начальном состоянии позиции виртуального наблюдателя и оператора перед стереоэкраном совпадали, и, следовательно, направление лучей зрения для левых (L_0, L_i) и правых (R_0, R_i) глаз на точку K у них были одинаковыми (на рисунке эти лучи не показаны).

После виртуального погружения в глубь стереосцены точка M_i, соответствующая переносице виртуального наблюдателя, переместилась параллельно оси $0Z$ на величину $0{,}5\hat{z}_0$. При этом луч зрения на точку K для левого глаза виртуального наблюдателя стал $L_1\,1$, а для правого глаза — $R_1\,2$. Отложим на оси $0x$ вычисленные значения x_{l-k} и x_{r-k}. Для того чтобы



определить направление лучей зрения для каждого глаза оператора перед стереоэкраном, соединим точку x_{l-k} с точкой L_0, а точку x_{r-k} с R_0. Для левого глаза — это луч L_0 *3*, для правого глаза — луч R_0 *4*. Как видим, луч L_1 *1* параллелен лучу L_0 *3*, а луч R_1 *2* — лучу R_0 *4*, т.е. соответствующие лучи зрения виртуального наблюдателя и оператора перед экраном направлены на искомую точку под одинаковыми углами.

Следовательно, применение прямого стереооператора переменного ракурса $Si\{\}$ для реализации процедуры глубинного виртуального погружения внутрь графической стереосцены является обоснованным.

Кроме того, как видно из рисунка, с точки зрения оператора , находящегося перед экраном стереомонитора, в результате рассмотренной процедуры точка K переместилась в позицию K_V, и это перемещение произошло точно вдоль оси $0Z$ на величину $0{,}5\hat{z}_0$. Это свидетельствует о том, что такой же эффект погружения может быть достигнут и с помощью прямого стереооператора постоянного ракурса. При этом трехмерная стереосцена должна быть сдвинута в пространстве вдоль координаты Z в противоположном направлении.

Для аналитического подтверждения данного факта воспользуемся формулами обратного стереооператора постоянного ракурса $S_0^{-1}\{\}$ [1] при указанных выше параметрах. Обратный стереооператор постоянного ракурса $S_0^{-1}\{\}$ реализуется с помощью следующей процедуры: $\mathbf{V} = (\hat{z}_0 - Z - \dot{z})\, A^{-1}\mathbf{s} - \dot{\mathbf{c}}$, где A^{-1} — обратная матрица A, или в развернутом виде —

$$X = \frac{2a(x_l - \dot{x}) + (x_l - x_r)(\hat{x}_0 - a - \dot{x})}{2a + x_l - x_r}, \qquad (3)$$

$$Y = \frac{2a(\dot{y} - y) + (x_l - x_r)(\dot{y} - \hat{y}_0)}{2a + x_l - x_r},$$

$$Z = \frac{(\hat{z}_0 - \dot{z})(x_l - x_r) - 2a\dot{z}}{2a + x_l - x_r}. \qquad (4)$$

Подставив полученные значения $x_{l-k} = 2X_K + a - \hat{x}_0$ и $x_{r-k} = 2X_K - a - \hat{x}_0$ при $\dot{\mathbf{c}} = 0$ в (3) и (4), получим $X = X_K$, $Z = 0{,}5\hat{z}_0$.

Как видим, координата X для точки K_V осталась такой же, как и для точки K, а координата Z для точки K_V увеличилась на $0{,}5\hat{z}_0$, т.е. точно на такую величину, на какую уменьшилась глубинная координата $\hat{z}_i$ в векторе стереоракурса виртуального наблюдателя.

Выводы

Процедура глубинного погружения виртуального наблюдателя в стереопространство может быть реализована двумя способами: посредством изменения координаты Z вектора стереоракурса в прямом стереооператоре переменного ракурса $Si\{\}$ или посредством перемещения искомой графической стереосцены вдоль координаты Z в противоположном направлении при реализации прямого стереооператора постоянного ракурса $S_0\{\}$ и постоянном векторе $\hat{\mathbf{r}}_0$.

Применение второго способа дает основание считать, что процедура глубинного погружения в стереопространство, образованное на основе натурных стереосцен (стереофото, стереовидео), может быть реализована с использованием процедур наезда.

The paper proposes two ways of implementing the procedure of immersion in a virtual 3*D* graphic stereo model. The basis of the proposals is the use of direct stereooperators of constant and variable point of view.

1. *Груц Ю. Н.* Стереоскопическая машинная графика. — Киев : Наук. думка, 1989. — 169 с.
2. *Груц Ю. Н., Евдокимов В. Ф.* Математическая модель анализа стерео-изображений// Электрон. моделирование. — 2001. — **23**, № 6. — С. 106—112.

Поступила 15.11.10

ГРУЦ Юрий Николаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1967 г. окончил Киевский политехнический ин-т. Область научных исследований — разработка и исследование натурно-компьютерных стереоскопических систем моделирования и отображения трехмерной информации.