

образование. 1997. № 4. С. 20-24. 8. Сотрудничество с Россией в области технической защиты информатизации // Computer World. 1996. 26 июня. 9. Ринко-Гей У.Л. Сервер – это необязательно дорого // Мир ПК. 1997. № 7. С. 21-28. 10. Федоров А. Изучаем Internet // Компьютер Пресс. 1996. №8. С. 30-31.

*Поступила в редколлегию 03.12.98*

**Хайрова Нина Феликсовна**, старший преподаватель Харьковского гуманитарного института "Народная украинская академия". Адрес: Украина, 310000, г. Харьков, ул. Лермонтовская, 27, тел. 14-60-04. E-mail: cngi@nua.kharkov.ua.

---

УДК 681.323

*В.М. ГУСЯТИН, Я.В. ЧАГОВЕЦ*

## **АЛГОРИТМ ОТОБРАЖЕНИЯ САМОСВЕТАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ДЛ Я СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

---

### **1. Актуальность и постановка задачи**

Среди отображаемых в растровой системе визуализации объектов существуют так называемые самосветящиеся объекты (светосигнальное оборудование аэродрома, огни города и т.п.). Если такой объект (далее – огонь) попадает в проекцию пиксела, то в цвете этого пиксела должен учитываться цвет огня (даже при его малых размерах). При использовании метода обратного трассирования [1] такие объекты будут отображаться только при попадании на них проекционного луча. В то же время огонь пропускать нельзя. Поэтому возникает необходимость в алгоритме, который производит "захват" огня и его отнесение к ближайшему пикселу, обеспечивая тем самым постоянное отображение всех огней на экране. Для систем реального времени желательно, чтобы производительность алгоритма мало зависела от количества огней в предметной области.

Воспользуемся математической моделью [2], позволяющей синтезировать изображение предметной области на плоскости. В предлагаемом алгоритме каждому пикселу экрана поставим в соответствие так называемую "зону захвата", расположенную на предметной плоскости и являющуюся некоторой аппроксимацией проек-

ции данного пиксела. Благодаря этому проверка попадания огня в проекцию пиксела заменяется на проверку попадания его в зону захвата, что при соответствующей аппроксимации значительно уменьшает объем вычислений. Алгоритм при таком подходе состоит из двух этапов: 1) определение размеров и положения зоны захвата; 2) выбор огня, ближайшего к центру зоны, и проверка попадания его в зону захвата.

## 2. Математическая модель

### 2.1. Определение параметров зоны захвата.

Геометрические элементы задачи представлены на рис. 1 и соответствуют [2]. В процессе определения схемы решения данной задачи будем стремиться уменьшить объем вычислений, выполняемых для нахождения зоны захвата при сохранении требуемой точности. Учитывая такой подход, определим зону захвата как прямоугольную область с центром в точке  $P$  (точка пересечения проекционного луча для данного пиксела с предметной плоскостью), ориентированную так, что две из сторон прямоугольника будут перпендикулярны к проекционному лучу данного пиксела. Найдем стороны прямоугольника. Пусть экран будет ориентирован так, что его верхний и нижний края будут параллельны предметной плоскости.

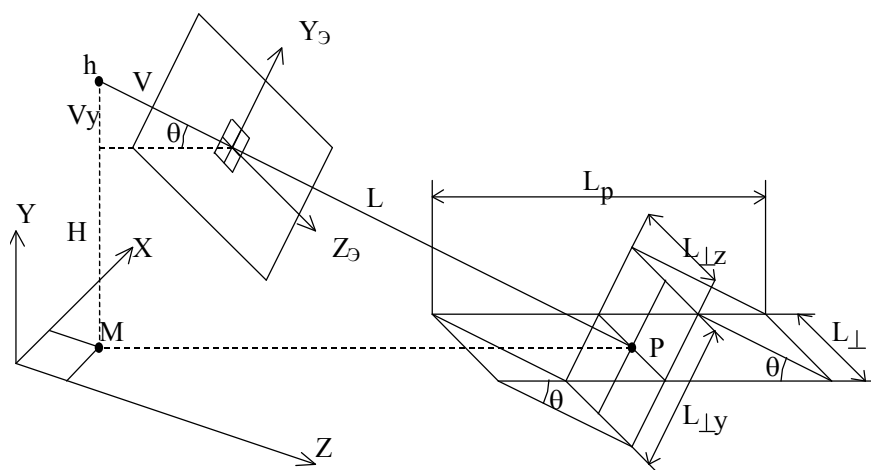


Рис. 1. Нахождение зоны захвата

Опустим из центра проекций вектор наблюдения  $\vec{V}$  перпендикулярно на экранную плоскость. Пусть точка пересечения его с экраном будет центром некоторого пиксела, имеющего размеры  $\Delta Y_{\text{э}}, \Delta Z_{\text{э}}$  вдоль осей  $Y_{\text{э}}$  и  $Z_{\text{э}}$  соответственно. Спроецируем данный пиксел на плоскость, параллельную экрану и проходящую через точку P пересечения проекционного луча длиной L с предметной плоскостью. Отрезок MP есть проекция отрезка hP на плоскость XZ. Определим L:

$$L = \frac{H \cdot V}{V_y}, \quad (1)$$

где H – y-составляющая проекционного луча в g-системе;  $V_y$  – y-составляющая вектора наблюдения в g-системе;  $V = |\vec{V}|$  – модуль вектора наблюдения.

Соотношения подобия:

$$\frac{V}{\Delta Y_{\text{э}}} = \frac{L}{L_{\perp Y}}; \quad \frac{V}{\Delta Z_{\text{э}}} = \frac{L}{L_{\perp Z}},$$

здесь  $L_{\perp Y}$  и  $L_{\perp Z}$  – размеры проекции пиксела вдоль осей  $Y_{\text{э}}$  и  $Z_{\text{э}}$  соответственно.

Выразим из этих соотношений  $L_{\perp Y}$  и  $L_{\perp Z}$  и подставим вместо L выражение (1):

$$L_{\perp Y} = \frac{H \cdot \Delta Y_{\text{э}}}{V_y}; \quad L_{\perp Z} = \frac{H \cdot \Delta Z_{\text{э}}}{V_y}.$$

Примем

$$L_{\perp} = L_{\perp Z} = \frac{H \cdot \Delta Z_{\text{э}}}{V_y}, \quad (2)$$

где  $L_{\perp}$  – поперечный размер зоны захвата.

Две другие стороны будут иметь длину

$$L_P = \frac{L_{\perp Y}}{\sin \theta} = \frac{HV \cdot \Delta Y_{\text{э}}}{V_y^2}, \quad (3)$$

здесь  $L_p$  – продольный размер зоны захвата;  $\theta$  – угол между проекционным лучом и предметной плоскостью;  $\sin \theta = V_y/V$ .

При других ориентациях экрана и других направлениях вектора наблюдения используем те же соотношения (2) и (3). В них параметры  $V$  и  $V_y$  берутся для каждого пиксела.

Найдем логарифм половины составляющей  $L_{\perp}$ :

$$LL_{\perp} \equiv \log_2\left(\frac{1}{2}L_{\perp}\right) = \log_2(H \cdot \Delta Z_{\vartheta}) - 1 - \log_2 V_y = LC_1 - LV_y, \quad (4)$$

где  $LC_1 = \log_2(H \cdot \Delta Z_{\vartheta}) - 1$  – константа для кадра;  $LV_y = \log_2 V_y$  – значение, получаемое для каждого пиксела в ходе выполнения центропроективного преобразования.

Если параметр  $V$  в течение кадра меняется незначительно, он может быть определен как константа. Тогда логарифм половины составляющей  $L_p$ :

$$LL_p \equiv \log_2\left(\frac{1}{2}L_p\right) = \log_2(HV \cdot \Delta Y_{\vartheta}) - 1 - 2\log_2 V_y = LC_2 - 2LV_y, \quad (5)$$

где  $LC_2 = \log_2(HV \cdot \Delta Y_{\vartheta}) - 1$  – константа для кадра.

Аппроксимация проекции пиксела зоной захвата, имеющей прямоугольную форму, упрощает вычисления, но при этом могут образоваться пустые места между соседними зонами захвата, что приведет к “потере” огня, попавших в эти пустые места. Устранить пустые места можно путем увеличения размеров зон захвата (что может быть достигнуто увеличением констант  $LC_1$  и  $LC_2$  на некоторые значения  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ ). При соответствующем подборе  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  можно добиться отсутствия пустых мест для любой ориентации экрана. При этом огонь будет отображаться на экране несколькими соседними пикселями.

2.2. Преобразование координат огня.

На рис. 2 представлены геометрические элементы рассматриваемой задачи. Приняты следующие соглашения:  $A_B^C$  обозначает координату  $A$  точки  $B$  в системе с началом координат, обозначенном буквой  $C$ . Используются системы координат:  $X, Z$  – прямоугольные координаты,  $R, \varphi$  – полярные координаты. Рассматриваемые точки:  $O$  – начало координат  $g$ -системы,  $P$  – точка пересечения проекционного луча с предметной плоскостью,  $F$  – огонь на

предметной плоскости,  $K$  – левый нижний угол ячейки, содержащей точку  $P$ . Введем прямоугольную систему координат  $X^P Z^P$ , ось  $Z^P$  которой является продолжением проекции вектора наблюдения  $V$  на плоскость  $XZ$  и которая повернута против часовой стрелки на угол  $\beta$  по отношению к системе координат  $X^P Z^P$ .

Обозначим дискретность задания координат на предметной плоскости через  $\Delta$ . Каждая из координат точки  $P$  ( $X_P^0$  и  $Z_P^0$ ) задана  $n$ -разрядным словом. Предметная плоскость поделена на квадратные ячейки со стороной  $D = 2^m \cdot \Delta$ . В этом случае группы старших ( $n - m$ ) разрядов соответствующих координат (обозначенные  $X_P$  и  $Z_P$ ) являются порядковыми номерами ячейки вдоль осей  $X$  и  $Z$ , а группы из  $m$  младших разрядов ( $X_P^K$  и  $Z_P^K$ ) – координатами внутри ячейки.

Количество и расположение огней внутри ячейки определяется кодом графического примитива огней (ГПО)  $N_{\text{ГПО}}$ . Код ГПО выбирается по адресу:

$$N_{\text{ГПО}} = f_1(X_P, Z_P) \quad (6)$$

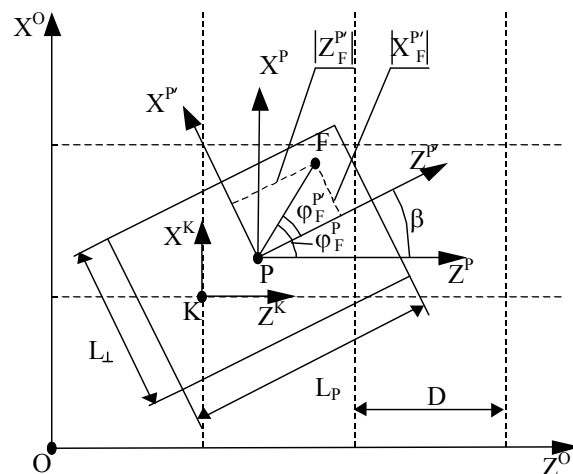


Рис. 2. Нахождение и преобразование координат огня

Зная  $X_P^K$  и  $Z_P^K$  и расположение огней в данной ячейке по  $N_{ГПО}$ , из всех огней этой ячейки выбираем ближайший к точке P. Обозначим его через F. Его координаты

$$X_F^K = f_2(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}), \quad Z_F^K = f_3(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО})$$

В системе P точка F имеет координаты:

$$\begin{aligned} X_F^P &= X_F^K - X_P^K = f_2(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - X_P^K; \\ Z_F^P &= Z_F^K - Z_P^K = f_3(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - Z_P^K. \end{aligned}$$

Найдем полярные координаты  $R_F^P, \varphi_F^P$  той же точки в системе P:

$$\begin{aligned} R_F^P &= \sqrt{(X_F^P)^2 + (Z_F^P)^2} = \\ &= \sqrt{(f_2(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - X_P^K)^2 + (f_3(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - Z_P^K)^2}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varphi_F^P &= f_4(X_F^P, Z_F^P) = \\ &= f_4(f_2(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - X_P^K, f_3(X_P^K, Z_P^K, N_{ГПО}) - Z_P^K), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $f_4(\ )$  - функция, вычисляющая полярный угол по прямоугольным координатам.

Найдем угол  $\beta$ :

$$\beta = f_4(V_X, V_Z), \quad (9)$$

где  $V_X, V_Z$  - x- и z-составляющие вектора наблюдения [2].

Полярные координаты точки F в системе P':

$$\begin{aligned} R_F^{P'} &= R_F^P, \\ \varphi_F^{P'} &= \varphi_F^P - \beta. \end{aligned} \quad (10)$$

Прямоугольные координаты той же точки в системе P':

$$X_F^{P'} = R_F^P \cdot \sin(\varphi_F^{P'}), \quad Z_F^{P'} = R_F^P \cdot \cos(\varphi_F^{P'})$$

Логарифм расстояния точки F до координатных осей системы P':

$$\begin{aligned} LL_X &= \log_2 |X_F^{P'}| = \log_2 R_F^P + \log_2 |\sin(\varphi_F^{P'})|; \\ LL_Z &= \log_2 |Z_F^{P'}| = \log_2 R_F^P + \log_2 |\cos(\varphi_F^{P'})|. \end{aligned} \quad (11)$$

Если удовлетворяется следующая система неравенств, то огонь попадает в проекцию пиксела:

$$\begin{cases} \frac{1}{2}L_P \geq |Z_F^{P'}|, \\ \frac{1}{2}L_{\perp} \geq |X_F^{P'}|, \end{cases} \text{ что эквивалентно } \begin{cases} \log_2(\frac{1}{2}L_P) \geq \log_2|Z_F^{P'}|, \\ \log_2(\frac{1}{2}L_{\perp}) \geq \log_2|X_F^{P'}|. \end{cases}$$

Произведя замену согласно (4), (5) и (11), получим

$$\begin{cases} LL_P \geq LL_Z, \\ LL_{\perp} \geq LL_X. \end{cases} \quad (12)$$

По выполнении условия (12) пиксел окрашивается цветом огня.

### 3. Алгоритм

На основе приведенной выше математической модели построим алгоритм обработки огней. Данный алгоритм использует только операции сложения и выборки из памяти, что позволяет аппаратно реализовать его для работы в системах реального времени. Сформулируем алгоритм в терминах аппаратной реализации.

1. Имейм координаты  $X_P^O, Z_P^O$  точки P в  $g$ -системе. Путем выделения разрядов получаем  $X_P, Z_P$  и  $X_P^K, Z_P^K$ .
2. Согласно (6) получаем  $N_{\text{ГПО}}$  путем выборки из памяти по адресу  $X_P, Z_P$ .
3. Таблично вычисляем  $R_F^P$  и  $\phi_F^P$  согласно (7) и (8) соответственно.
4. Вычисляем таблично  $\beta$  согласно (9).
5. Подавая на входы сумматора прямое значение  $\phi_F^P$  и инверсное значение  $\beta$ , на выходе сумматора получаем  $\phi_F^{P'}$  согласно (10).
6. Таблично вычисляем  $LL_X$  и  $LL_Z$  по формулам (11).
7. Подавая на входы сумматора прямое значение  $LC_1$  и инверсное значение  $LV_Y$ , получаем на выходе  $LL_{\perp}$  согласно (4).
8. Подавая на входы сумматора прямое значение  $LC_2$  и сдвинутое на 1 разряд в сторону старших разрядов инверсное значение  $LV_Y$ , получаем на выходе  $LL_P$  согласно (5).

9. Каждое из неравенств (12) проверяем на соответствующем сравниваемом устройстве. На входы этих устройств подаются:  $LL_{\perp}$  и  $LL_{\chi}$ ;  $LL_{\rho}$  и  $LL_{z}$ . Состояние логической "1" на выходе вырабатывается в случае выполнения условия.

10. Сигнал "подсветка пиксела" вырабатывается, если на выходах обоих устройств по п.9 сформирован сигнал логической "1" и  $N_{\text{тпо}}$  указывает на наличие в ячейке хотя бы одного огня. В противном случае сигнал не вырабатывается.

Положительным качеством данного алгоритма является то, что требования к его производительности не возрастают с увеличением числа огней. Предложенный алгоритм использован при построении системы визуализации, опытные образцы которой установлены и работают в г. Киеве в Украинском государственном учебно-сертификационном центре гражданской авиации на комплексном тренажере КТС Ту-154М, а также в Харьковском институте летчиков на тренажере летчика ТЛ-39.

**Список литературы:** 1. Иванов В.Б., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика. М.: Радио и связь, 1995. 224 с. 2. Гусятин В.М. Математическая модель геометрической обработки изображения на плоскости для растровых систем визуализации // Труды УНИИРТ, 1997. №3, 4. С. 42-45.

*Поступила в редколлегию 19.10.98*

**Гусятин Владимир Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин ХТУРЭ. Научные интересы: теория и практика построения спецпроцессоров растровых графических систем реального времени. Адрес: Украина, 310726, Харьков, просп. Ленина, 14, тел. 40-93-54, 66-61-22.

**Чаговец Ярослав Васильевич**, аспирант кафедры электронных вычислительных машин ХТУРЭ. Научные интересы: алгоритмы и аппаратная реализация синтеза изображения систем реального времени. Увлечение: туризм. Адрес: Украина, 310141, Харьков, ул. Ключковская, 197-б, кв. 124, тел. 40-93-54.