

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

На правах рукописи

КОБА Юрий Анатольевич

УДК 681.327

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТУР И СПЕЦЭФФЕКТОВ
В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ

Специальность 05.13.13 — Вычислительные машины,
комплексы, системы и сети

А в т о р е ф е р а т
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825635 (T)

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

На правах рукописи

КОБА Юрий Анатольевич

УДК 681.327

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ
ТЕКСТУР И СПЕЦЭФФЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ

Специальность 05.13.13 - Вычислительные машины, комплексы,
системы и сети

Автореферат на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1992

ДВ 26.610

УЧЕБНО-НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Работа выполнена в Донецком политехническом институте.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Башков Е.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук Стасюк А.И., кандидат технических наук Третьяков С.И.

Ведущая организация - Институт кибернетики им. В.М. Глушкова АН Украины.

Защита состоится "18" февраля 1993 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д016.61.01 Института проблем моделирования в энергетике АН Украины по адресу 252680, г.Киев-164, ул.Генерала Наумова, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем моделирования в энергетике АН Украины.

Автореферат разослан "18" декабря 1992 г.

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью, просим прислать по указанному адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук Э.П.Семагина

АНБ Из. В. Стасюк
АН УР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Одной из задач машинной графики является генерация изображений в реальном времени (РВ), которая используется в различных областях применения: авиатренажеры, модели, сценарии динамических сцен виртуального пространства, для решения задач обработки изображений и распознавания образов, САПР, синтез мультфильмов, рекламы и пр.

Системы генерации изображений в РВ должны обладать большой производительностью для создания у наблюдателя иллюзии плавности движения. Обеспечение режима РВ предполагает частоту смены кадров 25-40 Гц. При этом за время одного кадра (25-40 мс) система визуализации должна успеть сформировать синтетический образ сцены, который по-возможности максимально бы соответствовал реальности. Причем в последние годы на системы подобного рода налагаются повышенные требования к адекватности отображения синтезируемой сцены, что приводит к увеличению детализовки изображения, генерации теней, текстур, спецэффектов и пр. Все это вызывает необходимость дальнейшего повышения производительности систем генерации. Поэтому представляется актуальной задача разработки методов и вычислительных устройств, которые позволяли бы осуществлять генерацию изображений с наименьшими вычислительными затратами. Решение этой задачи приведет к увеличению сложности и информативности генерируемых сцен при одинаковой производительности.

В связи с этим, целью диссертационной работы является разработка и исследование вычислительных структур для генерации текстур и спецэффектов в системах визуализации окружающей обстановки, работающих в режиме РВ и обеспечивающих увеличение информативности генерируемых сцен.

Методы исследований. В работе использованы методы аналитической геометрии, линейной алгебры, элементы математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, а также логические и схемотехнические методы анализа и синтеза вычислительных устройств. Исследование правильности теоретических положений разработочного инкрементного метода синтеза текстур проводилось имитационным моделированием.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Разработан инкрементный метод синтеза текстур, который по сравнению с базовым на порядок производительнее. Проведено исследование метода при линейной, кусочно-линейной и параболической аппроксимации координаты z .

2. Предложены методики подготовки параметров текстурирования при линейной, кусочно-линейной и параболической аппроксимации координаты z , основанные на минимизации абсолютных ошибок аппроксимации.

3. Предложен способ организации конвейерной вычислительной системы для разложения в растр с одинаковой производительностью как интерполированных по цвету, так и текстурированных граней.

4. Предложены и исследованы способы организации пиксельных процессоров (ПП) конвейерной вычислительной системы при линейной и параболической аппроксимации координаты z .

Практическая ценность работы заключается в разработке структур вычислительных устройств для генерации текстур и спецэффектов:

- структуры конвейерной вычислительной системы, позволяющей генерировать как интерполированные по цвету, так и текстурированные грани с одинаковой производительностью;

- организации видеопроцессора системы визуализации, включающей наряду с буфером кадра n текстурных карт, что позволяет генерировать в одном кадре до n типов текстур;

- структур ПП при линейной и параболической аппроксимации координаты z ;

- структур вычислительных устройств генерации графических образов (ГО), заданных матрицей интенсивности и цепным кодом;

- структуры специализированного процессора, предназначенного для использования в составе геометрического процессора и позволяющего выполнять визуализацию огней с учетом психофизиологического восприятия человеком точечных источников.

Работоспособность разработанных структур проверена имитационным моделированием и испытанием макетного образца. Новизна предлагаемых технических решений подтверждается авторскими свидетельствами.

Реализация и внедрение результатов. Полученные результаты использованы при разработке макетного образца специализированного процессора генератора синтезированного видеосигнала и принципов

организации и функционирования аппаратно-микропрограммной части оптической системы посадки (ОСП) на Московском машиностроительном заводе им. А.И.Микояна, что подтверждено соответствующим актом. Соответствующим актом подтверждено также внедрение результатов диссертационной работы в учебный процесс в Донецком политехническом институте. Кроме того результаты исследований используются в гос. и хозяйственной научно-исследовательской работе, проводимой на кафедре ЭВМ Донецкого политехнического института.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на третьем научно-техническом семинаре "Математическое обеспечение систем с машинной графикой" (г.Устинов, 1986 г.), на четвертом научно-техническом семинаре "Математическое обеспечение систем с машинной графикой" (г.Суздаль, 1986 г.), на пятом научно-техническом семинаре "Математическое обеспечение систем с машинной графикой" (г.Ижевск, 1988 г.), на Всесоюзной научно-методической конференции "Педагогические и психологические аспекты компьютеризации образования (высшая школа)" (г.Рига, 1988 г.), на международной научной конференции для студентов и молодых научных работников "Приложение компьютерных технологий в производстве" (г.Варна, Болгария, 1989 г.), на XIV научно-методической конференции "Компьютерные технологии обучения и управления вузом" (г.Донецк, 1992).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа содержит введение, пять глав и заключение, изложенные на 146 страницах машинописного текста, 57 рисунков, 19 таблиц, список литературы, содержащий 112 наименований, и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемых в диссертационной работе задач и указывается логическая взаимосвязь глав.

В первой главе проводится анализ существующих подходов к решению задач повышения степени реализма синтезируемых сцен. Ввиду большого разнообразия подходов к данной проблеме в качестве предмета исследования в данной диссертационной работе выбраны только методы генерации текстур и некоторые виды спецэффектов, а именно - отобра-

жение точечных источников света (огней) и масштабирование ГО, заданных либо матрицей интенсивности, либо цепным кодом.

В целях формализации решения задачи текстурирования трехмерных поверхностей в режиме РВ дается ее общая постановка.

Задана мировая система координат (X_M, Y_M, Z_M) , в которой независимо друг от друга находятся объект текстурирования и наблюдатель (рис.1). Топология и геометрические размеры объекта известны и заданы в системе координат объекта (X, Y, Z) с началом в точке $\vec{P}_O = \{x_O, y_O, z_O\}$. Положение глаза наблюдателя $\vec{P}_N = \{x_N, y_N, z_N\}$ совпадает с началом системы координат наблюдателя (X_N, Y_N, Z_N) , а направление взгляда - с осью Z_N . Сцена освещается рассеянным светом и l точечными источниками света I_1, I_2, \dots, I_l , находящимися на расстояниях r_1, r_2, \dots, r_l от начала координат системы (X_M, Y_M, Z_M) . Направления на точечные источники известны и заданы векторами $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_l$. Кроме того независимо от мировой системы координат (X_M, Y_M, Z_M) задана в общем случае n -мерная система координат $(U, V, S \dots)$ текстурной карты или шаблона текстуры. В каждый момент времени известны векторы $\vec{P}_O = \{x_O, y_O, z_O\}$ и $\vec{P}_N = \{x_N, y_N, z_N\}$. Задача синтеза текстурированного объекта разбивается на два этапа. На первом производится проецирование n -мерной текстурной карты в систему координат объекта (X, Y, Z) с точкой привязки $\vec{P}_\Pi = \{x_\Pi, y_\Pi, z_\Pi\}$, а на втором - проецирование трехмерного текстурированного объекта на плоскость обзора наблюдателя, которая расположена перпендикулярно направлению взгляда на фиксированном расстоянии d . Обычно в системах синтеза ограничиваются некоторым прямоугольным окном обзора, называемым экраном. В англоязычной литературе описанный процесс называется "mapping" (отображение, картирование), поэтому, вследствие отсутствия устоявшихся русскоязычных терминов, в дальнейшем для простоты процесс отображения текстурной карты на объект текстурирования и проецирование последнего на экран будем называть "мэшингом".

Задача синтеза в реальном времени заключается в формировании последовательности кадров изображений объекта со скоростью, достаточной для обеспечения иллюзии плавности движения. При этом возможности максимально должна быть соблюдена адекватность смоделированной и заданной в виде шаблона текстуры.

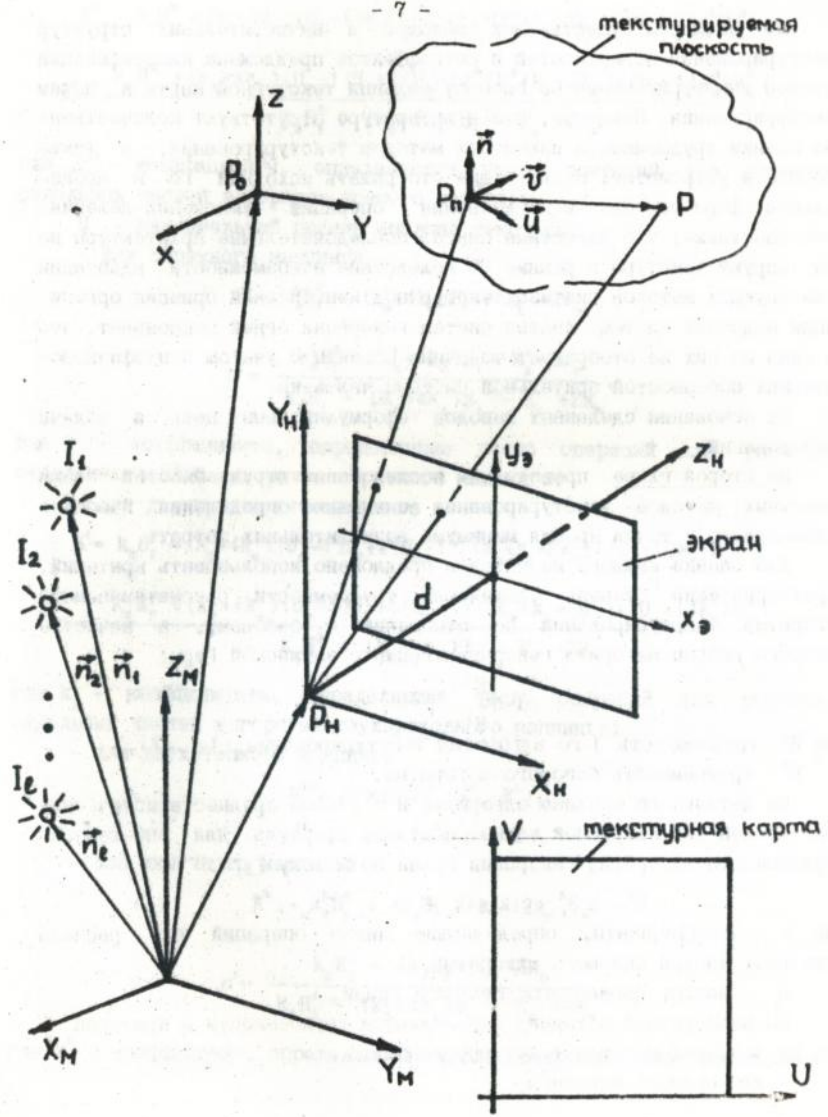


Рис.1. Постановка задачи текстурирования поверхности подвижного трехмерного объекта

Из анализа существующих методов и вычислительных структур текстурирования поверхностей и спецэффектов предложена классификация методов текстурирования по способу задания текстурной карты и целям текстурирования. Показано, что в литературе отсутствуют количественные оценки трудоемкости известных методов текстурирования, а также способы и устройства, позволяющие отображать исходный ГО в произвольном формате без использования операций умножения-деления. Показано также, что известные пиксел-последовательные архитектуры не синхронизируют текстуры в режиме FB вследствие невозможности адаптации существующих методов синтеза текстур под конвейерный принцип организации подобных систем. Анализ систем генерации огней показывает, что ни одна из них не отображает точечные объекты с учетом психофизиологических особенностей зрительной системы человека.

На основании сделанных выводов сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе проводится исследование трудоемкостей семи известных методов текстурирования с целью определения наиболее оптимального с точки зрения минимума вычислительных затрат.

Для оценки каждого из методов предложено использовать критерий, характеризующий степень увеличения трудоемкости рассматриваемого алгоритма текстурирования по отношению к базовому, в качестве которого выбран алгоритм генерации грани с закраской Гуро:

$$\alpha^j = \frac{K^j}{K^G},$$

где K^j - трудоемкость j -го алгоритма текстурирования ($j=1..7$),

K^G - трудоемкость базового алгоритма.

Из детального анализа алгоритма и с учетом среднестатистических показателей синтезируемой сцены получена формула для определения трудоемкости алгоритма генерации грани по методу Гуро:

$$K^G = k_2 N_1^2 + (k_3 + 4k_4) N_1 + k_1 + 2k_5, \quad (I)$$

где k_i - коэффициенты, определяющие число операций для расчета отдельных частей базового алгоритма,

N_1 - высота среднестатистической грани.

По аналогичной методике определяются трудоемкости и критерий α для исследуемых методов текстурирования:

- для прямого метода

$$K^d = k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)(U_m - 1)H_f + [(U_m - 1)(k_3^d + k_4 + 2k_5) + (U_m - 1)k_2^d + k_1^d],$$

$$\alpha^d = \frac{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)(U_m - 1)H_f + [(U_m - 1)(k_3^d + k_4 + 2k_5) + (U_m - 1)k_2^d + k_1^d]}{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1 + 2k_5},$$

где k_j^d - коэффициенты, определяющие число операций для расчета отдельных частей алгоритма прямого мэшинга,

U_m - максимальный размер шаблона текстуры;

- для обратного мэшинга

$$K^i = k_2^i H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1^i + 2k_5,$$

$$\alpha^i = \frac{k_2^i H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1^i + 2k_5}{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1 + 2k_5},$$

где k_j^i - коэффициенты, определяющие число операций для расчета отдельных частей алгоритма обратного мэшинга;

- для двухпроходного мэшинга

$$K^l = k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)(U_m - 1)H_f + [(U_m - 1)(k_3^l + k_4 + 2k_5) + (U_m - 1)k_2^l + k_1^l],$$

$$\alpha^l = \frac{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)(U_m - 1)H_f + [(U_m - 1)(k_3^l + k_4 + 2k_5) + (U_m - 1)k_2^l + k_1^l]}{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1 + 2k_5},$$

где k_j^l - коэффициенты, определяющие число операций для расчета отдельных частей алгоритма двухпроходного мэшинга;

- для двухэтапного мэшинга

$$K^{lp} = 2 \min(K^d, K^i, K^l),$$

$$\alpha^{lp} = 2 \min(\alpha^d, \alpha^i, \alpha^l),$$

- для шилечного мэшинга

$$K^b = k_2^b H_f^2 + 4k_4 H_f + k_1 + 2k_5,$$

$$\alpha^b = \frac{k_2^b H_f^2 + 4k_4 H_f + k_1 + 2k_5}{k_2 H_f^2 + (k_3 + 4k_4)H_f + k_1 + 2k_5},$$

где k_2^b - коэффициент, определяющий число операций для нахождения

интенсивности в каждой точке;

- для структурного мэшинга

$$K^{st} = k_2^1 H_1^2 + \beta (k_3^1 + 4k_4) H_1 + \beta^2 (k_1^1 + 2k_5) ,$$

$$\alpha^{st} = \frac{k_2^1 H_1^2 + \beta (k_3^1 + 4k_4) H_1 + \beta^2 (k_1^1 + 2k_5)}{k_2 H_1^2 + (k_3 + 4k_4) H_1 + k_1 + 2k_5} ,$$

где β - коэффициент уменьшения текстурной карты;

- для статистического текстурирования

$$K^s = H_1^2 k (L-1) (k_3^s + L^2 k_4^s) ,$$

$$\alpha^s = \frac{H_1^2 k (L-1) (k_3^s + L^2 k_4^s)}{k_2 H_1^2 + (k_3 + 4k_4) H_1 + k_1 + 2k_5} ,$$

где k - число матриц пространственных средних второго порядка,

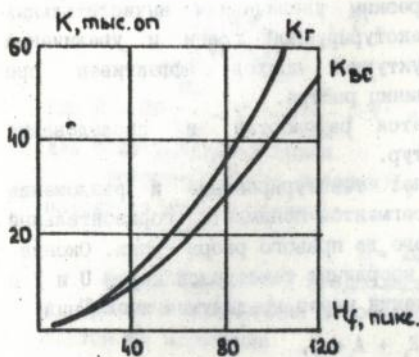
L - число отображаемых полутонов,

k_j^s - коэффициенты, определяющие число операций для расчета отдельных частей алгоритма статистического текстурирования.

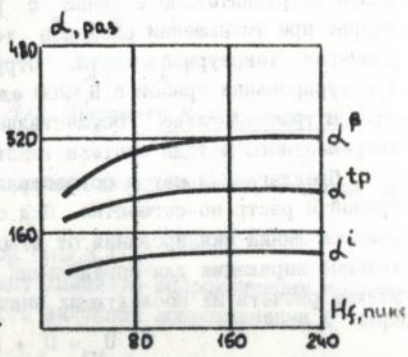
Для проверки правильности полученной теоретической оценки трудоемкости базового алгоритма были выполнены серии экспериментов, заключающиеся в генерации различных по форме граней с неизменной площадью H_1^2 . По каждой серии вычислены выборочные средние $K_{вс}$, характеризующие трудоемкость генерации среднестатистической грани. Для сравнения с полученными значениями из детального анализа алгоритма были определены коэффициенты $k_1 - k_5$ и из (I) вычислена теоретическая трудоемкость K_T генерации грани.

Как видно из рис.2а, полученные экспериментальные данные всегда меньше теоретических, что связано с методикой расчета коэффициентов $k_1 - k_5$, которая учитывает наихудшие варианты прохождения алгоритма. Следовательно выражение (I) можно использовать в качестве верхней оценки трудоемкости алгоритма генерации грани с закраской Гуро. Допустимо предположить, что выведенные соотношения для расчетов трудоемкостей рассмотренных алгоритмов текстурирования при определении необходимых коэффициентов по вышеуказанной методике также дадут верхнюю оценку трудоемкости.

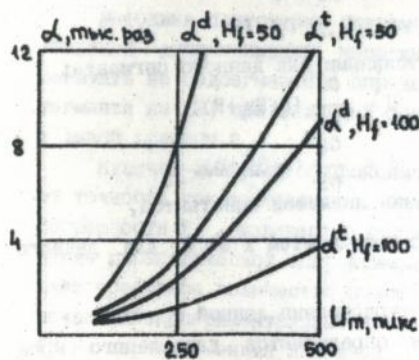
Анализ графиков (рис.2б,в,г) показывает, что наиболее и наиме-



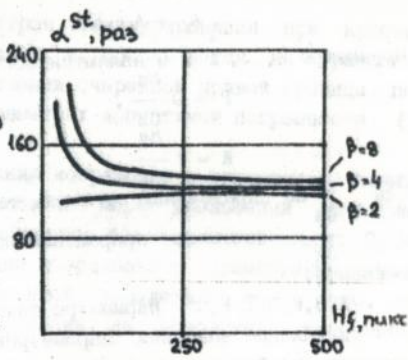
a)



б)



в)



г)

Рис.2. Графики зависимостей параметра α для различных алгоритмов текстурирования

нее трудоемким является соответственно статистическое текстурирование и обратный мэппинг. Использование прямого и двухпроходного мэппинга затруднительно в связи с резким увеличением вычислительных затрат при уменьшении размеров текстурируемой грани и увеличении размеров текстурной карты. Структурный подход эффективен при текстурировании грани с $N_i > 200$ единиц раstra.

В третьей главе осуществляется разработка и исследование инкрементного метода синтеза текстур.

Предлагаемый метод осуществляет текстурирование и разложение граней в растр по-сегментно. Под сегментом понимается горизонтальный участок линии сканирования от левого до правого ребра грани. Окончательные выражения для определения координат текстурной карты U и V с учетом расчета их последующих значений через предыдущие имеют вид:

$$U_{i+1} = U_i + K_i + A_i + J,$$

$$V_{i+1} = V_i + P_i + D_i + Q,$$

где параметры K_i, A_i, P_i и D_i вычисляются также инкрементным способом:

$$K_{i+1} = K_i + K,$$

$$P_{i+1} = P_i + P,$$

$$A_{i+1} = A_i + K,$$

$$D_{i+1} = D_i + P.$$

Параметры K, J, P и Q являются постоянными для данного сегмента:

$$P = D \frac{\partial z}{\partial x},$$

$$Q = \frac{\partial z}{\partial x} (D + E y_i + F),$$

$$K = A \frac{\partial z}{\partial x},$$

$$J = \frac{\partial z}{\partial x} (A + B y_i + C),$$

где $\frac{\partial z}{\partial x}$ по определению сегмента также является константой,

$\frac{\partial z}{\partial x}$ — отношение приращений по координатам x и z для данного сегмента,

A, B, C, D, E, F, G — параметры текстурирования данной грани.

Начальные значения параметров определяются для левого края сегмента по формулам

$$U_L = (A x_L + B y_L + C) z_L,$$

$$V_L = (D x_L + E y_L + F) z_L,$$

$$K_L = K x_L,$$

$$P_L = P x_L,$$

$$A_L = A z_L,$$

$$D_L = D z_L.$$

Принцип инкрементности можно распространить и на нахождение

уровня текстурной карты S для "mir"-мэппинга, предполагающего многоуровневое кодирование шаблона текстуры:

$$S_{i+1} = S_i + R_i + T', \quad R_{i+1} = R_i + T.$$

$$S_L = Nz_L^2, \quad R_L = Rz_L.$$

где $R = 2N \frac{\delta z}{\delta x}$, $T = R \frac{\delta z}{\delta x}$, $T' = T/2$. Параметр N является константой для текстурируемой грани.

Требуемый адрес выборки L_i уровня детализации текстурной карты находится из соотношения:

$$L_i = \log_2(\log_2 S_i).$$

Изложенный метод предполагает линейную аппроксимацию координаты z. При этом абсолютная погрешность линейной аппроксимации ξ^L определяется из выражения

$$\max(\xi^L) = (\sqrt{z_{\Pi}} - \sqrt{z_L})^2, \quad (2)$$

где z_L и z_{Π} - значения координаты z на левой и правой границе сегмента.

Методика подготовки параметров текстурирования при кусочно-линейной аппроксимации координаты z основывается на разбиении сегмента на подсегменты и определении очередной правой границы подсегмента из (2) при заданных параметрах допустимой погрешности ξ_{\max}^L и левой границы z_L .

Кусочно-линейная аппроксимация координаты z значительно повышает точность текстурирования. Однако по мере уменьшения допустимой погрешности ξ_{\max}^L количество подсегментов будет увеличиваться. Применение параболической аппроксимации координаты z существенно уменьшает требуемое количество подсегментов вследствие того, что, как показали экспериментальные исследования, ее абсолютная погрешность ξ^{Π} на порядок меньше линейной.

Окончательные соотношения для расчета координат текстурной карты U, V и уровня детализации S при параболической аппроксимации координаты z имеют вид:

$$U_{i+1} = U_i + A_i + B_i + C_i, \quad C_{i+1} = C_i + K_i + A_i' + K,$$

$$A_{i+1} = A_i + A_i', \quad A_i' = A_i' + K,$$

$$V_{i+1} = V_i + J,$$

$$K_{i+1} = K_i + K.$$

Начальные значения параметров и сегментные константы определяются из соотношений:

$$U_{\text{Л}} = (Ax_{\text{Л}} + By_{\text{Л}} + C)z_{\text{Л}},$$

$$C_{\text{Л}} = Ax_{\text{Л}}W_{\text{Л}},$$

$$A_{\text{Л}} = Az_{\text{Л}},$$

$$K_{\text{Л}} = Kx_{\text{Л}},$$

$$A'_{\text{Л}} = AW_{\text{Л}},$$

$$J = 2b_2(A + By + C),$$

$$B_{\text{Л}} = W_{\text{Л}}(A + By_{\text{Л}} + C),$$

$$K = 2Ab_2.$$

$$W_{\text{Л}} = 2b_2x_{\text{Л}} + b_2 + b_4.$$

Соотношения для расчета параметров текстурирования для координаты V имеют вид:

$$V_{i+1} = V_i + D_i + E_i + F_i,$$

$$D_{\text{Л}} = Dz_{\text{Л}},$$

$$D_{i+1} = D_i + D'_i,$$

$$E_{\text{Л}} = W_{\text{Л}}(D + Ey + F),$$

$$D'_{i+1} = D'_i + P,$$

$$F_{\text{Л}} = Dx_{\text{Л}}W_{\text{Л}},$$

$$E_{i+1} = E_i + Q,$$

$$D'_{\text{Л}} = DW_{\text{Л}},$$

$$F_{i+1} = F_i + P_i + D'_i + P,$$

$$P_{\text{Л}} = Px_{\text{Л}},$$

$$P_{i+1} = P_i + P,$$

$$P = 2Db_2,$$

$$V_{\text{Л}} = (Dx_{\text{Л}} + Ey_{\text{Л}} + F)z_{\text{Л}},$$

$$Q = 2b_2(D + Ey + F).$$

Расчет уровня текстурной карты S_i при параболической аппроксимации координаты имеет свои особенности, связанные с необходимостью расчета квадрата значения координаты z :

$$S_{i+1} = S_i + R_i + T_i,$$

$$R_{\text{Л}} = 2Nz_{\text{Л}}W_{\text{Л}},$$

$$T_{i+1} = T_i + N_i + T,$$

$$T_{\text{Л}} = NW_{\text{Л}}^2,$$

$$N_{i+1} = N_i + T',$$

$$N_{\text{Л}} = 4Nb_2W_{\text{Л}},$$

$$R_{i+1} = R_i + M_i + T'_i + N_i,$$

$$M_{\text{Л}} = 4Nb_2z_{\text{Л}},$$

$$M_{i+1} = M_i + N_i,$$

$$T = 4b_2^2,$$

$$T'_i = 2T_i,$$

$$T' = 2TN.$$

$$S_{\text{Л}} = Nz_{\text{Л}}^2.$$

Коэффициенты параболической аппроксимации b_0 , b_1 , b_2 определяются по формулам

$$b_2 = \frac{1}{x_L - x_C} \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{z_C - z_{II}}{x_C - x_{II}} \right),$$

$$b_1 = \frac{z_C - z_{II}}{x_C - x_{II}} - \frac{x_C + x_{II}}{x_L - x_C} \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{z_C - z_{II}}{x_C - x_{II}} \right),$$

$$b_0 = z_{II} - x_{II} \left(\frac{z_C - z_{II}}{x_C - x_{II}} - \frac{x_C}{x_L - x_C} \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{z_C - z_{II}}{x_C - x_{II}} \right) \right),$$

где индексами обозначены координаты левого (л), правого (п) края сегмента и некоторой средней точки (с), принадлежащей сегменту.

Исследования показали, что точное определение координат средней точки, которые минимизировали абсолютную погрешность аппроксимации ξ^{Π} , является трудновыполнимой задачей. Поэтому предложена методика расчета параметров текстурирования при параболической аппроксимации координаты z , предполагающая предварительный расчет и формирование таблиц z_{II}^i и z_C^i .

Сравнение разработанного инкрементного метода синтеза текстур с обратным мэппингом показывает, что предложенный метод на порядок производительнее базового.

В четвертой главе разрабатывается организация системы синтеза текстурированных изображений в режиме РВ.

Конвейер из m ПП (рис.3) начинается начальным процессором (НП), куда из геометрического процессора (ГП) поступают начальные параметры для левого края сегмента в определенном порядке в виде так называемых "ярычков". Система предполагает наличие трех видов "ярычков": "ярылок-цвет", "ярылок-текстура" и "ярылок-визуализация". Обработка ведется по каждой сканирующей строке. Геометрический процессор формирует цепочку из "ярычков-цвета" и "ярычков-текстуры" для данной сканирующей строки и последовательно загружает ее в НП, который в свою очередь проталкивает ее в ПП₁, ПП₁ - в ПП₂ и т.д. Каждый ПП обрабатывает поступающий на его вход "ярылок" и передает преобразованные данные далее по конвейеру. Цепочка из "ярычков" для текущей сканирующей строки завершается "ярычком-визуализацией", при обработке которого производится выталкивание на общую шину полученных в процессе расчета данных в виде опроцессор (ОП). Такими данными для каждого ПП являются параметры цвета $R_C G_C B_C$ для "ярылка-цвета" или

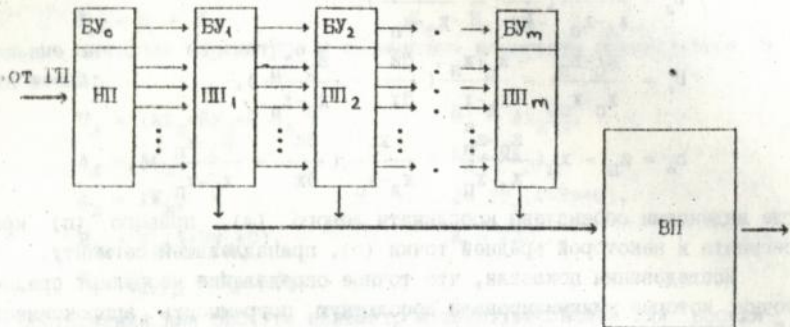


Рис. 3. Организация системы синтеза изображений в реальном времени

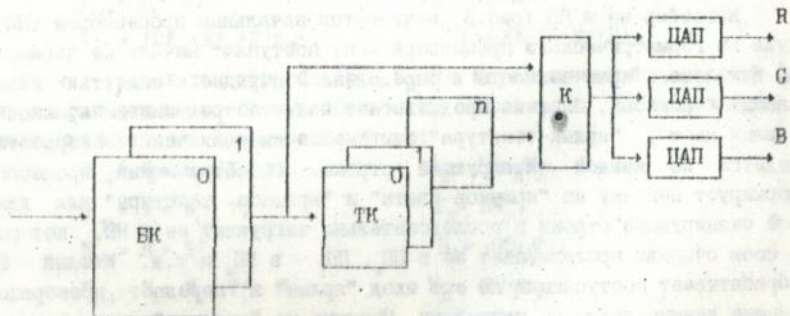


Рис. 4. Организация видеопроцессора системы визуализации

UVS для "ярлика-текстуры".

Для обработки поступающей информации разработана структура ВП (рис.4), особенностью организации которого является п текстурных карт, что позволяет отображать в одном кадре до п типов текстур.

Разработаны также структуры ПП при линейной и параболической аппроксимации координаты z, предполагающие обработку каждого "ярлика" в течение шести микротактов. Показано, что ПП с параболической аппроксимацией координаты z может функционировать в режиме линейной аппроксимации, что позволяет варьировать различными режимами аппроксимации в зависимости от сложности сцены и степени загрузки конвейера.

Для обеспечения точности расчета координат текстурной карты, которая не должна превышать порогового значения на правой границе сегмента, потребуется γ_d разрядов дробной части операционной части (ОУ) ПП, которые находятся из соотношений

- для линейной аппроксимации координаты z

$$\gamma_d = 2E(\log_2(N+1)) + 1,$$

- для параболической аппроксимации координаты z

$$\gamma_d = E\left[\log_2[(N+1)(2N+1)]\right] + 1,$$

где N - максимальный размер раstra экрана по горизонтали,

$E(K)$ - целая часть числа K.

Производительность предложенной системы синтеза оценивается по формуле

$$K_C = \frac{t_B - 6mt}{6H_i t}$$

где K_C - число генерируемых граней за кадр,

H_i - средняя высота грани,

t_B - время визуализации одного кадра,

t - длительность одного микротакта,

m - число строк раstra экрана.

При длительности такта 100 нс ожидаемая производительность за кадр составляет свыше 6500 граней со средней высотой 10 строк раstra и свыше 650 граней при средней высоте 100 строк или около 16500 граней в секунду. Уменьшение длительности такта приводит к значительному

АНБ им. В. Стефановича
АН УРСР

повышению производительности особенно при малых значениях средних высот граней H_r .

Теоретические положения инкрементного метода, структуры III, оценки выбора разрядной сетки III и методики подготовки параметров текстурирования проверены имитационным моделированием.

Определен состав и основные технические требования к ГП. Геометрический процессор (рис.6) состоит из сценографического процессора и сегментатора.

Производительность сегментатора оценивается по формуле

$$P_{\text{сег}} = k_c H_r k^T,$$

где k^T - количество элементарных операций для расчета параметров текстурирования для одного сегмента. График зависимости производительности сегментатора от длительности микротакта конвейера III изображен на рис.7а.

Пропускная способность шины "ГП-III" оценивается по формуле

$$V = n_{\text{вх}} \left(\frac{1}{6t} - \frac{m}{t_b} \right),$$

где $n_{\text{вх}}$ - количество входных шин III ($n_{\text{вх}}=6$ для III с линейной аппроксимацией координат z и $n_{\text{вх}}=8$ для III с параболической аппроксимацией координаты z). График зависимости пропускной способности шины "ГП-III" от длительности микротакта конвейера III изображен на рис.7б.

В пятой главе разрабатывается способ и устройства для масштабирования ГО, заданного матрицей интенсивности и цепным кодом, а также организация специализированного процессора для визуализации огней.

Для ГО, заданного матрицей интенсивности с размерами $M \times N$ элементов, задача масштабирования заключается в его преобразовании в произвольное поле с геометрическими размерами $\Delta X \cdot \Delta Y$ элементов раstra.

Процесс преобразования ГО разбивается на два этапа. На первом, подготовительном, этапе осуществляется расчет коэффициентов увеличения каждого элемента исходной матрицы ГО. Для этого необходимо произвести линейную интерполяцию диагонали прямоугольника со сторонами по горизонтали и вертикали соответственно ΔX и M . Аналогичные действия необходимо произвести для расчета коэффициентов увеличения по координате Y , но для прямоугольника со сторонами соответственно N и

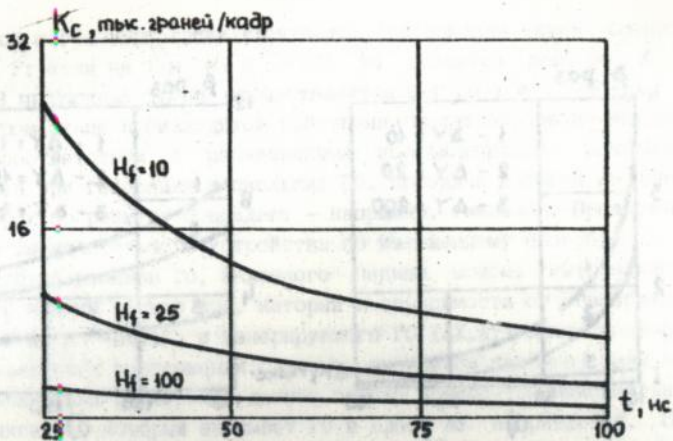


Рис. 5. График зависимости производительности системы от длительности микрокадра ПП

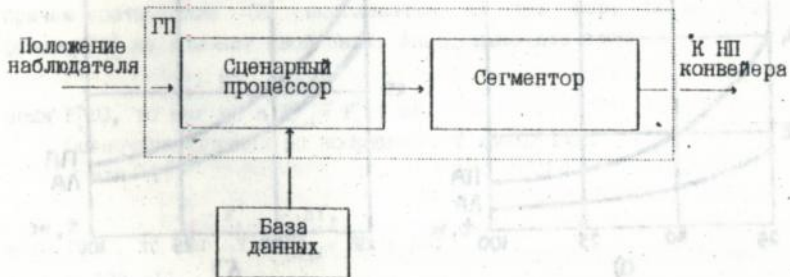


Рис. 6. Структура геометрического процессора

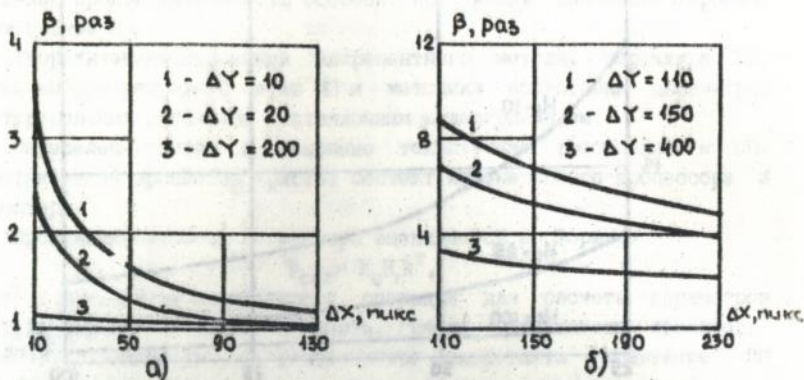


Рис.7. График зависимости производительности сегментора (а) и пропускной способности шины "ГП-ШП" (б) от длительности микротакта ШП при линейной (ЛА) и параболической (ПА) аппроксимации координаты z

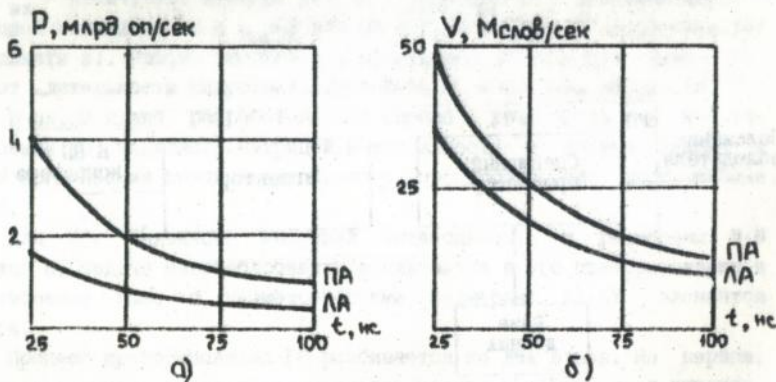


Рис.8. График зависимости $\beta=f(\Delta X, \Delta Y)$ при
а) $M=7, N=8$, б) $M=100, N=100$

ΔY . Очередной шаг интерполяции выбирается при анализе знака оценочной функции F : если на i -м шаге $F_i \geq 0$, то делается шаг по X и $F_{i+1} = F_i - \Delta X$. В противном случае осуществляется шаг по Y и $F_{i+1} = F_i + \Delta Y$.

На втором этапе производится собственно масштабирование каждого элемента в соответствии с рассчитанными коэффициентами. Описанный подход удобен при генерации нескольких ГО, исходные матрицы инерционностей которых по размеру совпадают - например, символов. Предложена организация вычислительного устройства по изложенному способу.

При масштабировании ГО, заданного цепным кодом, интерполяции подвергается каждый цепной код, который в зависимости от габаритных размеров исходного ($\Delta M, \Delta N$) и генерируемого ГО ($\Delta X, \Delta Y$) либо повторяется при увеличении изображения, либо пропускается при его уменьшении. Под габаритным размером в данном случае понимается максимальный размер в пикселах, который занимает ГО в одном из направлений. При этом используется модификация известного метода оценочной функции. Если ΔM и ΔX - габаритные размеры исходного и генерируемого ГО по координате X , то при положительном приращении $+X$ справедливы следующие соотношения:

$$F_i^x = F_{i-1}^x + \Delta X,$$

если $F_i^x \geq 0$, то шаг $+X$ и

$$F_{i+1}^x = F_i^x - \Delta M, \quad (3)$$

причем соотношение (3) выполняется до тех пор, пока оценочная функция F_i^x не изменит свой знак. Аналогично для шага $-X$:

$$F_i^x = F_{i-1}^x - \Delta X,$$

если $F_i^x < 0$, то шаг $-X$ и $F_{i+1}^x = F_i^x + \Delta M$.

Оценочные функции по координате Y имеют вид:

- для $-Y$:

$$F_i^y = F_{i-1}^y - \Delta Y,$$

если $F_i^y \leq 0$, то шаг $-Y$ и $F_{i+1}^y = F_i^y + \Delta N$;

- для $+Y$:

$$F_i^y = F_{i-1}^y + \Delta Y,$$

если $F_i^y > 0$, то шаг $+Y$ и $F_{i+1}^y = F_i^y - \Delta N$.

Возможны случаи увеличения и уменьшения ГО или увеличения (уменьшения) по одной из координат X или Y . Предложена организация

вычислительного устройства по данному способу.

Анализ производительности вычислительного устройства масштабирования ГО, заданного матрицей интенсивности, показывает, что по сравнению с базовым достигается β -кратное увеличение производительности:

$$\beta = \frac{10(M-1)(N-1) + \Delta X \Delta Y}{\Delta X + \Delta Y + 2(M+N) + \Delta X \Delta Y}.$$

Величина β колеблется в пределах от 1 до 10 (рис.8).

Известные системы генерации точечных источников света (огней) не учитывают явления иррадиации, которое обуславливает рост кажущегося размера точечного огня в зависимости от силы света этого источника. В целях устранения этого пробела разработан алгоритм визуализации точечных объектов, учитывающий явление иррадиации. Предложена также организация специализированного процессора, предназначенного для использования в составе геометрического процессора и позволяющего выполнять визуализацию огней с учетом психофизиологического восприятия человеком точечных источников.

В заключении приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выполнена классификация и анализ известных методов синтеза текстур. На основании количественных оценок выбран алгоритм, трудоемкость которого минимальна по сравнению с другими - обратный мэшинг.

2. Разработан и исследован в зависимости от способа аппроксимации координаты z инкрементный метод синтеза текстур, исключающий операцию деления. Показано, что по сравнению с базовым предложенный метод на порядок производительнее.

3. Предложены методики подготовки параметров текстурирования при линейной, кусочно-линейной и параболической аппроксимации координаты z , основанные на минимизации абсолютных ошибок аппроксимации.

4. Разработана конвейерная вычислительная система, позволяющая генерировать как интерполированные по цвету, так и текстурированные грани. Особенность предложенной системы визуализации заключается в

том, что производительность разложения в растр интерполированных и текстурированных граней одинакова, чего не удавалось достичь ни в одной из известных систем синтеза изображений в реальном времени.

5. Предложена организация видеопроцессора системы визуализации, включающая наряду с буфером кадра и текстурных карт, что позволяет генерировать в одном кадре до n типов текстур.

6. Разработаны структуры и алгоритмы функционирования ПП при линейной, кусочно-линейной и параболической аппроксимации координаты z .

7. Получены оценки разрядности ОУ ПП при линейной и параболической аппроксимации координаты z . Выведены аналитические соотношения для расчета разрядности дробной части ОУ ПП. Показано, что разрядность ОУ ПП при линейной и параболической аппроксимации практически одинакова. Полученные оценки подтверждены имитационным моделированием.

8. Выполнена оценка производительности предложенной вычислительной системы синтеза изображений. При длительности такта 100 нс ожидаемая производительность за кадр составляет свыше 6500 граней со средней высотой 10 строк растра и свыше 650 граней при средней высоте 100 строк или около 16500 граней в секунду. Уменьшение длительности такта приводит к значительному повышению производительности особенно при малых значениях средних высот граней H .

9. Разработан способ масштабирования ГО, исключая операции умножения-деления. Предложена его модификация для ГО, заданных матрицей интенсивности и цепным кодом.

10. Разработаны вычислительные структуры для масштабирования ГО, заданных матрицей интенсивности и цепным кодом. Новизна технических решений защищена авторскими свидетельствами.

II. Разработан и внедрен на Московском машиностроительном заводе им. А. М. Микояна специализированный процессор, позволяющий генерировать огни с учетом психофизиологических особенностей восприятия человеком точечных объектов. Показано, что данный спецпроцессор обладает достаточной для этого производительностью, универсальностью и гибкостью.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Аноприенко А.Я., Коба Ю.А. Программная генерация динамических изображений на базе микро-ЭВМ. - В кн.: Математическое обеспечение систем с машинной графикой. Материалы 3-го научно-технического семинара. Устинов, 1985. с.116-117.

2. Аноприенко А.Я., Коба Ю.А., Телера Т.В. Графическое расширение языка Бейсик на базе международного графического стандарта. - В кн.: Математическое обеспечение систем с машинной графикой. Материалы 5-го научно-технического семинара. Ижевск, 1988. - с.23.

3. Аноприенко А.Я., Башков Е.А., Коба Ю.А., Кухтин А.А. Использование в учебном процессе наглядных компьютерных моделей функционирования микропроцессоров. - В кн.: Педагогические и психологические аспекты компьютеризации образования (высшая школа)". Тезисы докладов Всесоюзной научно-методической конференции. Рига, 1988. - с.152-153.

4. Аноприенко А.Я., Коба Ю.А., Телера Т.В. Графическое расширение языка Бейсик на базе международного графического стандарта. - Донецк, 1988. - 19с.: ил. - Деп. в Информприбор, №4436 от 16.11.88.

5. Башков Е.А., Коба Ю.А. Исследование трудоемкости алгоритмов текстурирования трехмерных поверхностей. - Донецк, 1991. - 34с.: ил. - Деп. в Информприбор, № 5019 от 17.07.91.

6. Башков Е.А., Коба Ю.А. Текстура и текстурирование в синтезе изображений. - Донецк, 1991. - 60с.: ил. - Деп. в Информприбор, № 4981 от 28.02.91.

7. Башков Е.А., Аноприенко А.Я., Коба Ю.А., Мальцева Р.В. Аппаратно-программный комплекс генерации изображений в реальном времени. // Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ, вып.2, 1991. - с.77-84.

8. Башков Е.А., Сербиненко А.В., Аноприенко А.Я., Коба Ю.А. Программно-аппаратный комплекс средств машинной графики для микро-ЭВМ. - В кн.: Математическое обеспечение систем с машинной графикой. Тезисы докладов 4-го научно-технического семинара. Суздаль, 1986, с.18-19.

9. Башков Е.А., Аноприенко А.Я., Сербиненко А.В., Коба Ю.А., Кухтин А.А. Из опыта разработки средств машинной графики для интенсификации учебного процесса. - В кн.: Проблемы высшей школы, вып.66, 1988. - с.112-116.

10. Башков Е.А., Аноприенко А.Я., Коба Ю.А., Кухтин А.А. Перс-

пективы применения стереографических методов проектирования в машиностроении.— В кн.: Приложение компьютерных технологий в производстве. Тезисы докладов международной научной конференции для студентов и молодых научных работников. Варна, Болгария, 1989.— С. 19.

11. Башков Е. А., Коба Ю. А. Инкрементный метод синтеза текстур в режиме реального времени.— В кн.: Компьютерные технологии обучения и управления вузом. Тезисы докладов XIV научно-методической конференции. Донецк, 1992.— С. 45—46.

12. Башков Е. А., Аноприенко А. Я., Коба Ю. А., Кухтин А. А., Мальчева Р. В., Чухонцева Т. В. Система синтеза изображений в реальном времени для испытательных стендов.— В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы, вып. 15, 1992.— С. 72—76.

13. Коба Ю. А. Использование текстур в синтезе изображений.— В кн.: Компьютерные технологии обучения и управления вузом. Тезисы докладов XIV научно-методической конференции. Донецк, 1992.— С. 48.

14. А. с. 1550572 СССР. МКИ⁵ G09G1/08. Генератор символов / Коба Ю. А., Аноприенко А. Я., Башков Е. А.— Оpubл. 15.03.90.

15. А. с. 1547022 СССР. МКИ⁵ G09G1/16. Устройство для отображения кривых на экране электронно-лучевой трубки. / Аноприенко А. Я., Коба Ю. А.— Оpubл. 28.02.90.

16. А. с. 1363297 СССР. МКИ⁴ G09G1/28. Устройство для отображения графической информации на экране цветного телевизионного дисплея. / Аноприенко А. Я., Коба Ю. А.— Оpubл. 30.12.87.

17. А. с. 1700573 СССР. МКИ⁵ G09B9/02. Устройство для имитации визуальной обстановки в тренажере транспортного средства. / Аноприенко А. Я., Башков Е. А., Коба Ю. А., Кухтин А. А.— Оpubл. 12.05.92.

18. А. с. по заявке 4749645 от 31.07.91. Устройство для имитации визуальной обстановки в авиатренажере. / Аноприенко А. Я., Башков Е. А., Камзолов Ю. П., Коба Ю. А., Кухтин А. А., Мальчева Р. В., Медведев В. И.

19. А. с. по заявке 5007924 от 13.10.92. Устройство для отображения графической информации на экране цветного телевизионного дисплея. / Коба Ю. А.

Подп. в печать 11.12.92. Формат 60×84^{1/16}. Бумага типограф. Офсетная печать. Усл. печ. л. 1,39. Усл. кр.-отт. 1,62. Уч.-изд. л. 1,44. Тираж 120 экз. Заказ 9-645. 252680, г. Киев-164, ул. Генерала Наумова, 15

469198

AB 26.610

AB 26.610