

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА И
АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

УДК 681.3.06

Б. С. Долговесов*(Новосибирск)***СЕМЕЙСТВО КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ
ВИЗУАЛИЗАЦИИ «АЛЬБАТРОС»**

Рассматриваются основные принципы, положенные в основу реализации семейства компьютерных систем визуализации «Альбатрос», основное назначение которых состоит в использовании их в качестве генераторов изображений для различных типов тренажерных комплексов. Отмечается эффективность использования задания параметров многоугольников, описывающих окружающую обстановку, коэффициентами уравнений поверхностей и ребер в сочетании с рекурсивным методом растривания. Дается краткое описание семейства систем визуализации «Альбатрос», разработанных на единой алгоритмической и конструктивной базе.

Введение. Использование в различных типах тренажеров компьютерных систем визуализации (КСВ) в качестве генераторов изображений предъявляет к ним достаточно высокие требования по реализму отображения окружающих наблюдателя сцен. Так, неотъемлемым требованием для большинства комплексных тренажеров является отображение точечных источников света (посадочные огни, звезды и др.), различных атмосферных явлений (дымка, туман различной плотности, восход и закат солнца, облачность) и округлых объектов за счет интерполяции цвета вдоль граней объектов. Высокие требования предъявляются к качеству изображений. Большие усилия затрачиваются на устранение дефектов, связанных с дискретной структурой растра. Повышение реализма отображаемых сцен достигается в последних разработках КСВ не только и не столько за счет повышения общей производительности вычислительного тракта систем, сколько за счет введения в систему различного рода эффектов, например, отображения текстурированных и полупрозрачных поверхностей, позволяющих приблизить восприятие синтезированного изображения к реальному миру.

За последние 5—7 лет произошли существенные изменения в области проектирования компьютерных систем визуализации для использования их в различных типах тренажеров: авиационных, космических и др. С целью снижения стоимости и габаритов систем ведущие фирмы используют при разработке заказные СБИС (от 3 до 35 типов заказных кристаллов с интеграцией от 60 тыс. до 1,5 млн транзисторов).

Большой удельный вес при разработке таких систем занимает создание программного обеспечения. Серьезные усилия затрачиваются на автоматизацию процесса подготовки баз данных отображаемых районов местности и отдельных сложных объектов. Наметилась тенденция к использованию в качестве КСВ тренажеров рабочих станций. Примером тому служат старшие модели фирмы "Silicon Graphics", которые имеют достаточно высокую производительность в реальном времени, отображают текстурированные поверх-

ности, имеют средства цифровой фильтрации изображений. В целом стоимость и габариты таких систем уменьшаются. Более полный обзор современного состояния развития компьютерных систем визуализации приводится в материалах конференции по авиационным тренажерам [1], которая проводилась в Монреале в 1993 году.

В последнее время активно стало развиваться направление по созданию упрощенных систем визуализации реального времени на базе персональных компьютеров. Разработан ряд графических акселераторов с достаточно широкими возможностями. Возможно, что системы визуализации на базе универсальных графических контроллеров найдут применение в качестве генераторов изображения для различного типа процедурных тренажеров, где не требуется высокого реализма в отображении окружающего наблюдателя пространства.

Постановка задачи. Компьютерные системы визуализации являются достаточно сложными аппаратно-программными комплексами. Их разработка связана с решением целого ряда как архитектурных, так и технологических проблем. Переход к созданию и выпуску нового класса систем визуализации требует серьезных научно-производственных затрат. Задачей данной разработки было создание семейства компьютерных систем визуализации на единой алгоритмической и конструктивной базе. Поэтому одним из основных требований при разработке семейства компьютерных систем визуализации «Альбатрос» было сохранение не только единого архитектурного подхода и программной совместимости ряда систем, но и возможности модификации базовой модели системы за счет использования однотипных модулей без изменения либо с незначительной их доработкой.

Основные принципы построения. В основу разработки семейства «Альбатрос» был заложен ряд отличительных признаков, совокупность которых позволила создать на отечественной элементной базе семейство систем визуализации, по своим функциональным возможностям приближающихся к образцам, выпускаемым серийно ведущими зарубежными фирмами. Эти отличия в сравнении с ранее разработанными системами [2, 3] относятся как к геометрическим преобразованиям, так и к процессу растривания [4, 5]. Основные из них заключаются в следующем:

- 1) осуществление линейной интерполяции яркости многоугольников, вычисление специализированных эффектов (дымки, тумана) и текстурных координат по коэффициентам уравнений, задающих соответствующие параметры многоугольников в базе данных;
- 2) осуществление процедуры клипирования над многоугольниками, заданными линиями;
- 3) использование при растривании процедуры рекурсивного деления экрана и многоуровневого маскирования.

В последующих статьях этого выпуска более подробно описаны основные принципы, положенные в основу реализации семейства систем визуализации «Альбатрос».

Традиционно в системах визуализации к геометрическим преобразованиям относят преобразование объектов в систему координат наблюдателя, клипирование — отбраковку каждого объекта относительно шести плоскостей пирамиды видимости и нахождение пересечения с этими плоскостями, если необходимо, а также проецирование объектов на экранную плоскость. Окружающая обстановка при этом задается трехмерными координатами вершин многоугольников, описывающих объекты, и значениями в вершинах цветовых параметров.

При использовании для растривания изображений задания многоугольников полуплоскостями, ограничивающими части экрана, процедура клипирования может быть существенно упрощена в сравнении с ранее используемой. Для этого после матричных преобразований многоугольников, заданных координатами вершин в трехмерном пространстве, осуществляется вычисление коэффициентов уравнений ребер, которые являются компонентами векторного произведения векторов, взятых от начала координат к вершинам ребер. При

этом необходимо, чтобы цветовые характеристики многоугольников задавались исходно не в виде значений яркости в вершинах, а в виде коэффициентов линейных уравнений. Эти коэффициенты вычисляются для всех объектов заранее в нереальном времени. Матричные преобразования для цветовых характеристик в этом случае осуществляются над коэффициентами уравнений [4].

Задание параметров многоугольников, как геометрических, так и цветовых, с помощью коэффициентов уравнений позволяет не находить точных значений этих параметров при выполнении процедуры поиска принадлежности многоугольников, описывающих сцену, к пирамиде видимости или какой-либо части экрана. Точные вычисления этих параметров происходят только на пиксельном уровне. Так, процедура клипирования сводится к простой отбраковке ребер и не требует точного отсечения объектов плоскостями пирамиды видимости. Это приводит к упрощению основного алгоритма клипирования и исключает необходимость сложного анализа многоугольников на невыпуклость в видеопроцессоре системы.

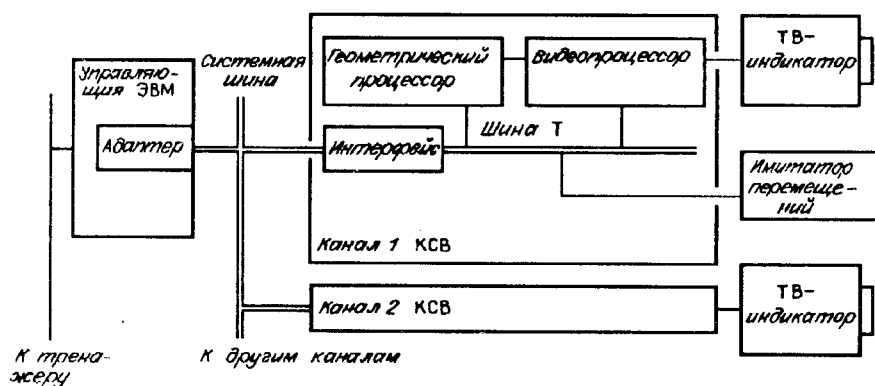
Этот подход получил развитие в последующих работах, где предпринята попытка использовать задание исходной трехмерной информации в базе данных в виде уравнений плоскостей, проходящих через ребра многоугольников, образующих объекты. Таким образом, во всем тракте геометрических преобразований полная информация о параметрах трехмерных объектов может задаваться коэффициентами линейных уравнений.

Для растривания изображений в семействе «Альбатрос» используется процедура рекурсивного деления экрана по кватернарному дереву и происходит определение принадлежности многоугольников, следующих в приоритетном порядке, этим частям экрана. В качестве элемента сравнения применяется уменьшающаяся от уровня к уровню в 4 раза клетка, первоначальный размер которой совпадает с размером экрана. Многоугольники при этом заданы плоскостями, ограничивающими части экрана. Это могут быть точки пересечения линий, проходящих через ребра многоугольника, с краями экрана либо коэффициенты уравнений плоскостей, проходящих через начало координат и ребра [6]. Для определения принадлежности многоугольника к клетке текущего уровня для каждого ребра многоугольника требуется выполнить операцию суммирования и сдвига и проанализировать знак коэффициентов уравнения ребра.

Удаление невидимых частей поверхностей осуществляется за счет использования предварительной статической сортировки объектов в нереальном времени по дереву разделяющих плоскостей и выборки объектов в процессе отображения в зависимости от положения наблюдателя в приоритетном порядке. Окончательное удаление невидимых частей объектов происходит в видеопроцессоре путем использования субпиксельной маски. Применяемый в системах рекурсивный алгоритм деления экрана по кватернарному дереву позволяет достаточно просто реализовать механизм многоуровневого маскирования. В результате этого осуществляется отбраковка невидимых частей объектов не только на пиксельном уровне, но и на более ранних стадиях в процессе деления экрана, когда клетка текущего уровня оказывается полностью замаскированной объектами, поступившими раньше. Признаком о том, что клетка текущего уровня занята, поступает на более высокий уровень; таким образом формируются маски на всех уровнях деления экрана. Как отмечается в [6], маскирование позволяет снизить время на растривание изображений в 2 и более раз в зависимости от глубинной сложности отображаемых сцен. Для правильного отображения подвижных объектов в системах используется динамическая сортировка объектов по приоритетам.

Модели семейства «Альбатрос». Возможность модификации базовой системы «Альбатрос» за счет многоуровневой модульности, заложенной при разработке, реализована при создании ряда систем с различными функциональными возможностями и производительностью.

Базовый вариант системы «Альбатрос», изготовленный в 1988 году, включает (см. рисунок) управляющую ЭВМ типа «Электроника-85», геометричес-



кий (ГП) и видеопроцессор. Управляющая ЭВМ осуществляет формирование локальной базы данных, прием параметров положения наблюдателя от тренажерного комплекса, диспетчеризацию внешних событий (управление вводом/выводом, взаимодействие с оператором) и диагностику неисправностей системы.

Адаптер представляет собой интерфейс типа «окно», предназначенный для подключения системной шины к управляющей ЭВМ. В функции адаптера входят расширение адресного пространства управляющей ЭВМ, управление обменом информацией по системной шине и регистрация особых ситуаций. В системе предусмотрена возможность подключения к одной управляющей ЭВМ нескольких каналов, каждый из которых включает геометрический и видеопроцессоры, с целью расширения угла обзора. Каждый канал подключается к системной шине с помощью типового интерфейса, осуществляющего дешифрацию адреса и маскирование сигналов ошибок. Для автономной настройки системы в ней предусмотрен имитатор перемещений, который подключается к системной шине и позволяет задавать положение наблюдателя в трехмерном пространстве.

Геометрический процессор осуществляет просмотр базы данных, хранящейся в памяти (до 32 Мбайт), преобразование ее в систему координат наблюдателя, отбраковку объектов, не попавших в пирамиду видимости, преобразование объектов в экранную систему координат [7].

Кроме памяти баз данных, в ГП входит векторный процессор для преобразования объектов в систему координат наблюдателя. Он имеет пиковую производительность до 60 Мфлопс и включает блок обработки целых чисел и до шести блоков обработки 32-разрядных вещественных чисел. Кроме того, в ГП входит клипирующий процессор и форматор, преобразующий описание объектов из вещественного представления в форму, необходимую для видеопроцессора.

В видеопроцессоре (ВП) осуществляется преобразование объектов, заданных многоугольниками, в телевизионный растр [8]. ВП включает память кадра, конвейер однотипных клеточных процессоров, вычислитель цветовых компонент и видеопамять, хранящую 24-разрядный цвет RGB в каждом пикселе телевизионного кадра.

В системе реализовано разрешение 512×512 пикселей, и она может работать с мониторами как прогрессивной, так и чересстрочной разверткой. Одноканальная система генерирует в реальном времени до 4000 многоугольников в одном кадре или до 10000 огней. Время транспортной задержки не превышает 80 мс. В системе предусмотрена защита от информационных перегрузок, позволяющая в зависимости от сложности отображаемой сцены переходить на разную частоту обновления в кадре. Максимальная частота обновления информации 50 Гц.

Система позволяет генерировать различные условия видимости (дневные, ночные, сумеречные), точечные источники света (огни, звезды и т. д.), атмо-

сферные явления типа дымки, тумана, округлые трехмерные объекты. Конструктивно система выполнена на многослойных печатных платах и занимает два крейта в типовой стойке. Высокое качество изображений достигается применением цифровой субпиксельной фильтрации (4×4 субпиксела на каждый пиксел) с оптимальной выборкой субпиксельной маски. Для устранения дефектов, связанных с чересстрочной разверткой, используется грубая фильтрация, когда значение цвета в пикселе определяется как средневзвешенное значение четырех соседних пикселей.

Следующая модель системы визуализации «Альбатрос-Т», которая была реализована, использует в качестве управляющей ЭВМ IBM PC/AT и позволяет в дополнение к имеющимся возможностям отображать текстурированные и полупрозрачные поверхности, что эффективно используется в системах визуализации для плавной смены уровней детализации обстановки. Система позволяет отображать до 32 текстурных карт размером 16×16 пикселей в реальном времени. Для этой цели разработан специализированный вычислитель в видеопроцессоре базовой модели [9]. На базе этой модели сделано несколько трехканальных систем визуализации с производительностью каждой из них до 12000 многоугольников в кадре. Эти системы установлены в Центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина для использования в различных типах тренажеров.

С целью расширения области применения систем визуализации, снижения их стоимости и улучшения эксплуатационных характеристик проведена работа по модернизации геометрического процессора базовой модели системы «Альбатрос» и создана еще одна разновидность системы — «Альбатрос-М», которая размещается в одном крейте. Производительность этой системы составляет 2000 многоугольников в кадре. Эта система также позволяет воспроизводить различные визуальные эффекты: дымку, туман, текстурированные и полупрозрачные поверхности.

В системе использована минимальная конфигурация как геометрического, так и видеопроцессора, за счет чего удалось почти вдвое сократить объем оборудования. Заложенный в базовую конструкцию принцип модульности позволил создать эту модель с минимальными техническими доработками.

В геометрическом процессоре максимальный объем памяти баз данных сокращен по сравнению с базовой моделью до 8 Мбайт. Уменьшено количество блоков вещественной арифметики с шести до двух и выполнен ряд доработок для более эффективной реализации алгоритмов клипирования и матричных преобразований. Минимизация оборудования видеопроцессора была достигнута следующими методами:

- снижение субпиксельного разрешения до 2×2 , что приводит к незначительному ухудшению качества фильтрации изображений;
- вычисление цвета изображения происходит не в каждом пикселе, а в центре квадрата размером 2×2 пиксела.

Еще одна модификация геометрического процессора с использованием импортной элементной базы позволяет расширить ряд систем визуализации «Альбатрос» и снизить вдвое по сравнению с «Альбатрос-М» объем занимаемого системой оборудования. Видеопроцессор в этой системе применяется в том же варианте, что и в системе «Альбатрос-М». Геометрический процессор выполнен с использованием микропроцессора Intel 860XR и конструктивно оформлен как акселератор на плате, устанавливаемой в компьютер IBM PC/AT [10]. Производительность системы с такими акселераторами составляет около 4000 многоугольников в кадре, что эквивалентно базовой модели семейства «Альбатрос». Объем оперативной внешней памяти для хранения баз данных и программ составляет 16 Мбайт. Пиковая производительность акселератора 66 Мфлопс. Предусмотрена возможность наращивания производительности акселератора за счет подключения дополнительных плат через порты ввода/вывода.

Большое внимание при проектировании семейства систем уделено вопросам диагностики неисправностей, автономной и комплексной настройке. С целью быстрой диагностики неисправностей в каждом функциональном блоке

системы заложена возможность записи и считывания контрольной информации из основных операционных узлов через тестовую шину T в управляющую ЭВМ. Это позволяет как автономно контролировать состояние и устранять неисправности функциональных узлов, так и проводить комплексный контроль системы в целом.

Для этой цели создано тестовое программное обеспечение, состоящее из программной оболочки и подключаемых в ней тестов соответствующих устройств и библиотеки процедур, используемых при тестировании. Быстрое обнаружение и устранение неисправностей облегчается понятной и подробной диагностикой. Указывается не только характер неисправности, но и ожидаемые сигналы и состояние аппаратуры в нескольких контрольных точках. Кроме того, существует пакет тестового обеспечения, позволяющий контролировать состояние всех функциональных узлов на всех стадиях обработки данных, используя для этого реальные базы данных. Пользователю предоставляется возможность моделирования аналитически заданных траекторий подвижных объектов и редактирования их в процессе отладки динамики движения.

Функционирование семейства систем «Альбатрос» поддерживается программным комплексом трехмерного визуального моделирования, который включает следующие подсистемы: подготовки визуальных моделей; управления КСВ и отображения визуальных сцен.

Подсистема подготовки визуальных моделей [11] служит для автоматизации процесса создания трехмерных визуальных сцен и включает программу ввода трехмерной информации с плоских носителей, базовый язык описания визуальных моделей, интерактивный геометрический редактор для моделирования рельефа местности. Подсистема управления КСВ обеспечивает прием, интерпретацию и передачу параметров от тренажера, задает поведение объектов сцены, управляет имитацией различных эффектов природных феноменов, выполняет запись, компрессию и воспроизведение параметров поведения, обслуживает загрузку и выгрузку, активацию и деактивацию моделей сцен, обеспечивает связь с оператором и полное управление параметрами сцены при отладке визуальных моделей, поддерживает синхронизацию каналов КСВ и их защиту от информационных перегрузок [12]. Подсистема отображения обеспечивает процесс построения цветных полутоновых изображений, являющихся видами сцен при соответствующих значениях анимационных переменных [13].

Заключение. Разработанное семейство систем визуализации «Альбатрос» используется на сегодняшний день в авиационных и космических тренажерах. Принципы, заложенные в основу построения данного семейства, получили развитие в последующих работах, связанных с созданием систем визуализации нового поколения.

Необходимо отметить, что область применения компьютерных систем визуализации, генерирующих синтезированные трехмерные изображения в реальном масштабе времени, постоянно расширяется. В последнее время возникла концепция, которая получила название «виртуальная реальность». Одной из основных компонент этой концепции являются системы визуализации реального масштаба времени. По зарубежным прогнозам по мере снижения стоимости систем технология виртуальной реальности найдет широкое применение в медицине, архитектуре, химии, образовании, управлении воздушным движением и многих других областях, где требуется визуализация трехмерных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Proceedings Flight Simulator Symposium Exhibition. — Monreal, Canada: JATA, 1993.
2. Ковалев А. М., Талныкин Э. А. Машинный синтез визуальной обстановки // Автотметрия. — 1984. — № 4.
3. Буровцев В. А., Власов С. В., Вяткин С. И. и др. Геометрический процессор синтезирующей системы визуализации // Автотметрия. — 1986. — № 4.

4. Долговесов Б. С., Мазурок Б. С., Маслобоев Ю. В., Рожков А. Ф. Геометрические преобразования в семействе «Альбатрос» // Автометрия.—1994.—№ 6.
5. А. с. 1522240 СССР. Цифровой генератор изображений /А. И. Богомяков, С. И. Вяткин, Б. С. Долговесов.—Опубл. 19.07.88, Бюл. № 42.
6. Вяткин С. И., Долговесов Б. С., Мазурок Б. С., Рожков А. Ф. Эффективный метод растривания изображений для компьютерных систем визуализации реального времени // Автометрия.—1993.—№ 5.
7. Власов С. В., Маслобоев Ю. В., Савенко К. В., Чижик С. Е. Векторный геометрический процессор систем визуализации реального времени // Автометрия.—1994.—№ 6.
8. Асмус А. Э., Богомяков А. И., Вяткин С. И. и др. Видеопроектор компьютерной системы визуализации «Альбатрос» // Там же.
9. Мазурок Б. С., Рожков А. Ф., Сальников Ю. А. и др. Генерация текстурированных поверхностей и специализированных эффектов в системах «Альбатрос» // Там же.
10. Власов С. В. Геометрический процессор на базе микропроцессора i860 // Там же.
11. Белого И. В., Некрасов Ю. Ю., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. Комплекс трехмерного визуального моделирования SoftLab Images 1.1 // Автометрия.—1993.—№ 5.
12. Белого И. В., Некрасов Ю. Ю., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. Типы данных и операции для описания визуальных моделей трехмерных сцен и их динамики реального времени // Автометрия.—1994.—№ 6.
13. Белого И. В., Кузиковский С. А., Некрасов Ю. Ю. Управление компьютерными генераторами изображений реального времени // Там же.

Поступила в редакцию 20 июня 1994 г.

Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!