

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 6

1994

УДК 681.3.06

И. В. Белого, С. А. Кузиковский, Ю. Ю. Некрасов
(Новосибирск)

УПРАВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Описываются назначение, структура и функции основных компонент системы управления компьютерными генераторами изображений (КГИ) для авиационных и космических тренажеров. Обсуждаются проблемы разработки подобного рода систем. Приводится краткая терминология, сложившаяся в этой области.

Введение. В данной статье речь пойдет о системе управления динамикой комплекса трехмерного визуального моделирования SoftLab Images. Подробно информация о структуре комплекса и основных его компонентах можно получить в [1—5]. Главным направлением применения комплекса является создание и отображение в реальном времени (время построения одного кадра 20 мс) визуальных моделей трехмерных сцен для авиационных и космических тренажеров.

Авиационные и космические тренажеры служат для развития навыков управления летательными аппаратами (ЛА). Можно условно выделить две достаточно независимые составляющие любого тренажера. Это система формирования и выдачи данных (СВД) и визуальный имитатор окружающей обстановки.

Описание системы формирования и выдачи данных тренажера — это отдельная область знаний, не имеющая непосредственного отношения к компьютерной генерации изображений и не являющаяся темой данной статьи. Поэтому мы лишь коротко остановимся на ее основных функциях. Главная задача СВД — расчет параметров движения летательного аппарата с учетом действия тренируемого экипажа и влияния различных внешних условий. Внешними условиями здесь могут быть, например, скорость и направление ветра, изменение веса самолета по мере расхода горючего, различные неисправности двигательной установки, изменяющие управление летательным аппаратом. Кроме того, СВД управляет имитацией светосигнального оборудования аэродромов, метеорологических условий, расположением навигационных звезд.

Задачей имитатора визуальной обстановки является как можно более реалистичное представление видимого из кабины летательного аппарата пространства. Имитация производится либо оптико-телевизионными методами, либо при помощи компьютерных генераторов изображений. В первом случае строится макет сцены, над которым под управлением СВД двигается телевизионная камера, во втором — компьютерная модель сцены, которая затем отображается КГИ с темпом 20—30 кадров в секунду. Управление от СВД производится путем изменения параметров модели сцены. Каждый из типов имитации обладает своими достоинствами и недостатками, но в настоящее время явно просматривается тенденция постепенного перехода на компьютерные методы имитации.

В основу комплекса SoftLab Images (как и в большинстве аналогичных систем) заложена концепция разделения процесса моделирования на три этапа: а) построение визуальной модели сцены с выделением динамических данных в качестве ее параметров; б) построение дискретной имитационной моде-

ли поведения параметров сцены в динамике; в) покадровое отображение (т. е. вывод на экраны коллимационных устройств тренажера видов сцены для каждого из окон наблюдения) модели сцены с использованием на каждом кадре значений параметров, заданных моделью поведения.

Система управления участвует в реализации этапов «б» и «в». Можно условно выделить два типа управления компьютерным генератором изображений — это управление динамикой поведения моделируемых сцен и управление процессом отображения. Из этого вытекают основные функции системы:

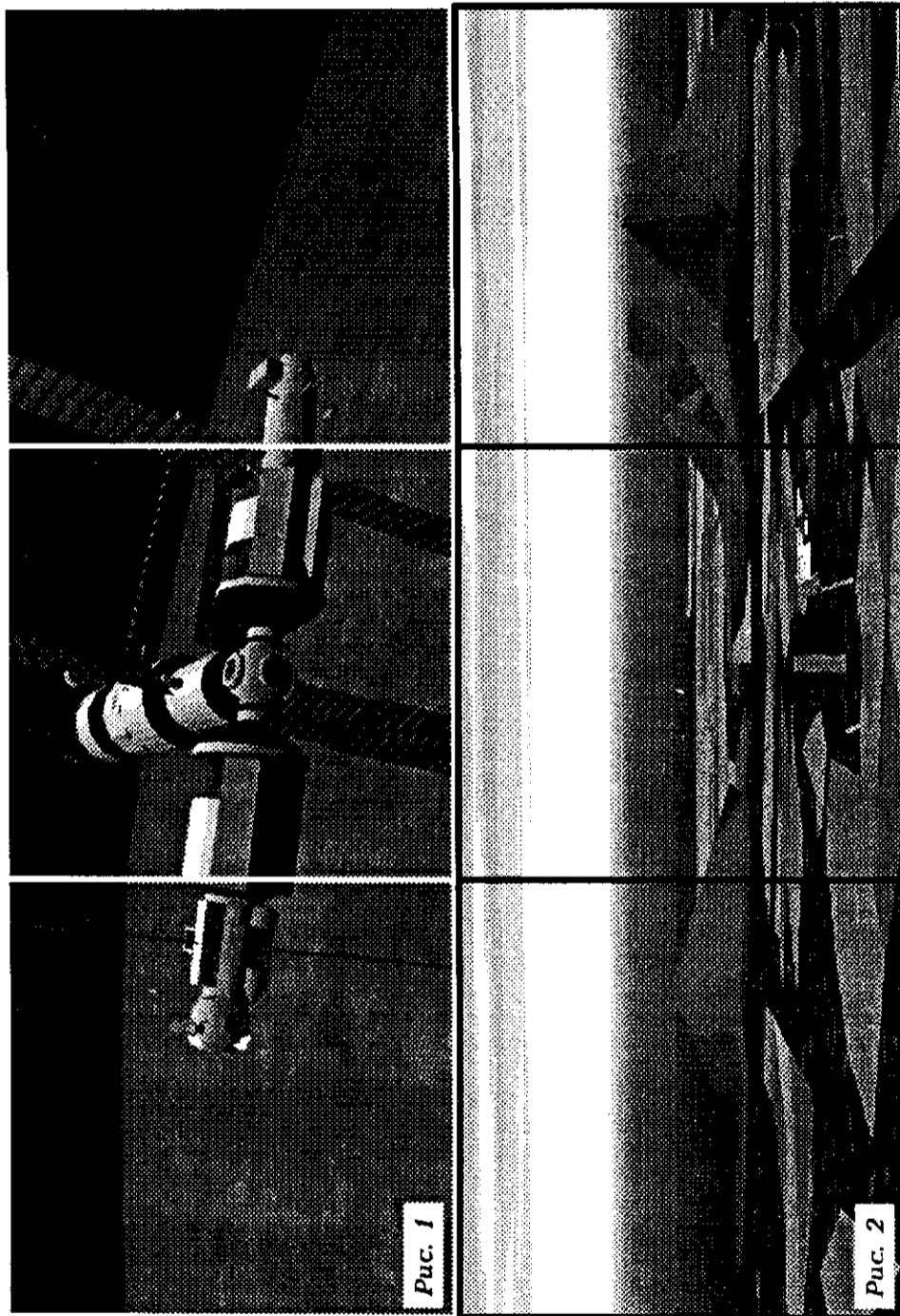
Система управления КГИ обеспечивает прием и интерпретацию значений параметров, поступающих от СВД тренажера, задает движение внешних по отношению к летательному аппарату объектов, управляет имитацией различных природных феноменов, выполняет запись, компрессию и воспроизведение параметров, обслуживает загрузку и выгрузку, активизацию и деактивизацию моделей сцен, обеспечивает связь с оператором и полное управление параметрами сцены при отладке визуальных моделей, поддерживает синхронизацию каналов КГИ и их защиту от информационных перегрузок.

К сожалению, компьютерные генераторы изображений до сих пор обладают достаточно большой стоимостью и доступны, как правило, федеральным (обычно военным) организациям. Разработка КГИ за рубежом производится в научных отделах крупных коммерческих фирм (таких как "Ivans & Satherland", CAE, "Ivex"). Поэтому информация об аналогичных системах носит отрывочный характер и поступает в основном через рекламные проспекты и личные контакты разработчиков. Судя по этой информации, управление КГИ обычно полностью отдано системам формирования и выдачи данных тренажера. КГИ является замкнутой системой со встроенным набором визуальных моделей сцен, разработанных фирмой-производителем. Динамические параметры моделей сцен заранее выделены и доступны системе формирования и выдачи данных посредством жесткого, зависящего от конкретной модели интерфейса. В противоположность этому нами была сделана попытка реализовать КГИ в виде открытой, универсальной, модульной системы, дающей возможность пользователю создавать модели сцен и задавать их поведение. В этом случае параметризации и управлению со стороны СВД доступна не только визуальная модель сцены, но и модель ее поведения во времени. Такой подход, на наш взгляд, позволяет существенно расширить возможности КГИ и сферы его применения. Например, КГИ «Альбатрос» [6, 7], реализованный в соответствии с приведенным подходом, успешно используется в авиационных и космических приложениях без каких-либо специализированных доработок. Визуальные модели сцен и модели их поведения разрабатываются специалистами соответствующих организаций, которые обладают прямыми связями с летчиками и космонавтами и, кроме того, имеют специфический опыт, характерный для конкретной области приложения. На рис. 1 приведен вид сцены, разработанной специалистами Центра подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина, а на рис. 2 — специалистами Пензенского конструкторского бюро моделирования — главного центра авиационного тренажеростроения страны. Обе модели созданы для практической подготовки экипажей.

При разработке системы управления КГИ перед авторами стояла проблема систематизации различных методов управления и построения единой однородной системы для генерации и интерпретации различных потоков управляющей информации.

Целью данной статьи является введение в проблему управления КГИ, знакомство с архитектурой разработанной системы и взаимодействием ее отдельных компонент. Объем материала не позволяет подробно остановиться на каждой из компонент в рамках одной публикации. Авторы надеются выполнить это в ближайшем будущем на страницах журнала «Автоматика».

Терминология. Канал КГИ — часть КГИ, отвечающая за построение вида сцены для одного наблюдателя. Обычно многоканальный КГИ представляет собой набор идентичных и практически независимых многопроцессорных систем, каждая из которых является одноканальным КГИ.



Моделирующая задача — визуальная модель сцены, созданная с помощью визуального языка или других моделирующих средств комплекса. Моделирующие задачи исполняются на каждом кадре в каналах КГИ. Результатом исполнения является изображение вида сцены.

Анимационные переменные — динамически изменяемые экспортируемые переменные моделирующей задачи. Именно они и используются в качестве параметров сцены.

Анимационная последовательность — набор значений анимационных переменных, соответствующих одному кадру. (Термин позаимствован из [8].)

Анимационная задача — модель поведения сцены, созданная средствами анимационной системы. Исполнение анимационных задач распределено между управляющей ЭВМ и каналами КГИ. Исполнение производится в течение последовательности кадров. Результатом исполнения анимационной задачи на каждом кадре является изменение текущих значений анимационных переменных. Изменение производится путем передачи в каналы КГИ анимационных последовательностей, содержащих новые значения, которые присваиваются анимационным переменным перед исполнением моделирующих задач на каждом очередном кадре.

Траектория — набор анимационных последовательностей, соответствующих возрастающей последовательности номеров кадров. Последовательность номеров кадров необязательно должна быть непрерывной. В этом случае для каждой анимационной последовательности задается номер кадра, к которому она относится.

Компоненты системы управления и их взаимодействие. Напомним, используя приведенную терминологию, основные задачи, решаемые системой управления КГИ:

- обеспечение связи с системами формирования и выдачи данных различных тренажеров;
- обеспечение связи с различными типами КГИ;
- обеспечение связи с оператором КГИ;
- создание моделей поведения динамических параметров сцены в виде анимационных задач;
- управление загрузкой, выгрузкой и синхронизацией исполнения моделирующих и анимационных задач;
- создание и модификация моделей поведения динамических параметров в виде траекторий;
- загрузка, выгрузка, компрессия, декомпрессия и интерпретация траекторий;
- интерпретация воздействия различных устройств ручного управления поведением параметров моделей сцен;
- обеспечение согласования различных временных сеток, в которых задано поведение динамических параметров моделей сцен;
- обеспечение согласования параметров управления, пришедших от различных источников управления, и распределение управления по каналам КГИ;
- обеспечение синхронизации работы каналов КГИ.

Для решения поставленных задач была предложена следующая архитектура. Система управления состоит из семи основных компонент (рис. 3).

Командный процессор является частью системы управления, обеспечивающей связь с оператором КГИ. Команды, введенные оператором с клавиатуры управляющей ЭВМ или посредством косвенных командных файлов, приводятся в соответствие стандартному внутреннему интерфейсу и передаются на исполнение через драйвер связи с КГИ. Командный процессор реализован как открытая динамическая подсистема, позволяющая модифицировать дерево команд непосредственно из анимационных задач.

Анимационная система является средством описания модели поведения сцены, реализованным в виде процессно-ориентированного библиотечного расширения языка Модуля 2. Пользователю анимационной системы предоставляются возможности для создания параллельно исполняемых анимацион-

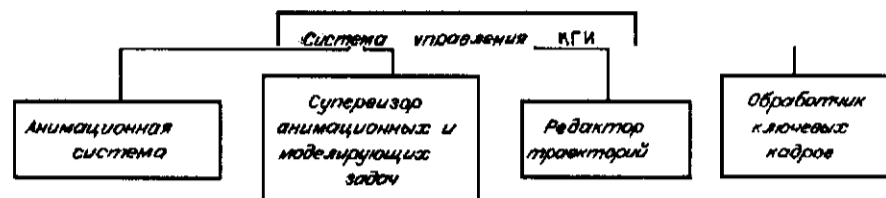


Рис. 3

ных задач и синхронизации их исполнения во времени. Анимационная система организована так, что с точки зрения пользователя моделирующие задачи представляют собой некоторый специальный тип динамически загружаемых анимационных задач, поэтому их запуск и синхронизация исполнений осуществляются обычными средствами. Доступ к анимационным переменным моделирующих задач внешне организован аналогично доступу к экспортируемым переменным динамически загружаемых библиотек в традиционных системах программирования.

Драйверы связи с СВД — это резидентные программы, обеспечивающие унификацию форматов данных, поступающих от различных типов тренажеров. Драйвер полностью скрывает особенности конкретных аппаратных средств связи, предоставляя системе управления стандартный интерфейс общения со внешними имитаторами динамики. Кроме того, задачей драйвера связи с СВД является фиксация времени прихода очередной анимационной последовательности, которое используется обработчиком ключевых кадров для проецирования временной сетки тренажера на временную сетку КГИ.

Драйвер связи с КГИ — это резидентная программа, обеспечивающая стандартный внутренний интерфейс при взаимодействии системы управления с различными типами КГИ. С точки зрения системы управления компьютерные генераторы изображений являются виртуальными устройствами, способными исполнять определенный набор команд. В этом смысле КГИ «Альбатрос», представляющий собой мощный специализированный конвейерный вычислитель, мало чем отличается от системы отображения на базе IBM PC. Важнейшей задачей драйвера является поддержка синхронизации работы каналов многоканальной КГИ и защита их от информационных перегрузок. Информационные перегрузки возникают в тех случаях, когда время исполнения моделирующих задач в каком-либо из каналов превышает время, отведенное на обновление изображения. Это приводит к расхождению фаз исполнения задач в различных каналах и потере синхронизации с СВД. Обычно информационные перегрузки носят всплесковый характер. Драйвер связи с КГИ в таких случаях производит разрядку временной сетки КГИ, сохраняя привязку к временной сетке системы управления в узловых точках.

Обработчик ключевых кадров — это часть системы управления, предназначенная для согласования различных временных сеток, к которым привязаны анимационные последовательности. Система управления использует в качестве своих системных часов моменты завершения обновления изображения в КГИ. После построения каждого очередного кадра системное время увеличивается на единицу. Системным временем СВД тренажера являются циклы обновления данных. Как правило, длительность одного цикла в тренажере превосходит и не кратна длительности цикла системы управления. Обработчик ключевых кадров проецирует значения анимационных переменных на

временную ось системы управления, одновременно рассчитывая эти значения для всех промежуточных кадров. Кроме того, производится экстраполяция значений параметров на время задержки от момента воздействия экипажа на устройства управления летательного аппарата до момента появления соответствующего изображения на экране. Время задержки является плавающей величиной, зависящей от времени реакции СВД, потерь на тракте связи и текущей загрузки каналов КГИ. На вход обработчика ключевых кадров могут также поступать анимационные последовательности от редактора траекторий и анимационных задач в тех случаях, когда требуется сжатие информации о поведении сцены или эту информацию удобно представлять на разреженной временной сетке.

Супервизор анимационных и моделирующих задач — это часть системы управления, отвечающая за загрузку, выгрузку, активизацию, деактивизацию, а также синхронизацию исполнения моделирующих и анимационных задач. Каждой из задач в момент активизации присваивается определенный симости от движения самолета) может инициироваться системой выдачи данных как результат соответствующих действий летчика или анимационной задачей в зависимости от высоты полета.

Редактор траекторий является частью системы управления, обеспечивающей сохранение и воспроизведение анимационных последовательностей, поступающих в каналы КГИ в процессе отображения. Воспроизведение может осуществляться в обычном, замедленном, ускоренном и пошаговом режимах, в прямом и обратном направлениях. Допускается использование траекторий, заданных на разреженных временных сетках. В этом случае производится интерполяция значений анимационных переменных. Во время записи траектории осуществляется конкатенация анимационных последовательностей, созданных различными генераторами значений анимационных переменных. Такими генераторами могут быть не только система выдачи данных тренажера и анимационные задачи, но и ранее записанные траектории. Редактор траекторий может управляться посредством команд оператора КГИ, системой выдачи данных или непосредственно из анимационных задач.

На рис. 4 приводится схема потоков данных, возникающих при управлении поведением моделируемых сцен (двойными стрелками изображены анимационные последовательности).

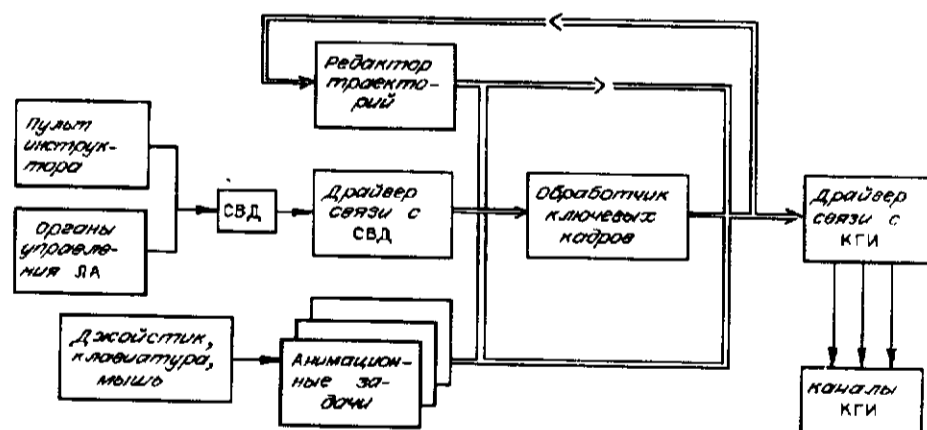


Рис. 4

Заключение. Практика показала, что система в целом неплохо справляется со своей главной задачей — управлением КГИ в режиме связи с СВД тренажера. На базе системы создан ряд анимационных задач, расширивший возможности КГИ «Альбатрос» и положивший начало служебной анимационной библиотеке комплекса SoftLab Images. К таким задачам относятся, например, задачи имитации слоя облачности, тени от самолета, управления выводом на экраны каналов навигационной и справочной информации и т. д. Система управления выдерживает двухкратные перегрузки каналов КГИ без значительных визуальных дефектов и межканальных расхождений. Длительность цикла вычислений в различных тренажерах варьировалась от 50 до 150 мс, а задержки на тракте связи достигали 100 мс, при этом сохранялась плавность движений объектов.

Одновременно выявились и недостатки системы. К ним относятся: 1) недостаточная устойчивость к помехам на линии связи, приводящим к нарушению протоколов обмена с СВД; 2) отсутствие механизма борьбы с нарушениями в периодичности приходов данных, связанных с неравномерностью загрузки СВД; 3) недостаточно удобный пользовательский интерфейс при работе с системой в автономном режиме (т. е. без связи с тренажером при разработке и отладке моделирующих и анимационных задач); 4) отсутствие интерактивных средств для создания анимационных задач.

Авторы надеются учесть перечисленные недостатки в следующих версиях системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белаго И. В., Некрасов Ю. Ю., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. Комплекс трехмерного визуального моделирования SoftLab Images 1.1 // Автометрия. — 1993. — № 5.
2. Белаго И. В., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. SDL — язык описания визуальных моделей трехмерных сцен // Там же.
3. Романовский А. В. VML — язык описания геометрических моделей трехмерных сцен для синтезирующих систем визуализации // Там же.
4. Романовский А. В. Язык смешанных вычислений для визуального моделирования трехмерных сцен и их динамики реального времени // Автометрия. — 1994. — № 6.
5. Белаго 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 // Там же.
6. Долговесов Б. С. Архитектура систем отображения трехмерных объектов в реальном времени широкого назначения // Машинная графика 89: Программа и тез. докл. 5 Всесоюз. конф. — Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1989.
7. 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.
8. Magnenat-Thelmann N., Magnenat-Thelmann D. Computer animation: Theory and Practice. — Berlin a.o.: Springer, 1985.

Поступила в редакцию 26 мая 1994 г.