

МАШИННАЯ ГРАФИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 629.7.058.74 : 681.3.06

А. М. КОВАЛЕВ, Э. А. ТАЛНЫКИН

(Новосибирск)

МАШИННЫЙ СИНТЕЗ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

Введение. Имитация визуальной обстановки — это искусственное построение изображений окружающей среды с такой степенью достоверности, которая достаточна для выработки и поддержания у операторов профессиональных навыков визуального управления подвижными объектами.

Различают два направления в создании имитаторов визуальной обстановки (ИВО): физическое и математическое моделирование объектов наблюдения.

ИВО с физическими моделями (оптико-механические, кинематографические, телевизионные, теневые и т. д.) содержат механические носители визуальной информации (макеты, диапозитивы, киноплёнки) с электромеханическими приводами для изменения взаимного положения носителей информации и средств ее восприятия (телекамер, кинопроекторов, оптических устройств и т. д.). Такие имитаторы, как правило, имеют ограниченные характеристики и не отличаются универсальностью.

ИВО второго направления используют принципы синтеза изображений с помощью ЭВМ. В синтезирующих системах визуализации (ССВ) окружающая среда представляется в виде математической (численной) модели, которую размещают в памяти ЭВМ. В процессе синтеза информация извлекается из памяти, преобразуется и воспроизводится на экранах отображающих устройств. ССВ отличаются универсальностью и гибкостью, способны имитировать визуальную обстановку практически для любых объектов наблюдателя и объектов наблюдения.

Главным требованием, предъявляемым к системам визуализации, является соблюдение информационного и психофизиологического подобию: воспроизводимые изображения должны адекватно отображать обстановку с тем, чтобы образ, формирующийся у наблюдателя при восприятии изображений, был близок к реальным объектам. Особенности зрительного восприятия человека требуют использовать такие приемы имитации трехмерного пространства, как линейная перспектива; имитация светотеней в зависимости от положения и интенсивности источника освещения; разделение объектов по относительной удаленности от наблюдателя путем изменения контраста, передачи текстуры поверхностей объектов с учетом освещения и состояния атмосферы; удаление невидимых поверхностей объектов, скрытых от наблюдателя более близкими объектами.

При имитации визуальной обстановки моделируемые сцены должны изменяться в реальном времени в ответ на действия оператора, инструктора-тренера или других внешних факторов. Допускаемое при этом время, отводимое для синтеза изображений, не должно превышать долей секунды, а чтобы поддержать эффект естественного движения, частота обновления «кадров» ситуации должна быть не менее чем 25—50 Гц.

За рубежом подобные системы нашли коммерческое применение главным образом в авиационно-космических тренажерах, где они используются с целью обучения, выработки и поддержания у пилотов навыков визуального управления летательным аппаратом в различных условиях видимости, при взлете и посадке, полетах по земным ориентирам, подготовке для выполнения космических программ и т. д.

Цель данной статьи — познакомить специалистов с основными трудностями создания систем визуализации, а также показать некоторые пути их преодоления на примере разработок, проводимых Институтом автоматизации и электрометрии СО АН СССР.

Синтез визуальной обстановки: постановка задачи, модель решения. Пусть в некоторой базовой системе координат (X, Y, Z) задано описание трехмерной «среды» (рис. 1), составленной из непрозрачных твердых объектов, поверхности которых могут быть представлены конечным множеством радиус-векторов R_i и нормалей к поверхностям N_i . Будем считать, что основная характеристика поверхности — ее цвет C , компоненты которого являются коэффициентами отражения в основных цветах воспроизводящего устройства (красный, зеленый, синий). В пространстве X, Y, Z находятся подвижные объекты, заданные в собственной системе координат X_n, Y_n, Z_n .

В подвижной системе координат наблюдателя X_n, Y_n, Z_n , начало которой совпадает с глазом оператора, а ось Z_n — с направлением наблюдения, задана плоскость обзора, перпендикулярная оси Z_n , и в ней прямоугольное окно, ограничивающее угол зрения по вертикали и горизонтали.

Пусть далее для каждого интервала времени $T = 1/F$, где F — частота смены кадров изображения, известны положение и ориентация наблюдателя и всех подвижных объектов, которые могут быть заданы либо с помощью шести числовых параметров (три координаты векторов положения и три угла Эйлера), либо в форме матриц положения. Параметры (или матрицы) должны поступать в систему визуализации от внешнего вычислителя динамики движения наблюдателя и объектов.

Будем считать, что среда освещается бесконечно удаленным источником и направление освещения совпадает с вектором I , модуль которого задает интенсивность освещения. Состояние атмосферы определим цветом фона C_ϕ и коэффициентом прозрачности (тумана, дымки) β .

Задача синтеза изображений при заданных выше условиях состоит в том, чтобы на каждом временном интервале сформировать изображение объектов (или их частей) в плоскости обзора с учетом приемов имитации трехмерного пространства, о которых сообщалось во введении.

Решение задачи разбивается на следующие этапы: преобразование всех объектов в единую систему координат; выделение объектов, попада-

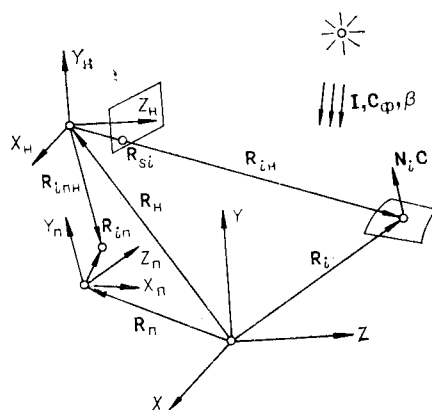


Рис. 1.

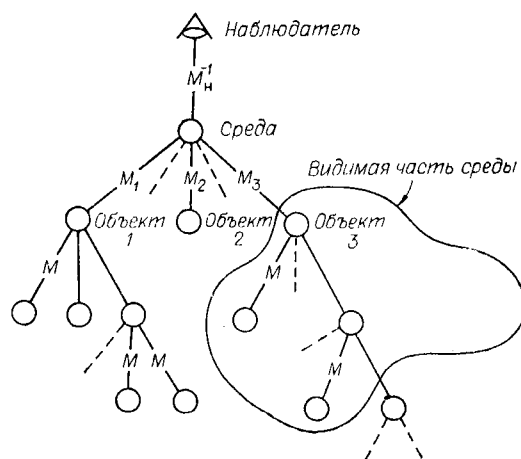


Рис. 2.

ющих в поле зрения наблюдателя; проецирование выделенных объектов на плоскость обзора; удаление невидимых поверхностей перекрытых объектов; вычисление цвета видимых поверхностей; формирование сигналов изображения для воспроизводящего устройства, например видеосигналов для телевизионного (ТВ) монитора.

Преобразование объектов в систему координат наблюдателя может быть осуществлено с помощью операции умножения каждого вектора, определяющего точку на поверхности, на матрицу преобразования

$$\mathbf{R}_{in} = \mathbf{R}_i \mathbf{M}_n^{-1} \quad (1)$$

для неподвижных и

$$\mathbf{R}_{in} = \mathbf{R}_{in} \mathbf{M}_n \mathbf{M}_n^{-1} \quad (2)$$

для подвижных объектов. Здесь \mathbf{M}_n^{-1} — матрица, обратная матрице положения наблюдателя в базовой системе координат; \mathbf{M}_n — матрица положения подвижного объекта в базовой системе координат.

Точка, попавшая в поле зрения наблюдателя, должна лежать внутри пирамиды видимости, образованной четырьмя плоскостями, проходящими через глаз наблюдателя и стороны окна плоскости обзора. Все объекты среды вне пирамиды видимости выбывают из дальнейшего рассмотрения. Эта процедура в машинной графике называется отсечением, или клиппированием [1].

Проекция объектов на плоскость обзора получают путем операции «перспективного» деления:

$$\mathbf{R}_{si} = (f/Z_{in}) \mathbf{R}_{in}, \quad (3)$$

где f — масштабный коэффициент.

В одну и ту же точку \mathbf{R}_{si} плоскости обзора может спроецироваться несколько точек от поверхностей разных объектов, находящихся от наблюдателя на разных расстояниях. Удалить невидимые поверхности — это значит выбрать такую точку, для которой минимально расстояние $|\mathbf{R}_{in}|$.

Вычисление цвета i -й точки с учетом заданного освещения и состояния атмосферы проводится на основе соотношения

$$\mathbf{C}_i = \mathbf{C}_i (\mathbf{N}_i \times \mathbf{I}) e^{-\beta |\mathbf{R}_{in}|} + \mathbf{C}_\phi (1 - e^{-\beta |\mathbf{R}_{in}|}). \quad (4)$$

Здесь $(\mathbf{N}_i \times \mathbf{I})$ — скалярное произведение нормали поверхности на вектор освещения.

Массив точек, полученный в плоскости обзора, является решением задачи. Для оценки вычислительных ресурсов, необходимых при решении задачи формальным (или «лобовым») способом, примем, что «глубинная» сложность среды [2], т. е. среднее число поверхностей, прошиваемых лучом зрения, не превышает четырех. Тогда при разрешении устройства, воспроизводящего изображение 500×500 элементов, необходимо обработать, по меньшей мере, 10^6 потенциально видимых точек, попавших только лишь в пирамиду видимости. Из выражений (1)–(4) нетрудно подсчитать, что средние затраты на обработку одной точки составляют несколько десятков (более 40) арифметических и логических операций. Если учесть, что расчеты каждого кадра изображения должны повторяться с минимальной частотой 25 Гц, то нетрудно увидеть, что вычислительная машина для синтеза изображения должна обладать производительностью более миллиарда операций в секунду.

Приведенное рассмотрение раскрывает, с одной стороны, суть задачи (преобразования в пространстве «среды», наблюдателя, плоскости обзора), а с другой — несостоятельность формального подхода и необходимость более утонченного и эффективного метода синтеза визуальной обстановки.

Основные принципы построения синтезирующих систем визуализации. Совершенствование методов машинной графики, развитие вычисли-

тельной техники, программирования и появление новой элементной базы предопределили возможность построения ССВ с использованием следующих основополагающих принципов:

аппроксимация поверхностей и иерархия моделей объектов;
параллельные вычисления и организация вычислительного конвейера;

применение эффективных алгоритмов, реализуемых специализированными вычислителями, входящими в состав конвейера.

Аппроксимация поверхностей объектов и иерархия моделей приводят к компактности описания, простоте построения изображения аппроксимированного объекта и удобству преобразования, что в целом не только значительно уменьшает необходимые вычислительные ресурсы, но и позволяет организовать их гибкое использование.

В машинной графике обычно имеют дело с непрозрачными объектами, которые аппроксимируются наборами плоских граней-многоугольников [1] (так называемая полигональная аппроксимация). С помощью плоских граней адекватно отображаются такие элементы местности, как взлетно-посадочные полосы, дорожки, строения, поля, озера, дороги; хуже описывается пересеченная холмистая местность и совсем плохо леса, отдельно стоящие деревья (особенно при наблюдении с малой высоты полета). Объекты с криволинейными поверхностями (летательные аппараты, емкости для хранения горючего и т. п.) могут быть также аппроксимированы наборами плоских граней и воспроизведены с достаточной достоверностью, если выполнять интерполяцию цвета вдоль плоских граней, не допуская скачкообразных изменений цвета на ребрах смежных граней [3, 4]. Несмотря на то что при разработке систем автоматизированного проектирования в самолетостроении, автомобилестроении и кораблестроении найдены более адекватные методы описания криволинейных поверхностей (поверхности Куписа, Безье, бигубические сплайны, *B*-сплайны и т. д. [5]), в ССВ первых поколений они не используются по той причине, что требуют более трудоемких по сравнению с полигональной аппроксимацией алгоритмов обработки.

Таким образом, основным элементом (или геометрическим примитивом) описания среды принято считать грань-многоугольник, которая описывается координатами вершин, цветом и отражательной способностью.

Принцип упорядочивания граней определяет структуру данных. В ССВ используются иерархические структуры [6]. Каждый узел иерархии представляет набор геометрических примитивов, достаточный для описания объекта на данном уровне (рис. 2).

Для конкретно решаемой задачи база данных реального времени строится из отдельных подцен и моделей с учетом специфики задачи и с использованием принципа минимизации времени доступа к отдельным элементам базы. По отношению к процессу синтеза изображений такая база данных называется глобальной, поскольку содержит информацию, достаточную для генерации любого вида моделируемой обстановки.

В процессе синтеза изображений строится так называемая локальная база данных, содержащая потенциально видимые объекты сцены для текущего положения наблюдателя. Время «жизни» объекта в локальной базе зависит от угловых и линейных скоростей объекта наблюдателя; размер локальной базы определяется в основном производительностью ССВ, выраженной в количестве потенциально видимых граней, обрабатываемых с частотой смены кадров изображения.

Вычислительный процесс в ССВ реализуется с помощью каскада параллельно работающих процессоров, образующих конвейерную архитектуру. Каждый каскад берет информацию от предыдущего и передает результаты на следующий. Первый каскад получает информацию из глобальной базы данных, а последний формирует выходной видеосигнал. Типичный конвейер для ССВ состоит из четырех каскадов:

глобальная база данных — сценарный процессор;

локальная база данных — геометрический процессор;

проекции объектов на плоскость обзора — видеопроцессор;
элементы изображения — формирователь видеосигнала.

Приведенная схема определяется этапностью решения задачи синтеза изображений. Она стала классической, что подтверждается историей развития ССВ за рубежом, насчитывающей уже три поколения таких систем. Конкретные реализации могут упрощать либо детализировать приведенную схему. В ССВ высокой производительности отдельные каскады реализуются, в свою очередь, как конвейеры либо мультипроцессоры иной организации, а недорогие ССВ часто объединяют функции нескольких каскадов в одном процессоре, и эти функции выполняются последовательно.

Сценарный процессор всегда является вычислительной машиной общего назначения (мини-ЭВМ достаточной производительности и ресурсоемкости), внешняя память которой используется для хранения глобальной базы данных. Задача сценарного процессора — поддержка локальной базы данных, синхронизация всей системы, связь с центральным моделирующим комплексом и пультом оператора системы (инструктором), сбор информации об ошибках и т. д.

Второй каскад конвейера работает с потенциально видимыми грани-многоугольниками, выполняя следующие процедуры: вычисление цвета многоугольника; преобразование многоугольника в систему координат наблюдателя; отсечение, или клиппирование, многоугольников; проективное преобразование; составление списка многоугольников в системе координат плоскости обзора.

В зависимости от требований к производительности и стоимости ССВ функции геометрического процессора могут реализовываться ЭВМ, матричным процессором общего назначения или спецпроцессором типа матричного умножителя, клиппирующего делителя и т. д. Характерной особенностью данного каскада является выполнение достаточно большого числа операций над вещественными числами.

Третий каскад вычислительного конвейера ССВ выполняет следующие процедуры: устранение невидимых поверхностей объектов, перекрытых объектами, более близкими к наблюдателю; вычисление цвета видимых поверхностей с учетом воздушной перспективы, интерполяция цвета вдоль плоскости многоугольника; фильтрация изображения для устранения дефектов квантования, определяемых конечным разрешением воспроизводящего устройства; составление списка элементов изображения для воспроизведения (например, строк для ТВ-монитора).

Конечная цель данного этапа синтеза — вычисление цвета каждого элемента изображения с заданным разрешением. Как правило, в ССВ для имитации обстановки применяют телевизионные системы воспроизведения. Для стандарта в 625 строк необходимо обеспечить вычисление, по крайней мере, 500×500 элементов изображения за время телевизионного кадра. При этом на вычисление каждого элемента изображения отводится период времени, равный 100 нс. Нет сомнения, что этот этап наиболее трудоемкий, а решение проблемы содержится в разработке специальных алгоритмов вычислений и создании специализированного оборудования с распараллеливанием операций.

На заключительном, четвертом, этапе синтеза изображений данные, подлежащие отображению, преобразуются в видеосигнал, соответствующий телевизионному стандарту. Объем памяти для хранения изображения в различных системах колеблется от полного буфера на весь кадр изображения до буфера на одну строку.

Вычислительные конвейеры ССВ. В Институте автоматики и электротехники СО АН СССР разработаны, изготовлены и испытаны макетные образцы двух ССВ. Системы синтезируют изображения трехмерных визуальных сцен, составленных из приоритетно-упорядоченных объектов [7].

Блок-схема первой из указанных ССВ представлена на рис. 3. В качестве сценарного процессора применяется ЭВМ типа «Электрони-

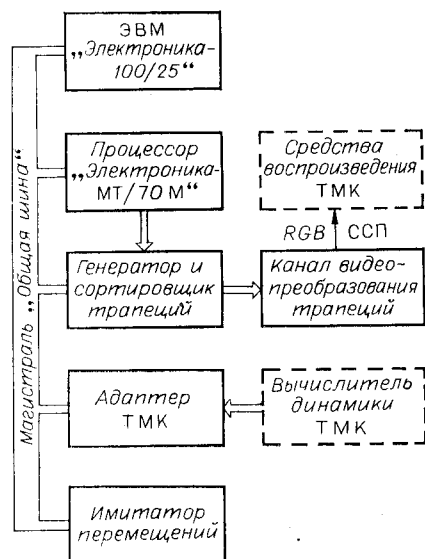


Рис. 3.

Основное назначение ЭВМ «Электроника-100/25» в системе — получение параметров движения наблюдателя от ТМК; модификация локальной базы данных; построение приоритетно-упорядоченного списка потенциально видимых объектов для заданного положения наблюдателя.

Спецпроцессор «Электроника-МТ/70М» выполняет описанные ранее функции геометрического процессора с той особенностью, что объекты локальной базы обрабатываются в порядке следования по приоритетному списку, полученному из ЭВМ «Электроника-100/25». На выходе спецпроцессора образуется последовательность спроецированных на экранную плоскость граней, которые также приоритетно упорядочены.

Для удобства видеопреобразования и фильтрации каждая грань-многоугольник подразделяется на трапеции с основаниями, проходящими параллельно строкам изображения. Сортировщик «раскладывает» трапеции по полосам изображения, на которые условно разбит весь экран ТВ-монитора. Накопленные в памяти канала видеопреобразования трапеции оказываются отсортированными по полосам, а в каждой полосе — по приоритету.

Видеопреобразователь синхронно с телевизионной разверткой обрабатывает трапеции только той полосы, которой принадлежит текущая телевизионная строка раstra. Вычисляется след трапеции на строке (пересечение трапеции со стороной), называемый сегментом. Определяются координаты и цвет левого и правого конца сегмента. Сегменты накапливаются в приоритетном порядке в памяти строки, а в течение обратного хода строчной развертки передаются четвертому каскаду вычислительного конвейера, содержащему память изображения и приоритетный кодоимпульсный преобразователь. За время прямого хода по строке этот преобразователь определяет, какой сегмент должен быть отображен на данном элементе строки. Код цвета сегмента подвергается цифроаналоговому преобразованию, интерполяции и сглаживанию.

Канал видеопреобразования может содержать до четырех подканалов. Каждый подканал способен преобразовать в течение полукадра до 2047 трапеций по 64 трапеции в полосе шириной 16 строк.

Программируемый спецпроцессор «Электроника-МТ/70М» обеспечивает производительность до 12 Мфлоп/с, что позволяет обработать до 500 потенциально видимых граней локальной базы данных.

При разработке второй системы преследовались следующие цели: увеличение сложности синтезируемых изображений до 1000 потенциально видимых граней в среднем с 4 вершинами;

ка-100/25», на дисковых накопителях которой размещается глобальная база данных реального времени. Локальная база занимает память данных периферийного спецпроцессора «Электроника-МТ/70М» [8, 9]. Этот процессор совместно с генератором и сортировщиком трапеций образует второй каскад вычислительного конвейера. Третий и четвертый каскады конвейера реализованы как узкоспециализированные вычислители и находятся в канале видеопреобразования трапеций в сигнал, пригодный для воспроизведения на телевизионном мониторе (сигналы *R*, *G*, *B* и ССП). В системе имеется шестистепенной имитатор перемещения наблюдателя в моделируемой внешней обстановке для проверки работоспособности ССП в автономном режиме и адаптер для работы на линии с тренажерно-моделирующим комплексом (ТМК).

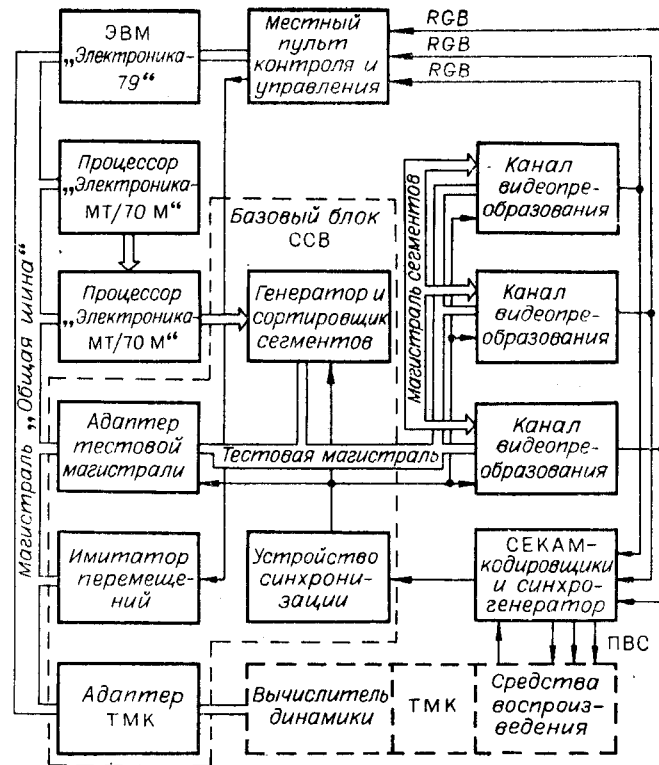


Рис. 4.

обеспечение возможности разделения ресурсов между несколькими видеоканалами;

защита системы от информационных перегрузок;

имитация воздушной дымки, облачности и тумана в соответствии с категориями минимумов погоды в нормах ICAO;

повышение качества изображений применением цифровой фильтрации;

разработка подсистемы контроля и диагностики неисправностей.

Блок-схема данной ССВ представлена на рис. 4. В качестве сценарного процессора выбрана новая высокопроизводительная мини-ЭВМ «Электроника-79» [10]. Роль геометрического процессора выполняет тандем спецпроцессоров типа «Электроника-МТ/70М», связанных между собой дополнительным каналом передачи вещественных чисел. Функции между процессорами распределены так, что первый осуществляет в основном матричные преобразования, а второй — процедуры отсечения граней и проективного преобразования. Скалярные операции масштабирования и смещения в экранной плоскости вынесены в базовый блок ССВ.

Так же как и в первой системе, грани подразделяются на трапеции, однако высота трапеций здесь равна одному или двум элементам телевизионного раstra.

Приоритетно-упорядоченные сегменты сортируются по строкам телевизионного раstra (полоса шириной в один или два кванта) «корзинным» способом и накапливаются в памяти сегментов, чтобы подвергнуться видеопреобразованию на следующем полукадре ТВ-кадра. Каждая строка изображения представляется в виде Y-стека сегментов с возрастающими приоритетами.

Через магистраль сегментов данные поступают в каналы видеопреобразования. В каждом канале имеется приоритетный X-сортировщик сегментов, память видимых сегментов (типа FIFO), блок интерполяции яркости, блок тумана, видеобуфер на 3 строки изображения, блоки

фильтрации, гамма-коррекции и цифроаналоговых преобразований. Выходными сигналами канала являются видеосигналы основных цветов (R, G, B) и синхросмесь (ССП) либо видеосигналы, подвергнутые СЕКАМ-кодированию (ПВС). Интерпретация видеосигналов и управление подвижных объектов позволяет в автономном режиме осуществить комплексный тест ССВ.

Для избежания информационных перегрузок, приводящих к искажению изображений, в генераторе сегментов и канале видеопреобразования предусмотрены аппаратные средства защиты.

Программное обеспечение ССВ. Под программным обеспечением ССВ понимается вся совокупность программных средств, которые необходимо разрабатывать и поддерживать на всех этапах жизненного цикла ССВ — от проекта до готовой системы, работающей в составе тренажерного или исследовательского комплекса. Выделим следующие подсистемы программного обеспечения: средства наладки, тестирования и диагностики; комплекс подготовки данных; система реального времени; инструментальные программные средства.

Остановимся коротко на особенностях каждой из подсистем. При настройке специализированного оборудования ССВ (генератор сегментов, видеопреобразователь) наиболее естественный путь — автономная настройка отдельных узлов, затем блоков и комплексная наладка. Для обеспечения этого подхода разработана диалоговая система с языковым процессором, позволяющая проводить наладку узлов и блоков в режиме разделения времени. Язык системы прост и доступен инженеру, рабочее место которого наряду с осциллографом включает теперь терминал ЭВМ. В процессе настройки вырабатываются микротесты для отдельных узлов. В результате систематизации этих материалов создается тестовое и диагностическое обеспечение системы.

Информационный стержень комплекса подготовки данных — база данных описаний визуальных моделей (библиотека моделей). В качестве способа представления моделей в библиотеке выбрана не структура данных, а специально разработанный внутренний язык. В качестве средств пополнения библиотек моделей используются полуавтоматический ввод информации с чертежей и фотографий, а также программная генерация объектов, описываемых математически (тела вращения, сплайн-поверхности, регулярные структуры и т. п.). Кроме того, разработан специальный язык высокого уровня для конструирования сцен из моделей библиотеки независимо от того, каким способом эти модели получены.

Еще одной частью комплекса подготовки данных являются программы предварительной обработки базы данных. Основное их назначение — освободить систему реального времени от операций, которые можно произвести заранее. Примерами могут служить пространственная сортировка, автоматическое построение габаритных сфер объектов, расчет теней от неподвижных объектов, раскраска неподвижных объектов, расчет взаимных пересечений объектов и т. д. Очевидно, что нужны средства для контроля и редактирования описаний моделей, а также система оперативной «обкатки» базы данных для конкретной задачи.

Для перехода к системе реального времени существует генератор базы данных реального времени, представляющий собой достаточно сложную программу, аналогичную генераторам операционных систем. Дело в том, что база данных реального времени содержит не только данные, но и все программы для всех процессоров, необходимые для работы ССВ в тренажерном комплексе.

Основная специфика программной системы реального времени — жесткие временные требования, большой объем данных, алгоритмы, требующие значительных вычислительных ресурсов, необходимость синхронизации большого числа параллельных процессов и потоков данных на разнородных процессорах, обратная связь от самых нижних уровней иерархической организации к самым верхним (например, информационные перегрузки и аппаратные ошибки).

Временные ограничения и требование синхронизации параллельных процессов не позволяют использовать штатные операционные системы, выходящие за пределы возможностей реального времени. Поэтому для данных с привязкой к жестко синхронизированной ТВ-системе.

Поддержка локальной базы данных — основная задача системы реального времени. Для ее выполнения включаются алгоритмы планирования потоков данных, динамическое распределение памяти, учет межкадровой корреляции изображений, алгоритмы смены детализации объектов и борьбы с перегрузками. Все это необходимо для того, чтобы при заданной производительности системы обеспечить максимальную детальность синтезируемых изображений.

Наряду с перечисленными проблемами системного характера, в реальном времени приходится производить большой объем чисто вычислительных операций.

Разработка программного обеспечения ССВ, как и любого большого проекта, требует адекватных инструментальных программных средств: языков программирования и компиляторов, систем текстового документирования, средств библиотечной поддержки и т. д.

Заключение. Разработка синтезирующих систем визуализации является комплексной научно-технической проблемой, опирающейся на совершенствование методов машинной графики, разработку эффективных алгоритмов высокопроизводительных специализированных процессоров и устройств на новой элементной базе, разработку системного и прикладного программного обеспечения.

Необходима дальнейшая концентрация усилий на решении следующих задач:

- поиск и разработка эффективных методов подготовки математических моделей объектов и формирования банков данных;
- поиск и разработка методов синтеза криволинейных, текстурированных и затененных поверхностей;
- разработка методов распараллеливания алгоритмов синтеза изображений и создание высокопроизводительных ССВ;
- разработка систем визуализации малой стоимости;
- разработка научно-обоснованных критериев применения ССВ разной производительности в конкретных приложениях.

Следует отметить, что разрабатываемые средства одновременно решают ряд проблем на пути к созданию систем автоматизированного проектирования в машиностроении, архитектуре и т. д. Массовое внедрение ССВ в таком направлении возможно лишь при значительном уменьшении стоимости визуализации, что, в свою очередь, требует развития технологии изготовления заказных СВИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики.— М.: Мир, 1976.
2. Sutherland I. E., Sproull R. F., Schumacker R. A. A characterization of ten hidden surface algorithms.— Comput. Surv., 1974, vol. 6, N 1.

3. Gouraud N. Computer display of curved surfaces.— IEEE Trans., 1971, vol. C-20, June.
4. Bui Tuong Phong. Illumination for computer generated pictures.— CACM, 1975, N 6.
5. Rogers D. F., Adams I. A. Mathematical elements for computer graphics.— N. Y.: McGraw-Hill Book Company, 1976.
6. Clark J. H. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms.— CACM, 1976, vol. 19, N 10.
7. Долговесов Б. С. и др. Устройство для вывода полутоновых изображений трехмерных объектов на экран телевизионного приемника. (Автор. свид-во № 834692).— БИ, 1981, № 20.
8. Талов И. П. и др. Мини- и микро-ЭВМ и спецпроцессоры семейства «Электроника».— В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. «Диалог-82». Пушкино, 1982.
9. Толстых Б. Л., Талов И. Л., Плотников В. В., Бондаревич Г. Г. Быстродействующий периферийный процессор «Электроника МТ-70».— УСиМ, 1983, № 4.
10. Талов И. Л., Плотников В. В., Межов В. Е., Бондаревич Г. Г. Новая высокопроизводительная мини-ЭВМ «Электроника-79» и эффективность ее использования в системах схемотехнического проектирования БИС.— УСиМ, 1982, № 6.

Поступила в редакцию 16 января 1984 г.

УДК 681.327.22 : 621.397.6.037.733.2

А. М. КОВАЛЕВ, В. В. КУРОЧКИН, Ю. В. ТАРНОПОЛЬСКИЙ

(Новосибирск)

ТРЕХПОРТОВАЯ ПАМЯТЬ ТЕЛЕВИЗИОННОГО КАДРА

Цифровая память, доступная вычислительной машине и одновременно обеспечивающая отображение своего содержимого на экране телевизионного монитора, находит широкое применение в различных областях науки и техники.

Память телевизионного кадра (ПТВК) успешно используется при обработке аэрокосмической информации [1—3], в астрофизических [4, 5] и медицинских [6, 7] исследованиях, в системах цифровой передачи сообщений [8—10], в авиации [11]. Телевизионные дисплеи [12, 13], созданные на основе ПТВК, дают возможность автоматизировать процессы проектирования и производства различной аппаратуры [14—16]. В системах синтеза визуальной обстановки ПТВК выполняет роль буфера или видеобуфера, согласующего телевизионную развертку с неравномерной скоростью поступления данных от набора видеопроцессоров [17].

Большинство отмеченных разработок ПТВК в значительной степени специализированы для своей области применения и обладают одним или несколькими из перечисленных ниже недостатков: пониженное разрешение по сравнению со стандартными телевизионными системами; неодинаковое разрешение по осям X и Y ; недостаточное для получения высококачественного изображения число градаций яркости для каждой компоненты цвета; отсутствия быстродействующего порта связи с источником изображения (как правило, ПТВК имеет лишь порты связи с ЭВМ и телевизионным монитором); отсутствие контроля и исправления ошибок; отсутствие аппаратных средств для компенсации нелинейности характеристики «напряжение — яркость» телевизионных мониторов; отсутствие управления форматом изображения.

Целью данной работы является создание ПТВК, обладающей предельными характеристиками стандартного телевидения и не имеющей всех перечисленных недостатков.

В зависимости от количества одновременно работающих портов (n) параметры элементов памяти связаны с характеристиками телевизионной развертки следующим соотношением:

$$t_{\text{ц}}Q = H_{\text{а}}N/n,$$