

тестовую магистраль. Проверка работоспособности и настройка функциональных узлов системы производится с помощью специально разработанного пакета тестовых программ.

В рассмотренной структуре геометрического процессора имеет место буферизация данных — память кадра и память сегментов. Это связано с различными требованиями к быстродействию генераторов ребер и сегментов. Такт работы генератора ребер определяется скоростью поступления вершин многоугольника из процессора «Электроника МТ-70М» и составляет не менее 5 мкс. Такт работы генератора сегментов определяется максимальным количеством сегментов, которое необходимо сформировать в течение кадра, и составляет в среднем 400 нс, что позволяет обеспечить $96 \cdot 10^3$ сегментов в кадре. Минимальная временная задержка, вносимая буферизацией, равна 40 мс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А. М., Талныкин Э. А. Машинный синтез визуальной обстановки.— Автометрия, 1984, № 4.
2. Толстых И. Л. и др. Быстродействующий периферийный процессор «Электроника МТ-70».— УСиМ, 1983, № 4.
3. Богданов В. В., Ковалев А. М., Нефедов И. Б. и др. Канал видеопреобразования синтезирующей системы визуализации.— Автометрия, 1986, № 4.
4. Schachter B. J. Computer image generation for flight simulation.— IEEE Comput. Graph. and Applicat., 1981, v. 1, N 4.
5. Gouraud H. Continuous shading of curved surfaces.— IEEE Trans. on Comp., 1971, v. C-20, N 6.

Поступила в редакцию 14 февраля 1986 г.

УДК 629.7.058.74 : 681.3.06

В. В. БОГДАНОВ, А. М. КОВАЛЕВ, И. Б. НЕФЕДОВ,
Н. М. ПОНОМАРЕВ, А. С. СЕРОШТАН, А. С. ТОКАРЕВ
(Новосибирск)

КАНАЛ ВИДЕОПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Введение. Канал видеопреобразования синтезирующей системы визуализации (ССВ) [1] содержит аппаратные средства, предназначенные для приема и обработки данных, представленных в виде сегментов строки и формирования аналоговых (R, G, B) видеосигналов для телевизионных устройств отображения; система может включать до восьми каналов видеопреобразования, каждый из которых формирует собственный видеосюжет. При работе ССВ в реальном времени за период одного телевизионного кадра (40 мс) предстоит принять до 96 К сегментов и сформировать изображение, содержащее 512×512 растровых элементов; отсюда следует, что частота поступления сегментов достигает 5 МГц, а частота квантования телевизионной строки составляет 10 МГц. Этим определяется необходимое быстродействие соответствующих узлов канала видеопреобразования при выполнении следующих операций: 1) формирование и генерация списка видимых сегментов для каждой телевизионной строки (приоритетная X-сортировка); 2) линейная интерполяция цвета (яркости) и дальности вдоль сегментов; 3) имитация атмосферных явлений типа тумана или воздушной дымки; 4) цифроаналоговое преобразование и гамма-коррекция выходных видеосигналов.

В настоящей статье рассматривается структура канала видеопреобразования ССВ, разработанного в Институте автоматки и электротехники СО АН СССР, и описаны принципы его функционирования.

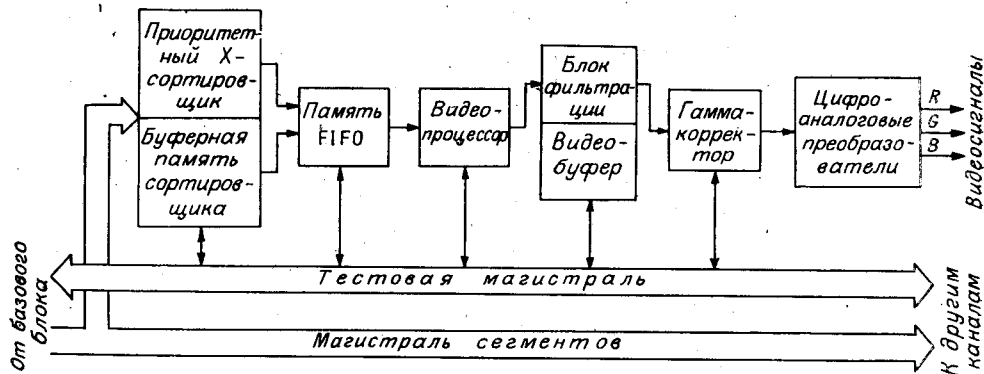


Рис. 1

Архитектура канала видеопреобразования. Для канала видеопреобразования как составной части ССВ определен геометрический примитив изображения — сегмент, представляющий собой проекцию многоугольника (границы объекта) на строку телевизионного растра и имеющий вид выпуклого четырехугольника. Сегмент задан координатами X , Y его четырех вершин и цветом (кодируется восемью двоичными разрядами); для левого и правого концов сегмента указаны яркость и дальность (координата Z).

Массив сегментов строк телевизионного кадра формируется в базовом блоке системы (генераторе сегментов) [2], и направляется в канал видеопреобразования в виде упорядоченного списка. Порядок следования сегментов определяется номером строки, которой они принадлежат; сегменты одной строки упорядочены по приоритету. Заметим, что распределение сегментов по строкам растра реальных отображаемых сюжетов весьма неравномерно и ситуация, когда сравнительно небольшое число строк имеет «насыщенность сегментами» выше средней, довольно характерна. В то же время периодический режим сканирования телевизионной развертки отводит одинаковое время (64 мкс) на отображение любой строки независимо от ее насыщенности сегментами. Во избежание непроизводительных простоев в приеме сегментов на видеопреобразование малонасыщенных строк и для накопления потенциала видеопреобразования строк с высокой насыщенностью сегментами предусмотрены меры по стабилизации потока сегментов, поступающих на видеопреобразование. Структурная схема канала видеопреобразования приведена на рис. 1.

Обработка сегментов, поступивших на видеопреобразование, начинается с приоритетной X -сортировки, необходимой для того, чтобы синхронно с ходом строчной развертки на каждом такте квантования оси X в формирование видеосигнала включался тот сегмент, который действительно видим в этой точке. При взаимном перекрытии сегментов конфликт разрешается в пользу наиболее приоритетного сегмента, для этого канал видеопреобразования содержит приоритетный X -сортировщик, на вход которого поступают сегменты от базового блока. В ходе сортировки составляется упорядоченный список RUN-кодов, т. е. значений координатных позиций оси X , где происходит смена видимого сегмента.

Список RUN-кодов любой строки обязательно начинается с кода начальной позиции строки, который служит разделителем между списками RUN-кодов смежных строк.

Сегменты с выхода X -сортировщика последовательно заносятся в буферную память типа FIFO, емкость которой (4096 слов-сегментов) позволяет накопить в ней списки для нескольких (по крайней мере, для восьми) строк, даже если они предельно насыщены сегментами. Наполнение буфера для текущего полукадра начинается заблаговременно: во время обратного хода кадровой развертки.

Выборка данных из буфера синхронизирована ходом строчной развертки: очередное слово-сегмент извлекается из памяти при совпадении RUN-кода со значением текущей координаты X_c . «Освободившееся место» немедленно заполняется очередными данными с выхода X -сортировщика. При малой и средней насыщенности строк сегментами средняя скорость выборки данных не превышает скорости работы X -сортировщика и память, динамически модифицируя свое содержимое, остается наполненной. Когда в отображение вступают строки с высокой насыщенностью сегментами, скорость выборки данных приближается к предельной, т. е. к частоте квантования оси X (10 МГц), что существенно превышает скорость работы X -сортировщика, и буферная память начинает опустошаться.

Очень высокая насыщенность строк сегментами может привести к полному опустошению буфера и как следствие к разрушению изображения на телевизионном экране. Для предотвращения этой ситуации ведется учет количества запасенных в буфере строк. Когда это количество падает ниже установленного критического уровня, включается механизм защиты от перегрузок. Его действие выражается в том, что взамен сегментов очередной строки каналу видеопреобразования передается признак повтора строки, вырабатываемый устройством защиты в генераторе сегментов. При поступлении этого признака канал видеопреобразования формирует строку, являющуюся полусуммой двух смежных с ней строк предыдущего полукадра. При этом частота выборки из буфера падает до $1/64 \cdot 10^6 = 15,625$ кГц и наполненность буфера восстанавливается. Видеопроцессор канала видеопреобразования состоит из блоков интерполяции, тумана и предфильтрации (см. рис. 1).

Синхронно с ходом строчной развертки на каждом такте квантования оси X на выходе FIFO появляются параметры того сегмента, который действительно видим в этой точке. Требуется сформировать текущее значение трех компонент R, G, B телевизионного сигнала. Поскольку параметры сегмента содержат код цвета, то для установки соответствующего этому коду соотношения компонент $R:G:B$ служит таблица цвета.

Линейная интерполяция яркости вдоль сегмента выполняется в блоке интерполяции. Так как для сегмента указываются только яркости левого I_L и правого I_R концов, то текущее значение яркости I_c для точки X_c внутри сегмента вычисляется в соответствии с соотношением

$$I_c = I_L \frac{X_R - X_c}{X_R - X_L} + I_R \frac{X_c - X_L}{X_R - X_L}, \quad (1)$$

где X_L, X_R — координаты левого и правого концов сегмента.

Умножая коэффициенты R, G и B , полученные из таблицы цвета, на общий множитель I_c , найдем текущее значение интенсивности для каждой цветовой компоненты:

$$R_c = RI_c, \quad G_c = GI_c, \quad B_c = BI_c. \quad (2)$$

Для выполнения этой операции служит блок умножителей.

Имитация атмосферных явлений типа тумана, воздушной дымки и т. п. выполняется блоком тумана, реализующим соотношение

$$C_s = C_c 2^{-\beta z} + C_F (1 - 2^{-\beta z}) \quad (3)$$

(здесь C_s — цвет (R, G, B) на выходе блока; C_c — текущее значение цвета сегмента; C_F — цвет (R, G, B) тумана; Z — расстояние до точки объекта; β — коэффициент изменения интенсивности светового потока, проходящего через «мутную» среду).

Очевидно, что для работы блока тумана необходимо иметь текущее значение координаты Z_c для каждой точки внутри сегмента, для чего осуществляется линейная интерполяция

$$Z_c = Z_L \frac{X_R - X_c}{X_R - X_L} + Z_R \frac{X_c - X_L}{X_R - X_L}. \quad (4)$$

Рис. 2

Цвет тумана C_T и значение коэффициента β закладываются в рабочие регистры блока тумана из ЭВМ.

Известно, что дискретность рабочего поля экрана вызывает специфические дефекты изображения (элайсинг) такие, как зубчатость наклонных линий, разрывы узких граней, искажения формы мелких деталей изображения, «муары» на полосатых поверхностях. Особенно заметными эти дефекты становятся в подвижных сценах.

Эффективный метод борьбы с элайсингом — фильтрация, заключающаяся в том, что цвет дискретной координатной позиции, через которую проходит граница цветораздела (например, ребро грани), устанавливается как смесь цветов по обе стороны границы.

В канале видеопреобразования реализованы два вида фильтрации: прямоугольным фильтром с апертурой 1×1 единиц дискретности растра и треугольным фильтром с апертурой 3×3 единиц дискретности. Для выполнения этих операций служат устройство обработки ребер сегмента (блок предфильтрации) и блок фильтрации, включающий в себя видеобuffer телевизионного кадра изображения.

Цифровое видеопреобразование завершается гамма-коррекцией, необходимость в которой вытекает из наличия нелинейностей сквозной передаточной характеристики видеотракта телевизионных устройств воспроизведения и наблюдателя. Гамма-корректор состоит из трех корректирующих таблиц для R -, G - и B -компонент видеосигнала.

Цифроаналоговые преобразователи вырабатывают выходные аналоговые телевизионные видеосигналы.

Тестовая магистраль обеспечивает программный доступ к адресуемым регистрам и памяти канала видеопреобразования с целью управления режимами работы, тестирования и диагностики неисправностей.

Приоритетная X-сортировка. На рис. 2 показаны пример сортировки сегментов SEG1 — SEG5 и соответствующий список RUN-кодов. В качестве ключа сортировки используются координаты левого X_L и правого X_R концов сегмента; сегмент существует на координатных позициях строки с X_L по $X_R - 1$ включительно, в X_R появляется следующий сегмент. При отображении взаимно перекрывающихся сегментов предпочтение отдается наиболее приоритетному.

Используется способ корзиной сортировки с применением метода наложенной записи. Способ подразумевает наличие памяти сортировщика, имеющей емкость, равную числу координатных позиций оси X (т. е. 512 слов) и адресуемую так, что по адресу X_C в память записывается номер сегмента, видимого в координатной позиции X_C . Каждое слово памяти, помимо номера сегмента, содержит также бит-метку (перед началом сортировки сегментов очередной строки все метки сбрасываются, а по всей памяти записывается номер сегмента фона).

На каждом шаге сортировки с приходом очередного сегмента выполняются следующие операции: по адресам с X_L по $X_R - 1$ включительно записывается номер текущего сегмента; по адресам X_L и X_R записывается метка M ; по адресам с $X_L + 1$ по $X_R - 1$ включительно сбрасываются метки, установленные на предыдущих шагах сортировки. Так как сегменты приходят на сортировку в порядке возрастания приоритета, то номер каждого сегмента записывается в память сортировщика

и на интервале своего существования вытесняет записанные там предшествующие сегменты.

После обработки последнего сегмента память сортировщика готова для генерации списка видимых сегментов. Адреса памяти, по которым записана метка, соответствуют RUN-кодам этого списка; содержимое памяти по этим адресам дает номера соответствующих сегментов.

Таким образом, полный цикл сортировки сегментов одной строки совершается в две фазы: на первой фазе СОРТИРОВКА выполняется запись номеров сегментов и меток в память сортировщика, на второй фазе ВЫДАЧА идет последовательное чтение памяти по адресам, содержащим метку.

Очевидно, что генерация выходного списка видимых сегментов не может быть начата до тех пор, пока не закончится фаза СОРТИРОВКА; с другой стороны, прием на сортировку сегментов последующей строки не может производиться, пока не завершится фаза ВЫДАЧА для предыдущей строки. Повысить «пропускную способность» сортировщика позволяет спаренная система, состоящая из двух идентичных сортирующих узлов: пока один из них находится в фазе СОРТИРОВКА, другой выполняет ВЫДАЧУ, а затем они меняются ролями.

Память сортировщика выполнена на быстродействующих элементах средней степени интеграции. Для хранения 128-разрядных слов-сегментов используется специальная буферная память (БП), причем номер сегмента является адресом слова-сегмента в БП.

Блок интерполяции. Так как описание сегмента дает информацию только о его концах, то необходимо определять значения яркости I_c и дальности Z_c для всех внутренних точек сегмента. Эта операция выполняется в блоке интерполяции.

Введя обозначения: $(X_c - X_L)/(X_R - X_L) = K$, $(X_R - X_c)/(X_R - X_L) = 1 - K$, после подстановки в (1) и (4) получим

$$I_c = I_L(1 - K) + I_R K \quad (5)$$

или

$$I_c = I_L - (I_L - I_R) K. \quad (6)$$

Таким образом, от блока требуется выполнение арифметических операций, включая умножение и деление, с частотой квантования оси X , т. е. 10 МГц. Среди быстродействующих арифметических устройств известны логарифмические умножители-делители, работа которых описывается выражениями

$$A \cdot B = 2^{\log_2 A + \log_2 B},$$

$$A : B = 2^{\log_2 A - \log_2 B}.$$

Высокое быстродействие таких устройств достигается за счет того, что операции умножения и деления заменяются операциями сложения или вычитания логарифмов операндов.

На рис. 3 показана функциональная схема блока интерполяции на базе логарифмического умножения-деления. Ведущий узел интерполятора вычисляет значения

$$\log K = \log(X_c - X_L) - \log(X_R - X_L);$$

$$\log(1 - K) = \log(X_R - X_c) - \log(X_R - X_L).$$

Для логарифмирования используются таблицы логарифмов (ТВ $\log X$) на основе постоянных запоминающих устройств (ПЗУ).

Для интерполяции яркости применяется множително-делительное устройство (МДУ), осуществляющее операции над целыми 8-разрядными числами I_L , I_R в соответствии с выражением (6). При вычислении величины $(I_L - I_R)K$ используется таблица антилогарифмов ТВ 2^x , также выполненная на ПЗУ. При нахождении $\log(I_L - I_R)$ берется модуль этой разности, а знак определяет режим выходного сумматора МДУ (сложение или вычитание).

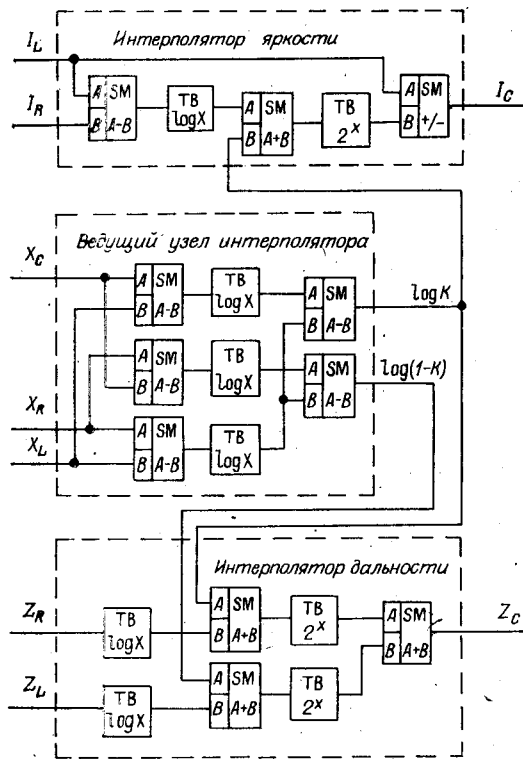


Рис. 3

Блок тумана. Здесь выполняется вычисление C_S в соответствии с выражением (3).

Если обозначить

$$2^{-\beta Z_C} = M,$$

то выражение для результирующего цвета примет вид

$$C_S = C_F(1 - M) + C_C M = C_F - (C_F - C_C)M,$$

и легко заметить, что для выполнения этой операции может быть использовано МДУ, аналогичное тому, которое применяется в интерполяторе яркости. В этом случае задача сводится к определению величины $\log_2 M$, управляющей работой МДУ, т. е. достаточно вычислить произведение βZ_C , для чего используется логарифмический умножитель.

Фильтрация. Фильтрация прямоугольным фильтром с апертурой 1×1 единиц дискретности раstra основана на реципиентно-донорном методе, суть которого состоит в том, что при определении цвета C_C фильтруемой координатной позиции X_C устанавливается смесь из цвета сегмента, существующего в X_C — цвета реципиента C_R , и цвета донора C_D , при этом коэффициентом цветосмеси выступает площадь S реципиента:

$$C_C = C_R S + C_D(1 - S). \quad (7)$$

В качестве донора принимается одна из восьми координатных позиций раstra, непосредственно примыкающих к X_C , цвет которой наиболее вероятно соответствует второй компоненте цветосмеси. Изложенное иллюстрируется рис. 4, где показана координатная позиция X_C , в которой сегмент-реципиент имеет площадь $S < 1$; из координатных позиций L , LT , T , RT и т. д., окружающих X_C , для этого случая в качестве донора выступает T .

Поскольку верхние и нижние доноры находятся в смежных строках чересстрочного телевизионного раstra (строки T и B) и, таким образом,

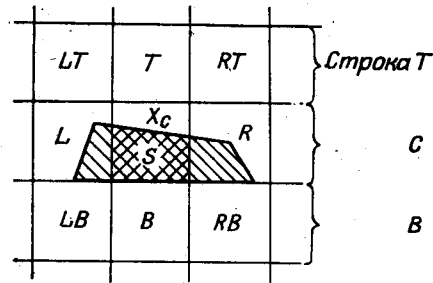


Рис. 4

Интерполятор дальности выполняет операции в соответствии с соотношением (5) над числами Z_L , Z_R , представляемыми в формате с плавающей запятой (8 разрядов — мантисса и 8 разрядов — порядок). Величины $Z_R K$ и $Z_L(1 - K)$ перед подачей на выходной сумматор подвергаются процедуре выравнивания порядков.

Рабочая тактовая частота $F_T = 10$ МГц обеспечивается за счет конвейерной организации блока интерполяции, чему способствует отсутствие обратных связей в его схеме или рекурсий в алгоритме его работы.

принадлежат предыдущему полукадру, устройство включает в себя видеобuffer, откуда извлекаются доноры предыдущего полукадра и где накапливаются потенциальные доноры для последующего полукадра.

В блоке предфильтрации видеопроцессора обрабатываются ребра (координаты вершин) сегмента и для каждой координатной позиции строки вычисляется площадь S и указатель донора видимого сегмента. В блоке фильтрации с помощью МДУ готовится цветосмесь в соответствии с (7).

Фильтрация с апертурой 3×3 единиц дискретности раstra также выполняется в блоке фильтрации. Для этого при определении цвета шей статье, предназначен для работы в составе ССВ, описанной в [2].

Приоритетная X-сортировка сегментов с использованием наложенной записи и механизма меток обеспечивает высокоскоростное удаление невидимых отрезков сегментов, однако страдает тем недостатком, что для элементов раstra, пересекаемых более чем одним сегментом, теряется информация о всех менее приоритетных сегментах, что исключает возможность учитывать их вклад в результирующий цвет элемента при выполнении фильтрации. Реципиентно-донорная концепция фильтрации далеко не полностью решает проблему элайсинга, хотя и устраняет многие (и в первую очередь наиболее заметные) дефекты квантования.

Имитация криволинейных поверхностей, аппроксимируемых гранями, достигается за счет интерполяции цвета как вдоль ребер многоугольников, так и вдоль сегментов; интерполяция дальности обеспечивает работу блока тумана. Применение табличной арифметики (включая операции с плавающей запятой) в видеопроцессорных блоках канала видеопреобразования позволило производить необходимые вычисления на частоте квантования строки (10 МГц).

Принятые решения прошли детальную проверку при изготовлении и лабораторных испытаниях макетного образца устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А. М., Талныкин Э. А. Машинный синтез визуальной обстановки.— Автометрия, 1984, № 4.
2. Буровцев В. А., Власов С. В., Вяткин С. И. и др. Геометрический процессор синтезирующей системы визуализации.— Автометрия, 1986, № 4.

Получена в редакцию 14 февраля 1986 г.

УДК 681.3.06

А. В. ГУСЕВ, С. Л. ИВАШИН, А. В. ИОФФЕ, Э. А. ТАЛНЫКИН

(Новосибирск)

ПРОГРАММНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИНТЕЗИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Введение. Синтезирующие системы визуализации (ССВ) [1] предназначены для работы в качестве имитаторов визуальной обстановки в тренажерно-моделирующих комплексах (ТМК) для подвижных объектов, управляемых оператором [2]. ССВ включают в себя, наряду с вычислительными средствами общего назначения, специализированное обо-