

Б. С. ДОЛГОВЕСОВ, А. М. КОВАЛЕВ,  
А. А. ЛУБКОВ, К. Ф. ОБЕРТЫШЕВ  
(НОВОСИБИРСК)

### ОТОБРАЖЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ И БУКВЕННО-ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ГРАФИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ЭВМ

Системы графического взаимодействия оператора с ЭВМ на основе электроннолучевых трубок (ЭЛТ) со случайным сканированием, использующие только точечный метод построения изображений, имеют небольшой объем оборудования, но обладают рядом недостатков, которые не позволяют эффективно использовать аналогичные устройства для решения широкого класса задач [1]. Основным из этих недостатков является малое количество информации, выводимой на экран ЭЛТ без мерцания. Именно поэтому в состав систем графического взаимодействия широкого назначения включают различные функциональные генераторы, позволяющие увеличить информационную емкость экрана и, кроме того, снизить загрузку ЭВМ и повысить скорость обмена информацией, что важно при работе систем в реальном масштабе времени. Наиболее часто используются генераторы векторов (отрезков прямых линий) и буквенно-цифровых символов, а в некоторых системах имеются возможности и для построения кривых, окружностей, проекций трехмерных изображений, вращения последних вокруг координатных осей и т. д. [2—4].

В работе представлены методы отображения буквенно-цифровой и графической информации и приведена их реализация в системе графического взаимодействия «Экран», разработанной в ИАЭ СО АН СССР.

**1. Генерирование символов.** В настоящее время для генерирования символов используются три основных метода, каждый из которых может быть реализован различными способами [3, 5, 6]. В первом из них весь символ формируется внутри ЭЛТ путем профилирования электронного луча (характрон). Другой метод основан на сканировании изображения знака (моноскоп, матрикон и т. д.). И, наконец, самые распространенные способы генерирования символов основаны на использовании метода записи электронным лучом, вычерчивающим фактическую форму символа по его контуру. Наиболее типичными являются способы программируемых точек, отрезков, фигур Лиссажу, генерирование описывающих функций.

Наибольший интерес представляет, на наш взгляд, способ программируемых отрезков и его модификация — рисование символов путем под-

светки определенных отрезков периодически повторяющейся фигуры. Сущность способа в том, что контур символа разбивается на ряд отрезков, которые отображаются последовательно друг за другом. При кодировке отрезков для запоминания в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) указывается либо длина и направление отрезка (рис. 1, а), либо координаты его начала и конца на заданной характеристической матрице (см. рис. 1, б). Как правило, кроме задания самого отрезка, требуется еще и указание, должен он быть подсвечен при отображении или нет.

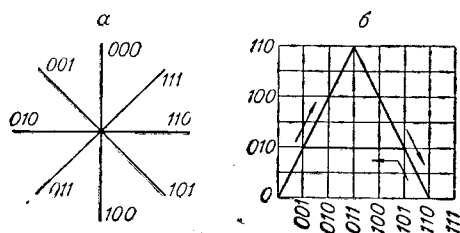


Рис. 1. Две разновидности метода программирования отрезков.

Запомненное во входном регистре устройства 40-разрядное слово разбивается коммутатором на 5 слогов по 8 бит в каждом. Семь первых двоичных единиц указывают код символа, а восьмая — его размер. Дешифратор выборки символов в соответствии с входным кодом выбирает ячейку ПЗУ, содержащую код подсветки отрезков или полуотрезков дан-

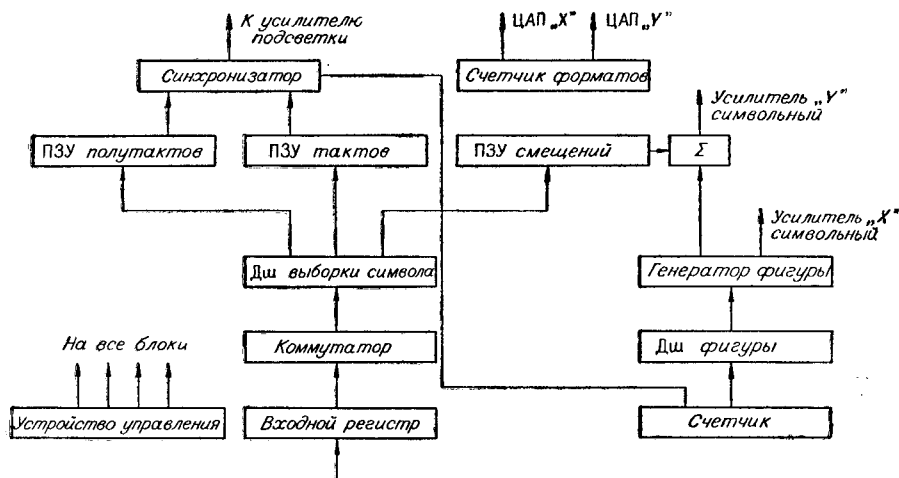


Рис. 2. Блок-схема генератора символов и форматов.

ного знака, а также с помощью ПЗУ смещения — сдвиг символа. После того, как ячейка ПЗУ выбрана, начинается процесс рисования фигуры, причем дешифратор фигуры и синхронизатор подсветки фигуры управляются одним и тем же счетчиком. В результате этого достигается временное совпадение отображения данного отрезка на экране и его подсветки. Выходные напряжения генератора усиливаются и поступают на специальную отклоняющую систему ЭЛТ. По окончании отображения символа счетчиком форматов осуществляется перевод луча на следующее

положение на экране трубки, после чего возможно отображение следующей части слова, записанного во входном регистре устройства.

Генератор имеет устройство управления, позволяющее ему проводить целый ряд различных операций, и может работать в режиме одиночных и групповых символов. В первом случае в управляющем слове указаны координаты символа  $x$ ,  $y$ , определяющие его местоположение на экране, код символа и его размер. Во втором — вначале поступает управляющее слово, содержащее координаты начала текста, и, кроме того, указывается формат слова; в последующих словах указывается пять кодировок символов и их размеры.

Символы могут быть расположены на экране в 32 строки по 64 символа в каждой для малого формата и по 32 символа для увеличенного. Перевод на следующую строку может происходить по одной из трех причин: программный перевод, окончание позиций в строке, выход изображения за край экрана.

Кроме основной своей функции вывода генератор символов совместно с пишущей машинкой «Консул» используется для ввода и редактирования буквенно-цифровой информации. В этом случае с помощью генератора над местом будущего символа отображается маркер в виде треугольника, указывающий местоположение вводимых знаков на экране ЭЛТ. Генератор использует код машинки «Консул» (98 символов), но может работать и в коде устройства подготовки перфокарт (УПП) (108 символов). Время отображения одного символа 28 мкс.

**II. Отображение графической информации.** Генераторы векторов в системах графического взаимодействия можно разделить на дискретные (ДГВ) и аналоговые (АГВ). В качестве ДГВ могут быть использованы различные цифровые интерполяторы [7], отличительной особенностью которых является высокая точность воспроизведения линий при относительной сложности оборудования. Скорость построения линий цифровыми интерполяторами постоянна и определяется тактовой частотой  $F_T$ . Подобный генератор векторов на умножителях частоты использован в индикаторном пульте лаборатории электронных систем (ЛЭС) Массачусетского технологического института [3] с  $F_T = 555$  кГц. Применение дискретных генераторов векторов целесообразно при повышенном требовании к точности отображения информации, связанной в некоторых случаях с необходимостью документирования результатов (например, микрофильмирования).

АГВ могут быть построены на интерпраторах, решающих усилителях, фильтрах нижних частот и позволяют получить высокую скорость построения линий при небольшом объеме оборудования, однако при меньшей точности, чем у ДГВ. В некоторых случаях используется аналоговый метод построения с коррекцией конечных точек векторов, заданием координат конечных точек в цифровой форме. Входная информация для генераторов векторов может быть задана в виде абсолютных координат

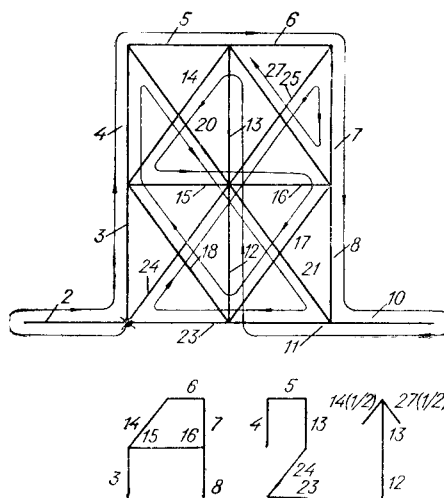


Рис. 3. Метод рисования символов в системе «Экран».

точек начала и конца вектора либо дифференциально — в приращениях координат.

В системе «Экран» используются три способа построения графической информации: точечный, дискретный дифференциальный, аналоговый.

**Точечный способ построения.** В этом способе задаются абсолютные координаты точек, и при достижении лучом ЭЛТ нужной точки экрана она подсвечивается в течение 1 мкс. Для этого используется реверсивный 10-разрядный счетчик с параллельной записью кода и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), построенный по схеме суммирования токов на матрице сопротивлений  $R - 2R$ . Скорость перевода в любую точку экрана 25 мкс. Точность попадания точки в заданное место экрана определяется стабильностью

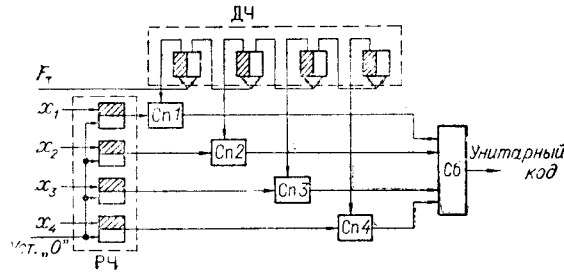


Рис. 4. Схема интегратора с последовательным переносом.

ЦАП и точностью отклоняющего комплекса.

**Дискретный дифференциальный способ.** В качестве ДГВ используется интерполятор на двоичных умножителях с параметрическим заданием переменных в дифференциальной форме. Блок-схема двоичного умножителя, изображенная на рис. 4, состоит из генератора тактовой частоты  $F_T$ , делителя частоты (ДЧ), на выходе которого образуются частоты  $\frac{F_T}{2}, \frac{F_T}{2^2}, \dots, \frac{F_T}{2^n}$ . Если в регистр числа (РЧ) записано число  $X = x_0 2^0 + x_1 2^1 + x_2 2^2 + \dots + x_{n-1} 2^{n-1}$  то на выходе сборки (Сб) схем совпадения (Сп) каждого разряда образуется частота

$$F_{\text{вых}} = \frac{F_T}{2^n} x_0 + \frac{F_T}{2^{n-1}} x_1 + \frac{F_T}{2^{n-2}} x_2 + \dots + \frac{F_T}{2} x_{n-1} = \frac{1}{2^n} F_T X. \quad (1)$$

Количество импульсов  $N_T$  за время преобразования  $T_n$  составляет

$$N_T = \int_0^{T_n} \frac{1}{2^n} F_T X dt = \frac{1}{2^n} F_T X T_n. \quad (2)$$

Если  $T_n = \frac{2^n}{F_T}$  — время для заполнения всего делителя, то  $N_T = X$ .

Погрешность отклонения прямой от теоретической (по нормали) из-за неравномерности выходной частоты равна [8]

$$H_{\text{max}} \leq \sqrt{2} \left( \frac{n + 0,5}{6} - \frac{1}{36} \right) j,$$

где  $n$  — число разрядов.

Используя в качестве интегратора двоичный умножитель, можно воспроизводить на экране окружности [7]. Структурная схема интерполятора (рис. 5) для воспроизведения окружности состоит из двух интеграторов и предназначена для решения дифференциального уравнения вида  $\frac{dy}{dx} = -\frac{x - x_c}{y - y_c}$ , где  $x_c$  и  $y_c$  — координаты центра окружности. Его решением является уравнение окружности  $y^2 + x^2 = R$ .

Блок-схема ДГВ (рис. 6), построенная на описанных выше принципах, состоит из управляемого 10-разрядного делителя частоты (УД), двух 10-разрядных реверсивных счетчиков РСЧΔX и РСЧΔY, 10-разрядного регистра PгΔZ и схемы управления (СУ). Чтобы иметь возможность при любых соотношениях ΔX, ΔY и ΔZ работать с оптимальными скоростями, в делителе частоты производится укорачивание разрядов на число, равное количеству нулей перед значащей цифрой большего приращения.

Приращение координат ΔX, ΔY, ΔZ в параллельном двоичном коде поступают из запоминающего устройства системы в ДГВ. Координата ΔZ используется при построении проекций трехмерных изображений. На выходе сборки Сб схем совпадений Сп1, Сп2, Сп3 вырабатываются число-импульсные коды, пропорциональные приращениям ΔX, ΔY, ΔZ. При построении окружностей в РСЧΔY записывается величина радиуса R. Схемы Сп4 и Сп5 открывают счетные входы реверсивных счетчиков с приходом управляющего импульса. Скорость построения линий составляет 1 мкс на точку при  $F_T = 1$  МГц, не включая время подготовки к режиму. Погрешность прихода в заданную точку равна 0, а отклонение от прямой  $H_{\max} \leq 2,38j$  для 10 разрядов. Для увеличения точности используются дополнительно делители ( $D = 2^2$ ) выходных частот ΔX, ΔY, ΔZ на 4, позволяющие уменьшить неравномерность  $F_{\text{вых}}$  и снизить погрешность.

Для увеличения масштаба изображения в 2 раза предусмотрено деление выходной частоты управляемого делителя на 2. Для исследования принципов построения проекций трехмерных изображений, расширяющих возможности ДГВ, было разработано устройство построения косоугольных проекций трехмерных изображений и вращения их вокруг лю-

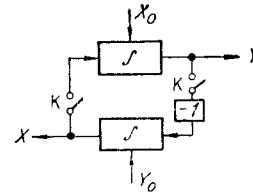


Рис. 5. Структурная схема линейно-кругового интегратора:

прямая с  $\alpha = \arctg \frac{X_0}{Y_0}$  (ключи К разомкнуты); окружность  $\frac{dY}{dX} = -\frac{X - X_c}{Y - Y_c}$  (ключи К замкнуты).

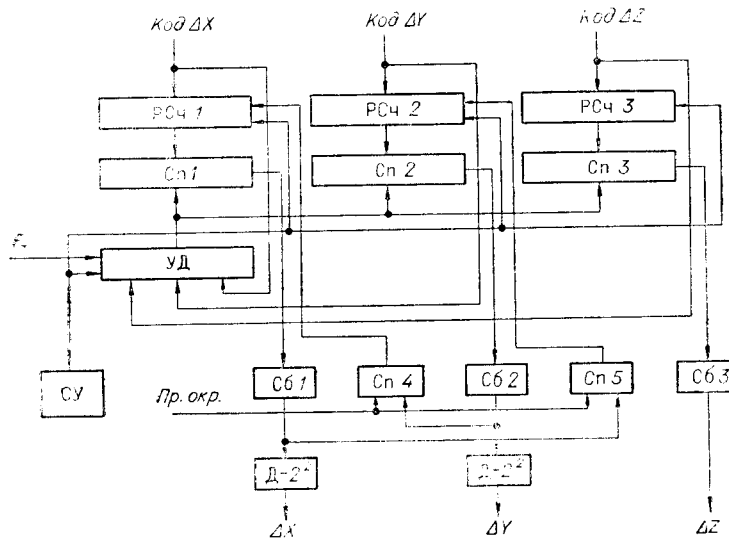


Рис. 6. Блок-схема линейно-кругового интерполятора.

бой из координатных осей. Устройство реализует уравнения:

$$X = \Delta X \cos \alpha - \Delta Y \sin \alpha - \Delta Z \cos \Theta; \quad Y = \Delta X \sin \alpha + \Delta Y \cos \alpha - \Delta Z \sin \Theta. \quad (3)$$

Операция умножения в устройстве осуществляется с помощью двоичных умножителей, описанных выше. Блок-схема устройства изображена на рис. 7. Три приращения  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  поступают с ДГВ на пятиразрядные делители частоты ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ). Значения  $\cos \alpha$  и  $\sin \alpha$  получаются с помощью устройства из двух двоичных умножителей, соединенных по

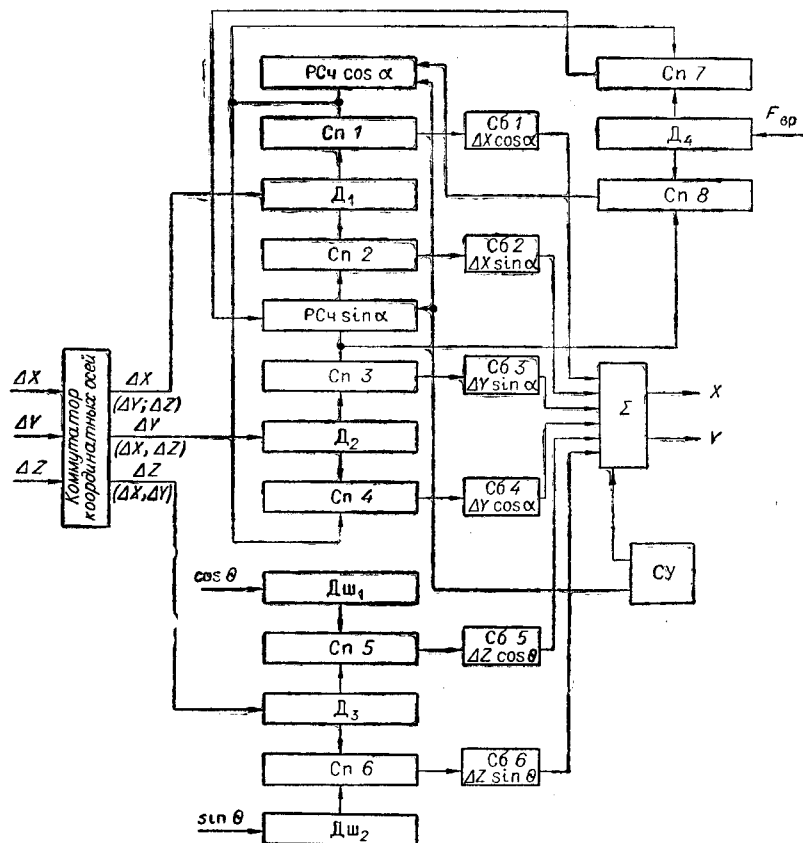


Рис. 7. Блок-схема получения трехмерного изображения и матрицы поворота.

схеме, реализующей уравнение  $\frac{dy}{dx} = -\frac{x}{y}$ . В реверсивных счетчиках РСЧ $\Delta X$  и РСЧ $\Delta Y$  этого устройства образуются значения  $\cos \alpha$  и  $\sin \alpha$ . Угол поворота задается с пульта управления подачей импульсов низкой частоты  $F_{вр}$  на вход этого устройства. Величина  $\sin \Theta$  и  $\cos \Theta$  задается с помощью дешифраторов Дш $_1$  и Дш $_2$  и может принимать значения:  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ .

Полученные на Сб $_1$  — Сб $_6$  три члена каждого равенства суммируются с помощью сумматора накапливающего типа и поступают на вход реверсивных счетчиков ЦАП. Коммутатор на входе устройства позволяет осуществить транспозицию координатных осей, что дает возможность изменить ось вращения трехмерного изображения.

**Аналоговый способ.** Для построения отрезка линии задаются абсолютные значения координат начала и конца этого отрезка. Время построения отрезка любой длины в пределах рабочего поля экрана постоянно. Схемное решение АГВ представлено на рис. 8. На вход ЦАП через эмиттерный повторитель (ЭП) подключается пассивный четырехполюсник, представляющий собой фильтр низких частот второго порядка, позволяющий получить на выходе установившееся значение напряжения за 50 мкс. Выбор режима работы осуществляется полевыми транзисторами ТП<sub>1</sub> и ТП<sub>2</sub> от схемы управления (СУ). Переходный процесс выбирается колебательным (близким к критическому) для улучшения стыковки двух соседних отрезков. Для выравнивания яркости по длине линии и для линий разной длины применяется динамическая регулировка яркости. С выхода четырехполюсника аналоговое напряжение через ЭП поступает на отклоняющий комплекс (ОК). Погрешность построения линии определяется идентичностью фильтров по каналам X и Y и может быть получена порядка 1%. Простота аппаратурной реализации в сочетании с высоким быстродействием и удовлетворительной для наблюдения точностью являются неоспоримыми достоинствами аналогового генератора векторов.

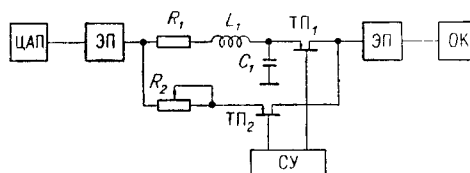


Рис. 8. Схема аналогового генератора векторов.

Сочетание дискретного ГВ, обладающего высокой точностью и большими функциональными возможностями, с аналоговым ГВ, обладающим большим быстродействием, позволяет получить хорошие характеристики системы в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Льюин. О графических оконечных устройствах ЦВМ.— ТИИЭР, 1967, т. 55, № 9.
2. R. Stotz. Man—Machine console facilities for computer-aided design.— Spring joint computer conference, 1963.
3. The computer display review. Adams associates, 1968.
4. M. L. Dertouzos, H. L. Graham. A parametric graphical display technique for on-line use.— Fall joint computer conference, 1966.
5. М. Г. Рейнберг. Формирование знаков на экранах электроннолучевых трубок. М., «Энергия», 1969.
6. Ю. Н. Баяковский, В. С. Штаркман. Машинная графика. Тезисы II Всесоюзной конференции по программированию. Новосибирск, 1970.
7. В. В. Карибский, А. В. Чернышев. Цифровые интерполяторы для систем программного управления. М., ЦНИТИ, 1963.
8. М. С. Агурский, И. А. Вульфсон, В. А. Ратмиров. Числовое программное управление станками. М., «Энергия», 1969.

Поступила в редакцию  
26 октября 1970 г.