

С. Т. ВАСЬКОВ, Л. С. ВЕРТОПРАХОВА, А. М. ОСТАПЕНКО,  
А. К. ПОТАШНИКОВ, С. Е. ТКАЧ, С. С. ШЕЛОМАНОВА  
(Новосибирск)

### СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ ДЛЯ ВВОДА В ЭЦВМ ФИЛЬМОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время известно довольно много устройств для ввода в ЭЦВМ графической информации [1]. Однако для ввода координат изображений, полученных при экспериментальных исследованиях в ядерной физике, астрономии и некоторых других областях, требуется очень высокая точность. Обычно погрешность определения координат по абсолютной величине не должна превышать нескольких микрон. Для этой цели используются сканирующие устройства ввода в ЭЦВМ координат изображений, зарегистрированных на киноленте или фотопластинке с помощью светового луча малого диаметра. При этом осуществляется просмотр обрабатываемого изображения, и модуляция света, прошедшего через отдельные участки киноленты, используется для формирования команд на считывание кодов. Положению светового пятна на снимке однозначно соответствуют коды координат.

Наряду с электромеханическими сканирующими системами известны устройства, в которых для создания малого светового пятна применяются электроннолучевые трубки (ЭЛТ) [2, 3]. Они обладают известными достоинствами по сравнению с электромеханическими развертывающими системами, в частности, позволяют довольно легко менять вид раstra при сканировании снимков.

Все эти устройства содержат ЭЛТ с высокой разрешающей способностью, на экране которой с помощью соответствующей системы фокусировки и коррекции можно получить пятно весьма малого диаметра (порядка 20—30 мк). Это пятно с помощью объектива фокусируется на изображении, координаты которого нужно ввести в ЭЦВМ. За изображением, снятым на киноленту, располагается светочувствительный элемент, обычно фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), с помощью которого можно фиксировать переходы от светлых участков ленты к темным. Отклоняя известными способами луч ЭЛТ, можно перемещать пятно по экрану и по изображению. Собственно, отсчет координат точек изображения может проводиться различными методами.

Для управления положением пятна на экране ЭЛТ используется как дискретный способ задания токов в отклоняющих катушках [1], так и непрерывный [3]. В первом случае ток определяется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), который может программно управляться от ЭЦВМ. В момент регистрации интересующей точки изображения коды ЦАП записываются в качестве ее координат.

Трудности в реализации таких устройств состоят в том, что нелинейность зависимости положения пятна на экране ЭЛТ от тока в отклоняющих катушках входит в погрешность отсчета координат. Это требует либо создания функциональных ЦАП, либо введения соответствующих поправок в память ЭЦВМ. Кроме того, нестабильность параметров ЭЛТ и питающих напряжений также вносит погрешность, уменьшить которую можно только периодическим контролем раstra ЭЛТ по тестовым изображениям и введением поправок в память ЭЦВМ.

Известен автомат, в котором сканирование изображений выполняется растром телевизионного типа, т. е. строчные и кадровые катушки питаются пилообразными токами [3]. В этом случае отсчет координат производится по специальным реперным линиям, по которым пробегает пятно одновременно с перемещением по изображению. Система реперных линий для измерения координаты  $X$  выполнена в виде параллельных темных линий, нанесенных на прозрачную подложку (стекло), направленных перпендикулярно к строке раstra. Для измерения координаты  $Y$  служит одна реперная линия, нанесенная также на прозрачную подложку и проходящая по диагонали сканируемого кадра.

При движении светового пятна по строке на выходе решеток наблюдается модуляция света, преобразуемого в электрические сигналы ФЭУ. Количество импульсов однозначно связано с расстоянием, пройденным лучом от начала системы реперных линий, и может быть преобразовано в код координаты  $X$ . Координата  $Y$  отсчитывается на основе известной координаты  $X$  и известного угла наклона реперной линии  $Y$ -решетки.

Достоинства такого метода измерения и считывания координат состоят в том, что резко ослабляются требования к линейности строчной развертки, поскольку точность считывания координаты  $X$  определяется точностью изготовления системы реперных линий. Однако геометрические искажения раstra вносят погрешность в отсчет координаты  $Y$ , по-

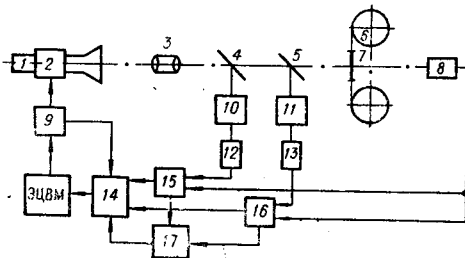


Рис. 1.

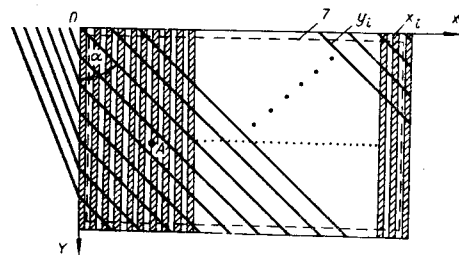


Рис. 2.

скольку каждой строке ставится в соответствие единственное число  $Y$  независимо от того, в каком месте строки нужно произвести отсчет координат. Это приводит к тому, что погрешность определения координаты  $Y$  существенно больше, чем координаты  $X$ .

В данной работе описывается автомат для ввода в ЭЦВМ киноинформации, построенный также на принципе сканирования снимка бегущим лучом ЭЛТ. На рис. 1 приведена блок-схема автомата. На экране ЭЛТ 1 с помощью системы магнитной фокусировки 2 формируется пятно диаметром 20—25 мк. Объективом 3 через полупрозрачные зеркала 4 и 5 пятно фокусируется в плоскости измеряемого кадра 7, смена которого осуществляется устройством транспортировки киноленты 6. Прошедший через кадр свет попадает на ФЭУ 8. Импульс с выхода 8 используется как команда для считывания координат точки. Световой

луч, разделяясь с помощью 4 и 5, попадает также на X-решетку 10 и Y-решетку 11, которые располагаются в плоскости изображения объекта 3. За решетками находятся ФЭУ 12 и 13. Световой луч, перемещаясь по строке, пересекает линии решеток. Это приводит к модуляции светового потока, попадающего на фотокатод ФЭУ. Возникающие на выходе ФЭУ импульсы тока формируются в счетные импульсы для устройств кодирования и отсчета координат 15 и 16, которые связаны через буферную память 14 с ЭЦВМ. ЭЦВМ дает команду на запуск кадровой развертки через блок управления автомата 9. Более детально о связи автомата с ЭЦВМ будет сказано ниже.

На рис. 2 изображены оптически совмещенные решетки и сканируемый кадр. Линии X-решетки 10 заштрихованы и обозначены  $x_i$ , линии Y-решетки 11 наклонены к ним под углом  $45^\circ$  и обозначены  $y_i$ . Контур сканируемого кадра 7 обведен пунктиром. Одна из точек на кадре, координаты которой нужно измерить, обозначена буквой А. Система координат определяется осями X и Y.

Как уже отмечалось, линии  $x_i$  направлены перпендикулярно к строке раstra. Каждая строка раstra начинается слева по отношению к системе координат, изображенной на рис. 2. Строки начинаются за пределами X- и Y-решеток. Координаты точки А определяются по отношению к прямоугольной системе XOY. Координата X находится по количеству пересеченных световым лучом линий  $x_i$ , начиная от оси Y, с точностью до ширины одной линии.

Принцип отсчета координаты Y требует более детального рассмотрения. На рис. 3 наклонные линии условно изображают линии Y-решетки. Угол  $\alpha$  равен  $45^\circ$ . Рассмотрим отсчет координаты Y на примере точки А. Пусть луч движется по линии II. В момент, когда он пересекает точку А, на выходе ФЭУ 8 появляется импульс, который служит командой для считывания кодов координат. Если Y-решетка содержит только одну наклонную линию, как это имеет место в автомате, описанном в [2], то координата Y точки А может быть отсчитана только в момент пересечения этой линии. При этом, если луч движется точно по линии, перпендикулярной к оси Y, то ошибки в отсчете координаты Y не будет, и всей линии II ставится в соответствие только одно значение Y. Однако в случае геометрических искажений раstra луч может на

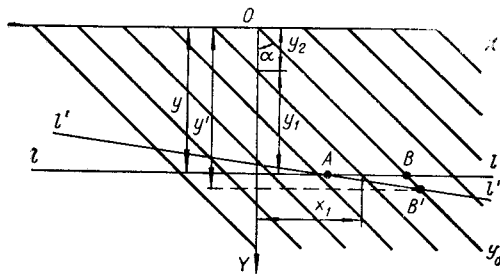


Рис. 3.

некотором участке перемещаться под углом к оси Y, не равным  $90^\circ$  (на рис. 3 линия  $l'$ ). Тогда реперная линия  $y_0$  будет пересечена в точке  $B'$ . Линии  $l'$  будет поставлена в соответствие координата  $y'$ , что влечет появление погрешности в отсчете координаты точки А, равной разности  $y' - y$ . Эта погрешность тем больше, чем дальше от линии  $y_0$  находится измеряемая точка А. Наличие системы линий, параллельных  $y_0$  и покрывающих все поле сканируемого кадра, позволяет уменьшить погрешность до сколь угодно малой величины. В этом случае отсчет координаты Y какой-либо точки производится по значению ординаты точки пересечения с ближайшей линией Y-решетки. Как видно из рис. 3, погрешность не будет зависеть от расстояния между линией и точкой А. Количество линий Y-решетки определяется предельно возможными искажениями раstra и может быть выбрано так, чтобы

погрешность измерения координаты  $Y$  не превышала заданного значения. Для того, чтобы исключить неоднозначность отсчета координаты  $Y$ , необходимо в момент отсчета знать, какую из линий пересек луч. Поэтому луч при заходе за каждую из строк растра должен пересекать, начиная слева, все линии  $Y$ -решетки. На примере точки  $A$  покажем, из каких составляющих складывается отсчет координаты  $Y$ . Следующая за точкой  $A$  линия  $Y$ -решетки пересекает ось  $Y$  на расстоянии от начала координат, равном  $y_2$ . Это число в соответствующем масштабе записано в счетчике наклонных линий блока  $11$ . Величина  $y_1$  равна значению  $x_1$ , записанному в счетчике блока  $10$ , поскольку  $\alpha = 45^\circ$ . Таким образом, координата  $y$  точки  $A$  равна  $y_1 + y_2$ . Аналогично производится отсчет координат других точек в пределах поля сканируемого кадра. Поскольку за пределами кадра нет необходимости измерять координаты точек, а производится только подсчет количества линий  $Y$ -решетки с целью исключения неоднозначности, то имеется возможность существенно уменьшить требуемую для сканирования длину строки. Для этого линии (см. рис. 2) слева от оси  $Y$  располагаются на возможно меньшем расстоянии друг от друга. Удобно взять шаг между ними близким по величине к шагу  $X$ -решетки.

Использование рассмотренной комбинации оптических решеток позволяет, таким образом, реализовать сканирующее устройство, в котором точность определения координат практически не зависит от искажений растра ЭЛТ. Ясно, что для получения высокой разрешающей способности необходимо обеспечить световое пятно малого диаметра. Это требование удовлетворяется применением соответствующих ЭЛТ.

Погрешность же отсчета координат точек изображения определяется точностью изготовления оптических решеток, влиянием шумов ФЭУ и ЭЛТ на стабильность временного положения электрических сигналов на выходе ФЭУ  $8, 12, 13$  (см. рис. 1), шагом квантования и рядом других факторов.

Рассмотрим идеализированную сканирующую систему, в которой отсутствуют шумы экрана ЭЛТ, абберации оптической системы, шумы ФЭУ, погрешности изготовления оптических решеток, нестабильности порогов срабатывания устройств, расположенных за ФЭУ и фиксирующих условные переходы от темных участков решеток и сканируемого кадра к светлым. Тогда, очевидно, имеется возможность отсчитать координаты центров светлых точек изображения со сколь угодно малой погрешностью, поскольку по сигналу на выходе ФЭУ (см. рис. 1) точно определяются границы указанных выше переходов. В этой связи желательно шаг квантования выбрать возможно меньшим по значению. Однако если в системе в качестве счетных импульсов используются сигналы с выхода  $X$ -решетки, то погрешность дискретности при отсчете координаты  $X$  не может быть получена меньше определенной величины, которая задается шириной темных и светлых линий  $X$ -решетки. С уменьшением ширины линий уменьшается глубина модуляции светового потока, и при ширине, равной половине диаметра пятна, модуляция света на входе ФЭУ практически отсутствует. Поэтому дальнейшего уменьшения шага квантования можно достигнуть, поделив электрическим способом период следования импульсов с выхода ФЭУ  $10$ . Это дает возможность получить погрешность отсчета координат существенно меньше, чем диаметр светового пятна. Однако разрешающая способность системы целиком определяется диаметром пятна на сканируемом кадре. Следует отметить, что число, на которое можно делить период следования импульсов с ФЭУ  $10$ , ограничено нелинейностью развертки, нестабильностью порогов ограничителей, а также шумами ФЭУ и ЭЛТ.

В макете автомата X-решетка представляет собой систему параллельных линий шириной 48 мк с расстоянием между линиями также равным 48 мк. Шаг Y-решетки по направлению строки в пределах поля X-решетки равен 768 мк. С целью уменьшения шага квантования период следования импульсов после фотоэлектронного умножителя 12 дополнительно делится на 8.

Дискретное устройство отсчета координаты X представляет собой 11-разрядный электронный счетчик, на вход которого поступают счетные импульсы с выхода ФЭУ 12 после умножения частоты следования. В момент появления переднего фронта импульса с выхода ФЭУ 8 содержимое счетчика переписывается в счетчик-сумматор. В автомате предусмотрено выделение координат центров треков. Для этой цели на время существования импульса на выходе ФЭУ 8 на вход счетчика-сумматора подаются импульсы с частотой в два раза меньшей, чем частота счетных импульсов.

Дискретное устройство отсчета координаты Y также представляет собой 11-разрядный электронный счетчик и регистр для перезаписи содержимого счетчика в моменты времени, соответствующие пересечению светового пятна с наклонными линиями Y-решетки. Отсчет координаты Y трека производится по значению координаты Y названной точки пересечения, ближайшей к треку.

По окончании импульса на выходе ФЭУ 8 производится перезапись кодов координат центра трека в буферную память 14 (БП), которая служит для согласования скорости считывания кодов координат со скоростью перезаписи их в ЭЦВМ. Специфика вида изображений, на которых зарегистрированы искровые камеры, такова, что в течение времени развертки одной строки световое пятно может встретить участки с изображением искровых пробоев в количестве, не превышающем 3—5. Однако эти пробои могут быть расположены на малом расстоянии друг от друга. При малой скорости ввода в ЭЦВМ возможна потеря информации. Для поддержания высокой скорости сканирования без потери информации о всех треках в автомате предусмотрена специальная буферная память на пять последовательно соединенных ячеек емкостью по 28 двоичных разрядов.

Запись кодов координат производится всегда в первую ячейку памяти. Перезапись в ЭЦВМ осуществляется всегда из последней, т. е. 5-й ячейки. После записи кодов координат в 1-ю ячейку памяти производится перезапись ее содержимого в первую свободную от конца цепочки ячейку, т. е. в 5-ю, 4-ю и т. д. При поступлении с небольшим интервалом во времени кодов координат нескольких точек происходит заполнение ячеек БП, начиная с 5-й. Наличие кодов в 5-й ячейке используется для запуска схемы перезаписи кодов в ЭЦВМ. Запись кодов в БП и в ЭЦВМ может быть одновременной. Синхронизация работы автомата осуществляется сигналом с X-решетки.

Создание на экране ЭЛТ сплошного растра типа телевизионного предусматривает просмотр всего кадра. В автомате имеется возможность заранее установить зоны сканируемого кадра, с которых следует вводить информацию в ЭЦВМ. Это позволяет уменьшить массив данных за счет исключения не интересующих экспериментатора участков кадра с паразитными засветками, служебными отметками, используемыми при визуальном просмотре и т. д. Устройство выбора зон на рис. 1 обозначено 17. Код зоны в виде 6-разрядного двоичного числа также записывается в БП. Это позволяет существенно уменьшить время машинной сортировки данных по разделению кодов треков, принадлежащих каждой из искровых камер. Зоны представляют собой прямоугольники, стороны

которых параллельны сторонам кадра, а их размеры могут изменяться с помощью специального коммутационного поля в блоке зоны.

Блок управления в макете автомата предназначен для связи с ЭЦВМ «Минск-22» через систему фотовода. При этом каналом связи предусматривается обмен сигналами «запрос», «синхроимпульс», «готовность», «конец связи».

В заключение приведем некоторые технические параметры автомата: время сканирования одного кадра 4 сек; приведенная погрешность отсчета координат 0,1%; разрешающая способность 50 мк; размер сканируемого кадра 18×24 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Петренко. Автоматический ввод графиков в электронные вычислительные машины. М., «Энергия», 1968.
2. C. A. Dordner, A. F. Brenner, P. de Brugne. A Computer Controlled Precision Film Scanner.— The Radio and Electronic Engineer, 1967, № 6.
3. В. Ф. Борисовский, А. С. Буров и др. Сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке. Препринт ОИЯИ, Р-10-3631. Дубна, 1967.

*Поступила в редакцию  
9 октября 1969 г.*