

изображения сводится к заполнению необходимой информацией (об угле поворота, о смещении и т. п.) модификатора и фиксации ссылки на него в соответствующей выходной ветви. Эта информация либо вводится в текст с исходной программой, либо, чаще всего, поступает через МСО от оператора дисплея. Таким образом, наиболее важной частью МО являются процедуры, транслирующие модифицированное описание изображения в массив индикации, и программа анализа МСО. Последняя на основе анализа МСО осуществляет поиск в структуре необходимых фрагментов, модификацию их, создание новых фрагментов и т. п.

Трансляция изображения происходит в три прохода. На первом проходе (рис. 5) формируется массив индикации с пропущенными ссылками на дисплейные подпрограммы. На втором проходе (рис. 6) пропущенные в массиве индикации ссылки восстанавливаются. На третьем проходе в массив индикации вносятся изменения, связанные с модификацией изображения.

**Заключение.** Описанное программное обеспечение, за исключением процедур формирования дисплейных кодов и программы обмена, выполнено на ФОРТРАНе и поэтому не зависит от типа ведущей ЭВМ. Являясь универсальным по своему назначению, оно позволяет решать любые задачи, однако наиболее удобным оказывается при автоматизации проектирования. Это связано с тем, что в последнем случае аппарат структурирования изображений весьма эффективен.

Дальнейшие работы должны быть направлены на то, чтобы обеспечить возможность использования архивов изображений, расширить услуги по применению световых кнопок, а также освободить программу пользователя от необходимости дешифровать сообщения оператора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Ковалев, В. Н. Котов, А. А. Лубков, А. С. Токарев. Графический дисплей «Дельта». — Автометрия, 1974, № 4.
2. А. Н. Гинзбург, Ю. И. Родионов. Автономный диспетчер графического терминала «Дельта» — Автометрия, 1974, № 4.
3. J. H. Sexton. An Introduction to Data-Structures With Some Emphasis on Graphics. — Computer Bulletin, September, 1972.
4. А. Н. Гинзбург, Ю. И. Родионов. Структура программного обеспечения системы «Экран». — Автометрия, 1973, № 2.

*Поступила в редакцию 8 января 1974 г.*

УДК 528.7 : 778.35 : 522.61 : 539.1.073 : 771.534 : 531 : 429 : 681.3.01 : 681 : 39 : 681.327.521 : 522

**Л. В. БУРЫЙ, В. П. КОРОНКЕВИЧ, Ю. Е. НЕСТЕРИХИН,  
А. А. НЕСТЕРОВ, Б. М. ПУШНОЙ, С. Е. ТКАЧ, А. М. ЩЕРБАЧЕНКО**  
(Новосибирск)

#### ПРЕЦИЗИОННЫЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ АВТОМАТ

Результаты обработки фотограмметрической информации обычно представляют собой совокупность статистик двумерного поля фотографических плотностей. Фотограмметрические массивы имеют весьма большой объем, так что ввод полного массива в ЭВМ представляется целесообразным лишь в особых случаях. Избыточность фотографических изображений, обусловленная наличием априорной инфор-

мации, позволяет накладывать ограничения на координаты и измерять оптическую плотность в сравнительно небольшой совокупности точек с заранее заданными координатами, а также выражать априорные данные в виде признаков, которым соответствуют некоторые «информативные» фрагменты изображения. В последнем случае задача собственно измерения дополняется (и осложняется) поиском и опознаванием информативных фрагментов. Объективно сложность задачи обработки с поиском обусловлена тем, что в обычном фотографическом изображении число потенциально различных уровней плотности на несколько порядков меньше числа различимых элементов изображения по каждой из координат, и зависимость плотности от координат не монотонна. Создание эффективных процедур поиска и опознавания позволяет в конечном счете существенно сократить объем производимых на снимке измерительных операций, а в тех случаях, когда информативные фрагменты не локализованы, формировать упорядоченные массивы результатов измерений.

Не менее важна с точки зрения практических приложений задача вывода информации из ЭВМ в форме изображения на светочувствительный материал. Она связана обычно с необходимостью хранения и наглядного представления больших числовых массивов, с построением синтезированных на ЭВМ голограмм. В ряде случаев конечной целью обработки исходного изображения является получение изображения, заданным образом преобразованного. Особый интерес представляет такая ситуация, когда исходная информация, не связанная непосредственно с каким-либо реальным изображением и представленная в цифровой форме, допускает более эффективную обработку оптическими методами. Такая задача в некотором смысле обратна упомянутой выше задаче анализа изображений.

Обработку изображений вычислительными и оптическими методами целесообразно рассматривать с позиций автоматизации научных исследований. Говоря о технической стороне проблемы связи вычислительных машин с изображениями, нужно отметить, что ввод информации с фотоснимков в ЭВМ и построение изображений по сформированным в ЭВМ массивам данных считается в настоящее время «узким местом».

В Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения Академии наук СССР разработан фотограмметрический автомат, в структуре и конструкции которого учтены некоторые особенности практических задач обработки и синтеза изображений на ЭВМ.

Исходным требованием была непосредственная связь автомата с ЭВМ в течение всего анализа или построения изображения. Такое требование приводит, в свою очередь, к необходимости обеспечить высокое быстродействие автомата, чтобы его можно было эффективно использовать при работе с вычислительными машинами средней и большой производительности. Разрешающая способность и точностные характеристики автомата должны удовлетворять перспективным требованиям фотограмметрии, имея в виду перспективу расширения области его использования в автоматизации экспериментальных исследований.

В автомате используется сочетание электронно-оптической системы с электроно-лучевой трубкой, известной под названием «бегущий луч», и механической системы перемещения плоского фотографического носителя по двум координатам. Растр, спроектированный с экрана ЭЛТ на фотоноситель, имеет  $2 \times 2$  мм<sup>2</sup>, обслуживание всей поверхности носителя форматом до  $300 \times 300$  мм<sup>2</sup> достигается совместным действием системы отклонения электронного луча ЭЛТ и системы механического перемещения носителя. Систематические погрешности позиционирования светового пятна электронно-оптической систе-

мы, приведенные к поверхности носителя, и погрешность позиционирования механической системы примерно одинаковы, но имеют различные характеристики. Это позволяет реализовать эффективные калибровочные операции и производить необходимое согласование системы координат растра с системой координат носителя.

В качестве датчиков для измерения координат используются оптические интерферометры с гелий-неоновыми лазерами. В оптически однородной воздушной среде шкала этих датчиков принципиально равномерна. Высокое быстродействие механической системы перемещений каретки позволяет свести к минимуму влияние медленных изменений температуры, давления и влажности на результаты измерений. Равномерность шкалы может использоваться в качестве определяющего параметра при исследовании погрешностей автомата по координатам.

Прямоугольные координаты светового пятна на экране ЭЛТ задаются двумя 12-разрядными двоичными числами. Электронный луч управляется магнитным полем через цифроаналоговые преобразователи. Предусмотрено два режима управления перемещением луча: программный и автономный. В программном режиме координаты луча вводятся из ЭВМ. Луч переадресовывается за 30 мкс в любую из  $4096 \times 4096$  точек на экране, после чего автоматически производится высвечивание пятна продолжительностью в 3 мкс.

В автономном режиме на экране строится прямоугольный точечный растр. Формат растра, его положение на экране и интервал между точками задается числами, вводимыми из ЭВМ. Можно задавать 5 фиксированных значений интервала между точками, пропорциональных  $2^n$  при  $n=1 \div 5$ . Минимальное значение интервала вводится вручную. Величина минимального интервала также дискретна и равна минимальному приращению координаты светового пятна, умноженному на  $2^n$ . В течение одной секунды высвечивается 200 000 точек растра. По команде ЭВМ может изменяться диаметр светового пятна на экране ЭЛТ. Это достигается изменением тока фокусирующей катушки. Предусмотрено 8 значений диаметра пятна, устанавливаемых вручную при подготовке устройства к работе. Минимальный диаметр пятна на экране ЭЛТ — 20 мкм.

Электронно-оптическая система используется как для построения изображений, так и при сканировании. Программный режим предназначен для построения сложных фрагментов изображения. Когда требуется засветить большую площадь фотоматериала, применяется автономный режим. При сканировании изображений на просвет в программном режиме используются два светоприемника (фотоумножителя). Один из них регистрирует свет, прошедший через фотослой, другой воспринимает часть светового потока, излучаемого экраном ЭЛТ. Специальная электронная схема в течение 50 мкс производит вычисление, квантование на 64 уровня и кодирование величины коэффициента пропускания фотоматериала. Результат вводится в ЭВМ. Автономный режим сканирования используется для поиска. При этом развертывается точечный растр и в ЭВМ вводятся координаты точки растра, в которой интенсивность прошедшего сквозь фотослой светового потока окажется меньше заданного порогового уровня. После этого устройство автоматически переводится в программный режим. По команде ЭВМ можно выбирать любое из 16 заранее установленных фиксированных значений порогового уровня.

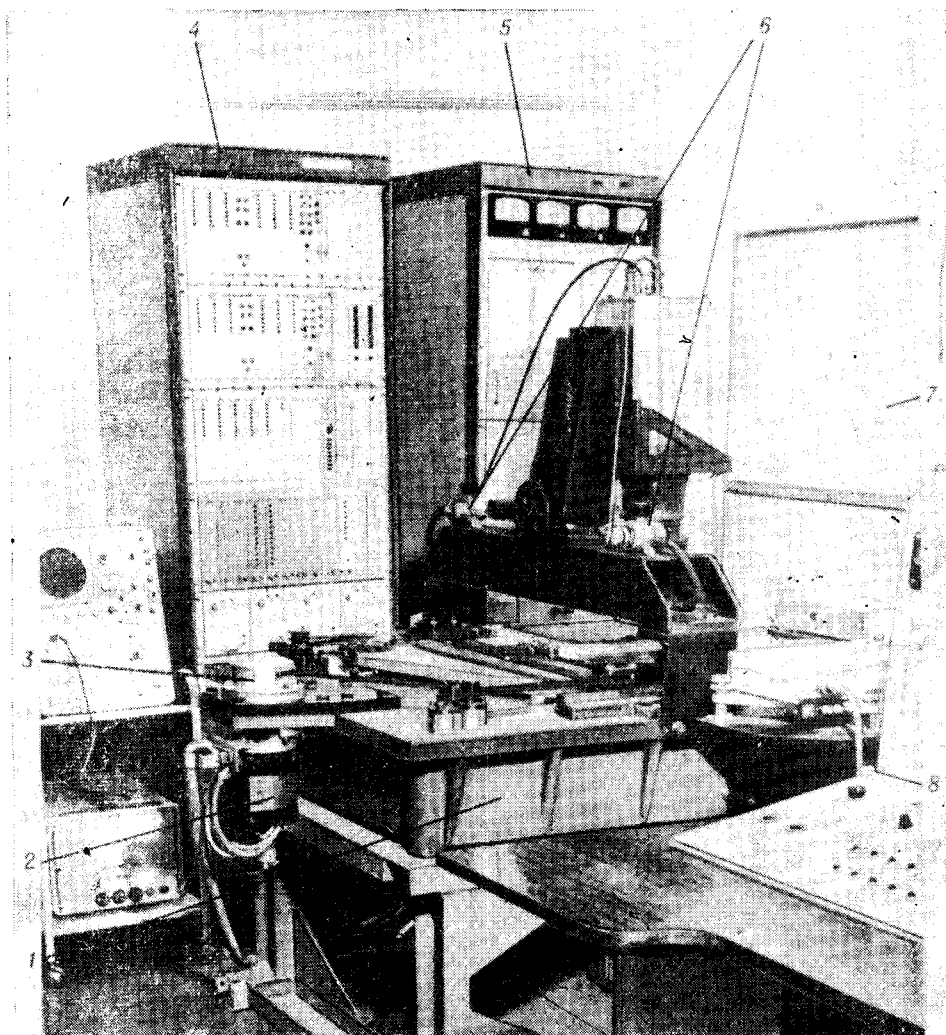
Как показали результаты исследования погрешностей системы управления световым пятном, нестабильность положения растра на экране ЭЛТ лежит в пределах 60 мкм в течение 30 мин и 300 мкм на протяжении восьми часов. В плоскости фотоносителя — соответственно 2 и 10 мкм. Дисторсия развертки при формате  $60 \times 60$  мм не превышает 0,05%. Для учета нестабильности растра предусмотрена установка

на экране ЭЛТ специальных масок с набором реперных точек, количество и способ размещения которых определяется особенностями решаемой задачи. Координаты реперных точек вводятся в память ЭВМ. В хоноситель, установлена на пневматических подшипниках, которые обеспечивают перемещение, параллельное оптической оси. Специальная оправа объектива опирается на фотоноситель через воздушную подушку. Следящая система, содержащая пневматический усилитель, обеспечивает заданное расстояние между поверхностью фотоносителя и объективом с точностью  $\pm 0,5$  мкм, чем достигается постоянство фокусировки независимо от кривизны фотоносителя. При такой системе автоматической фокусировки отпадает необходимость в точной установке фотоносителя в плоскости перемещения каретки, возможна работа одновременно с несколькими носителями, имеющими различную толщину. Вес оптической системы, приведенный к воздушной подушке, составляет 2 г, так что прогиб носителя в большинстве случаев учитывать не приходится. Полное отсутствие сухого трения в узле подвески оптической системы и стабилизация давления в пневматической системе обеспечивают требуемую устойчивость оптической оси. Блок, содержащий электронно-лучевую трубку, может быть легко заменен другим источником света, например лазером.

Каретка с установленным на ней фотоносителем перемещается в горизонтальной плоскости по системе взаимно ортогональных направляющих, смонтированных на массивном основании. Измерение положения каретки производится через посредство высокоточных ортогональных измерительных направляющих, жестко укрепленных вдоль двух сторон каретки. Два независимых лазерных интерферометрических измерителя линейных перемещений и скоростей установлены на основании так, что лучи их рабочих плеч направлены по нормали к измерительным направляющим. Вдоль лучей перемещаются уголкового отражатели, установленные на специальных каретках, соприкасающихся с измерительными направляющими. В показания интерферометров входит кривизна измерительных направляющих, которая может быть учтена в программе ЭВМ.

Каретка приводится в движение двумя электродвигателями постоянного тока с печатным якорем через посредство безлюфтовых фрикционных редукторов и стальных лент. Ставилась задача получить необходимую жесткость при минимальном значении инерциальных сопротивлений всей механической системы, в том числе и якоря электродвигателя. Параметры привода выбраны так, что электродвигатель с номинальной мощностью 400 Вт может сообщить каретке ускорение до  $3 \text{ м/с}^2$  и скорость до  $1 \text{ м/с}$ . С помощью этого же привода каретка может быть установлена в требуемое положение с погрешностью порядка  $0,1$  мкм, обусловленной в основном наличием сухого трения в опорах каретки и упругими деформациями элементов привода.

Для быстрого перевода каретки в любое заданное положение предусмотрен автономный режим, реализуемый с помощью специализированного вычислительного устройства. После получения из ЭВМ требуемого значения координаты каретки в якорь двигателя подается номинальный ток 20 А и каретка начинает равноускоренно перемещаться. В некоторый момент скорость каретки достигает такого значения, при котором двигатель, включенный в этот момент на реверс, на оставшемся пути затормозит каретку в окрестностях заданной координаты.



*Рис. 1.* Общий вид фотограмметрического автомата:

1 — основание; 2 — электродвигатель с печатным якорем; 3 — фрикционный редуктор ленточного привода; 4 — электронный блок систем управления, сканирования и связи с ЭВМ; 5 — блок силовой электроники; 6 — редукторы пневматической подвески объектива; 7, 8 — ЭВМ «Минск-22».

За счет неизбежных погрешностей предсказания в конце перемещения происходят дополнительные переключения направления тока в якоре. Этот режим осуществляется одновременно и независимо по обеим координатам и реализует принцип оптимального по быстродействию управления при жестком ограничении механических перегрузок подвижной системы. Остаточное рассогласование скоростной системы управления лежит в пределах 160 мкм и отрабатывается до 0,32 мкм в режиме пропорционального управления с малым ускорением.

Время, необходимое для перевода каретки до 300 мм и установки ее в заданное положение с дискретностью отсчета в 0,32 мкм, — порядка 1 с.

Такой режим может использоваться при сканировании размещенных на фотоносителе реперных точек, копировании изображений, обработке стереопар, астронегативов и во всех других случаях, когда необходимо шаговое перемещение носителя с длиной шага по каждой координате от 0,32 мкм до 300 мм.

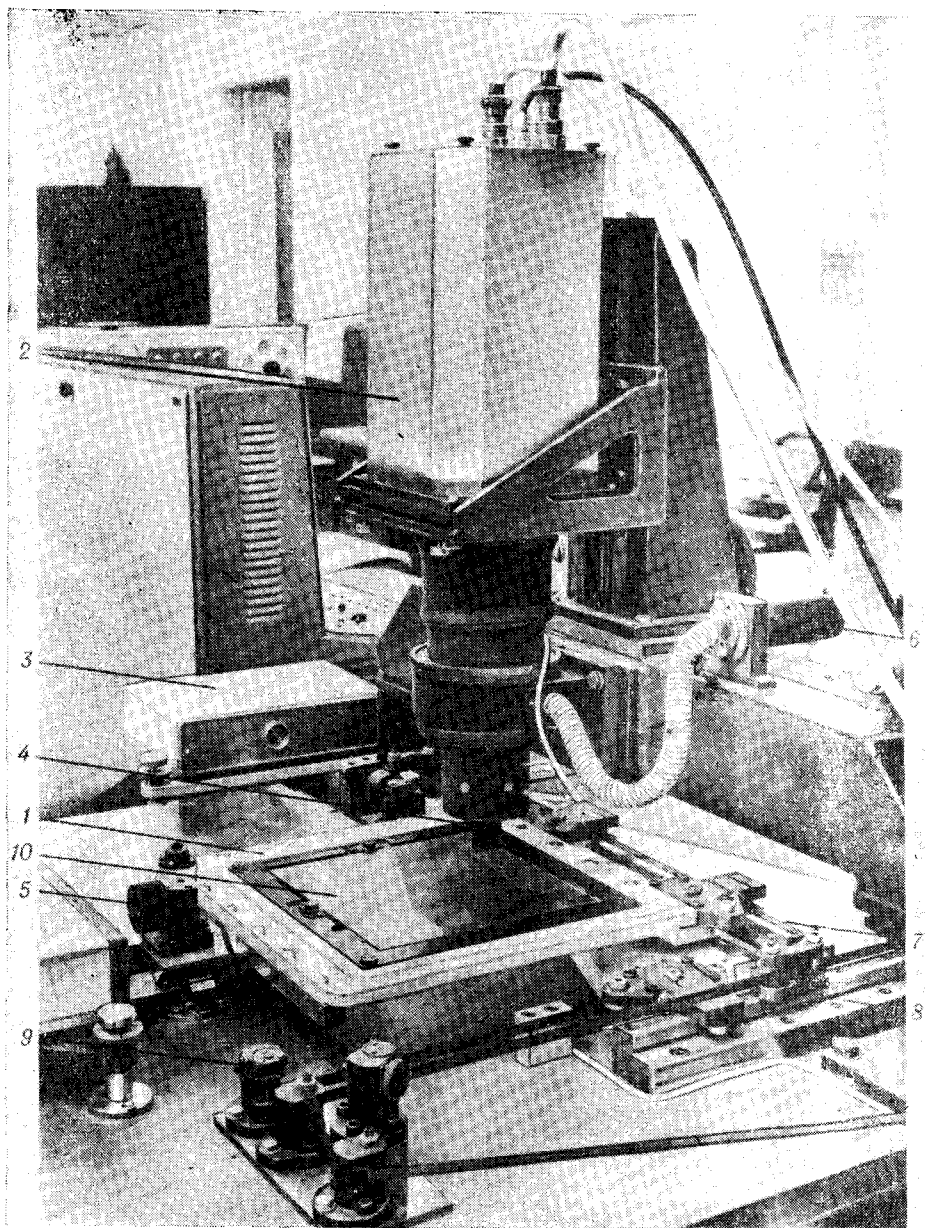


Рис. 2. Системы электронно-оптического и механического сканирования:  
 1 — каретка; 2 — ЭЛТ; 3 — лазерный интерферометр измерителя перемещения; 4 — объектив; 5 —  
 угловой отражатель лазерного интерферометра; 6 — светоприемник излучаемого потока со свето-  
 водом; 7, 8 — направляющие; 9 — натяжное устройство ленточного привода; 10 — фотоноситель.

Для непрерывного отслеживания контуров, изолиний и построения непрерывных кривых произвольной формы предусмотрен программный режим механического перемещения. Из ЭВМ вводятся значения требуемой скорости перемещения носителя по каждой из координат. Во время движения каретки предусмотрена возможность работы ЭВМ со сканирующей системой в программном или автономном режимах, считывания текущих значений координат каретки в определяемые программой ЭВМ моменты времени или по команде системы сканирования, работающей в автономном режиме поиска. Новые значения скорости движения каретки можно заносить в автомат в любой подхо-

дящий тактовый момент. Это позволяет реализовать разнообразные программы управления перемещением каретки по сложным кривым, составленные с учетом динамических характеристик привода. Устройство обеспечивает заданную скорость перемещения каретки по координате с погрешностью 3—5% в диапазоне от 1,2 мкм/с до 19 мм/с.

Устройство связи автомата с ЭВМ выполнено в программно-управляемом магистральном модульном варианте (стандарте САМАС) и допускает одновременную работу двух комплектов автомата с одной машиной серии ЕС.

На рис. 1 и 2 приведен внешний вид экспериментального макета фотограмметрического автомата.

Поступила в редакцию 25 февраля 1974 г.

УДК 62-50.007

А. А. НЕСТЕРОВ

(Новосибирск)

### АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРАФОПОСТРОИТЕЛЕМ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ АНАЛОГОВЫМ ПРИВОДОМ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ЗАДАНИИ КРИВОЙ

В\* предложен метод формирования управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальное по быстродействию перемещение пишущего устройства графопостроителя. При этом предполагалось, что изображаемая кривая задается в неявной форме уравнением

$$g(x, y) = 0. \quad (1)$$

Однако в некоторых случаях техническая реализация может оказаться более простой при параметрическом задании кривой. В данной заметке описывается модификация алгоритма управления, приведенного в\*\* для этой ситуации.

Как и в\*\*\*, будем предполагать, что движение пера описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = v_x;$$

$$\frac{dv_x}{dt} = f_1(v_x) + k_1 u_1; \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_y;$$

$$\frac{dv_y}{dt} = f_2(v_y) + k_2 u_2,$$

где  $v_x$  и  $v_y$  — скорости перемещения пера по координатам  $x$  и  $y$  соответственно; управляющие параметры  $u_1$  и  $u_2$  подчинены ограничениям

$$|u_1| \leq 1; \quad |u_2| \leq 1. \quad (3)$$

\* В. М. Александров, Н. Н. Карлсон, Н. П. Филиппова, А. А. Нестеров. Оптимальное управление приводом в системе графического вывода. — Автоматика, 1973, № 2.

\*\* См. указ. соч.

\*\*\* См. указ. соч.