

УДК 528.7 : 778.35 : 522.61 : 771.534 : 531 : 429 : 621.391 : 681.515.8

А. А. АНИСТРАТЕНКО, В. А. ИВАНОВ, В. С. КИРИЧУК,
В. П. КОСЫХ, Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, Н. С. ЯКОВЕНКО

(Новосибирск)

ЦЕНТР ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В работе основное внимание будет уделено использованию Центра обработки данных (ЦОД) для решения задач цифровой обработки изображений, хотя функциональные возможности его значительно шире и области применения не ограничиваются рассматриваемым вопросом.

Актуальность задач обработки изображений не вызывает сомнений, особенно в связи с развитием аэрокосмических исследований. В Институте автоматизации и электрометрии начиная с 1969 года ведутся работы по созданию различных по сложности, быстродействию и точности электронных, оптических и оптоэлектронных систем обработки информации. Апробирование разработанных систем на решении конкретных задач подтвердило их высокую эффективность и послужило стимулом для их интеграции в единый Центр обработки данных.

При этом необходимо было решить следующие задачи: 1) разработать структуру Центра; 2) создать средства комплексирования ЭВМ и устройств; 3) разработать устройства ввода, вывода и обработки изображений; 4) разработать аппаратуру регистрации и долговременного хранения больших объемов данных; 5) создать системное и специальное математическое обеспечение, позволяющее проводить законченный цикл обработки информации.

Выполнение указанного объема работ обеспечило создание и введение в эксплуатацию Центра обработки данных.

Структура ЦОД. ЦОД, как показано на рис. 1, представляет собой многомашинную иерархическую систему со специализацией входящих в ее состав ЭВМ и широким использованием модульного принципа в аппаратуре технических средств и в математическом обеспечении. Функциональные подсистемы, входящие в состав ЦОД, объединены в единый комплекс во главе с базовой ЭВМ с помощью унифицированной магистральной системы обмена (УМСО) [1]. Функциональные подсистемы используют мини- и микро-ЭВМ различной мощности в зависимости от технических характеристик управляемых ими устройств и имеют доступ ко всему оборудованию Центра.

Способность каждой из подсистем проводить автономно свой логически законченный цикл обработки позволяет распараллелить процессы создания математического обеспечения и анализа информации. Применение аппаратуры КАМАК для управления устройствами и обеспечения связи между абонентами Центра (УМСО) обеспечивает программную ориентацию ЦОД на решение разнородных задач и не создает трудностей при его модернизации и расширении.

Эффективность подсистем, основанная на использовании современных средств ввода, вывода и обработки информации и широком приме-

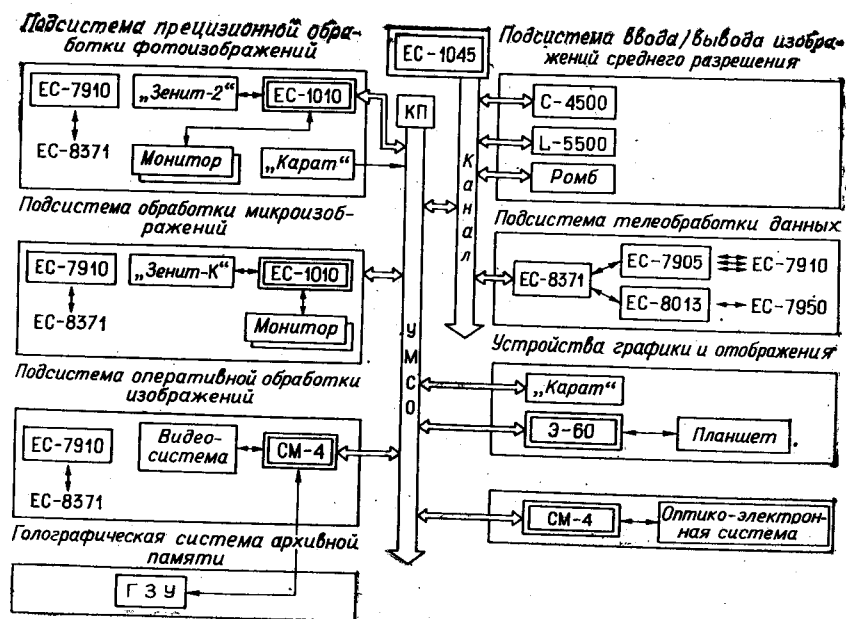


Рис. 1.

нении диалогового режима работы, подтверждена решением ряда конкретных задач в интересах народного хозяйства страны.

Состав Центра. В ЦОД введены в эксплуатацию базовый вычислительный комплекс, УМСО и подсистемы прецизионной обработки изображений, обработки микроизображений, ввода/вывода изображений среднего разрешения, устройств графического отображения информации, оптической обработки изображений, оперативной обработки изображений, голографической архивной памяти.

Кратко опишем основные подсистемы, ориентированные на цифровую обработку изображений.

Базовая ЭВМ предназначена для отладки алгоритмов и программ, проведения трудоемких вычислений по обработке изображений, хранения пакетов программ и больших объемов данных, обмена ими с функциональными подсистемами. В качестве таковой в ЦОД установлена ЭВМ ЕС-1045.01. В состав интерактивных функциональных подсистем включаются терминалы, обеспечивающие доступ к базовой ЭВМ с рабочего места исследователя-обработчика через систему телеобработки данных. Использование системы телеобработки данных позволит также существенно повысить производительность программистов при создании математического обеспечения.

Подсистема прецизионной обработки изображений включает:

устройство «Зенит-2», в котором использована оптико-электронная система сканирования с программно-управляемым движением сканирующего пятна по экрану ЭЛТ [2-4], предназначенное для измерения оптической плотности с фотонегативов большого формата (до 420×420 мм) со скоростью 10° отсч./с; разрешающая способность устройства: диаметр сканирующего луча 6 мкм, точность позиционирования 1 мкм; управляющую ЭВМ ЕС-1010, предназначенную для управления подсистемой и проведения обработки в диалоговом и автоматическом режимах;

устройства отображения: цветные и черно-белые мониторы с видеобufferом, позволяющим хранить и регенерировать изображение и содержащим 256×384 элементов;

спецпроцессор с приведенным быстродействием 2 млн. опер./с, позволяющий осуществить операцию свертки фрагмента размером 32×32 элемента с 16 программируемыми базисными функциями.

Следует отметить, что «Зенит-2» позволяет рассматривать изображение как внешнюю память ЭВМ большой емкости (до 10^{10} байт) и эта функциональная возможность существенно расширяет круг задач, допускающих решение на данной подсистеме.

Подсистема обработки микроизображений содержит микрофотометр «Зенит-К» [5] и управляющую ЭВМ ЕС-1010. В устройстве «Зенит-К», как и в «Зенит-2», используется быстродействующая система электронно-оптического сканирования (диаметр пятна 2 мкм) в сочетании с прецизионной электромеханической системой перемещения в пределах поля 75×50 мм. Применение высококачественной оптики позволяет исследовать микро- и макроизображения с характерными размерами в несколько микронов. В состав подсистемы включены цветные и черно-белые мониторы, а также устройство вывода информации на микрофильм «Карат».

Цифровая видеосистема для оперативной обработки изображений [6] предназначена для регистрации, обработки и визуализации в реальном времени телевизионных изображений реальных сцен. Она включает: приемно-передающую телевизионную камеру со стандартной и программно-управляемой разверткой; процессор поточечных операций и нелинейный амплитудный преобразователь интенсивности сигнала в темпе телевизионного сканирования; процессор векторных операций (время выполнения комплексной операции умножения и сложения 80 нс); видеобuffer на несколько телевизионных кадров форматом 512×512 точек и с 256 уровнями плотности; телевизионные мониторы.

Управление системой осуществляется ЭВМ «Электроника-60», связанной с базовой ЭВМ последовательным каналом со скоростью обмена 9,6 Кбод.

Подсистема является базой для создания автоматизированного рабочего места оператора-интерпретатора снимков.

Подсистема ввода/вывода изображений среднего разрешения содержит: устройство типа «Ромб» [7], позволяющее вводить в ЭВМ координаты и оптическую плотность элементов изображения (размер элемента 25, 50, 100 мкм, максимальный формат изображения 120×180 мм) и осуществлять вывод информации из ЭВМ на фотоноситель; устройство «Colormation» для ввода/вывода цветных фотоизображений; устройство «Laserwriter» для быстрого вывода информации из ЭВМ на черно-белый фотоноситель. Эти устройства используются для решения задач, не требующих выборочного считывания фрагментов изображений и не предъявляющих высоких требований по точности измерения координат и разрешению.

Для вывода графической информации в ЦОД используются устройство «Карат» для оперативного просмотра графических данных и регистрации их на киноплёнке [8]; устройство «Планшет» для регистрации (и считывания) графической информации на бумажный носитель размером до 840×1200 мм со скоростью перемещения головки записи до 1500 мм/с [9].

Кроме описанных подсистем в состав Центра включены: экспериментальная голографическая система архивной памяти общей емкостью 10^{10} бит для долговременного хранения, коррекции, поиска и выдачи больших объемов данных (принцип организации такой системы описан в [10]); экспериментальная система оптико-электронной обработки изображений.

Математическое обеспечение. *Системное математическое обеспечение.* Основные задачи комплекса системных программ [11] — обеспечение функционирования ЦОД в целом, реализация диалогового режима работы, операции с базой данных и всеми внешними устройствами Центра. К настоящему времени созданы программы, позволяющие осуществлять: ввод изображений с устройств «Зенит-2», «Зенит-К», «Ромб», «Colormation»; вывод графической информации устройствами «Карат», «Планшет», а также вывод цветных и черно-белых изображений устройствами «Ромб», «Colormation» и мониторами; информационный обмен

между всеми ЭВМ Центра; интерактивный режим работы; отладку алгоритмов и программ.

Специальное математическое обеспечение. Комплекс программ специального математического обеспечения Центра дает возможность: восстанавливать и улучшать качество изображений; проводить поиск объектов, определять их координаты и геометрические характеристики; отслеживать границы и линии, анализировать форму и структуру замкнутых односвязных областей; определять интегральные характеристики фрагментов изображений (вычислять среднее, дисперсию, гистограммы, матрицы переходных вероятностей); проводить спектральный анализ, сегментацию и классификацию изображений; осуществлять преобразования изображений (нелинейные амплитудные преобразования, линейная и нелинейная фильтрации); совмещать изображения, например, с целью накопления или синтеза цветных изображений; выполнять логические операции над двумя изображениями и проводить логическую фильтрацию; проводить статистический и вероятностный анализ заданных или выделенных точечных полей.

Реализованное математическое обеспечение, развитый диалоговый режим работы и функционально полный набор внешних устройств дают возможность проводить в ЦОД работы по созданию проблемно-ориентированных пакетов прикладных программ, предназначенных для анализа аэрокосмических изображений лесных массивов с целью изучения пространственного распределения деревьев и построения математической модели развития; сопоставления изображений геологических структур, полученных при аэрокосмической съемке, и результатов наземных исследований, поиска и локализации характерных геологических образований; сегментации и классификации изображений, в том числе спектрально-денситометрических свойств исследуемых микроструктур, измерения геометрических и оптических параметров выделенных образований; обработки астронегативов с целями определения звездных величин и взаимного расположения объектов; восстановления слабых изображений путем совмещения и накопления.

Иллюстрируем реализованные процедуры обработки изображений на трех примерах.

Статистический анализ микроструктур. Для определенности рассмотрим задачу получения статистических характеристик препаратов красной крови [12].

Программы работают в полуавтоматическом режиме. Задача оператора заключается в выборе соответствующего участка изображения препарата, фокусировке микрообъектива устройства «Зенит-К», а также в предварительном задании исходных параметров, определяющих диапазон размеров и коэффициент формы клеток красной крови. Далее без вмешательства оператора программа выполняет процедуры измерения уровня фона и выбора порогового уровня, поиска клеток и определения их центров, поиска границ (контуров) клеток, «разделения» слипшихся клеток, отбраковки артефактов, измерения площади и пропускания клетки с последующей регистрацией этих параметров.

Отметим, что все перечисленные процедуры в полной мере используют возможности программного управления лучом сканирования. Например, для поиска контурных точек осуществляется сканирование вдоль 16 радиусов, построенных через $22^{\circ}30'$; контурной считается точка, где производная пропускания достигает своего максимального значения.

Выполнив анализ всех клеток, находящихся в поле зрения сканирующей системы (число клеток в поле зрения случайно и лежит в диапазоне $5 \div 100$ клеток), программа реализует режим визуализации с тем, чтобы оператор мог выбрать новый участок и проверить качество фокусировки. Для контроля и вмешательства оператора в процесс обработки вся процедура сканирования отображается на мониторе. После измерения достаточного количества клеток результаты измерений записываются на

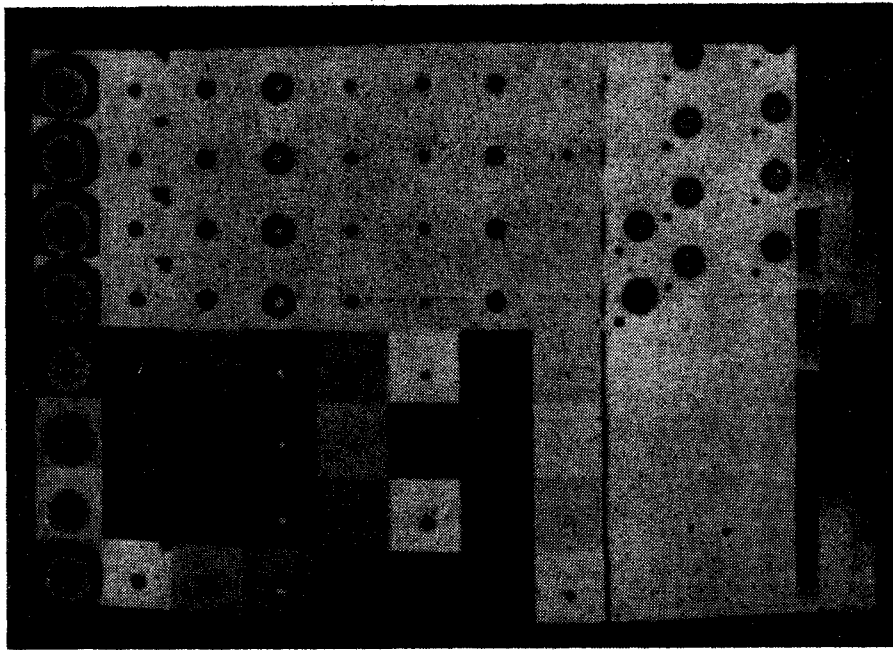


Рис. 2.

магнитную ленту ЭВМ М-4030 или на магнитные диски ЭВМ ЕС-1010. Полное время измерения, включая работу оператора, 2 с/клетку; при этом время автоматического измерения параметров клетки 0,5 с.

Исследования случайных ошибок измерения показали, что они составляют $\sigma_s/S = 0,034$; где σ_s — среднеквадратичная ошибка измерения площади, S — площадь. В измерениях также присутствует и систематическая ошибка, обусловленная тем, что размер сканирующего пятна (2 мкм) близок к размеру анализируемого объекта (4 ÷ 12 мкм). Эта ошибка зависит от размеров объекта, но не превышает 10% от измеряемой площади.

На комплексе к настоящему времени накоплены данные более чем по 900 пациентам, принадлежащим разным возрастным группам. Такой объем информации позволил провести статистически достоверный анализ возрастной динамики концентрации гемоглобина и размерных характеристик клеток красной крови у детей [13].

Обработка астронегативов. Комплекс программ обработки астронегативов реализуется с помощью устройства «Зенит-2». Программы осуществляют интерактивный режим работы, при этом оператор проводит поиск и установку опорных звезд, контроль работы программы, определение и ввод необходимых корректирующих параметров.

Комплекс программ включает подпрограммы для: а) автоматического поиска объектов (возможна ручная коррекция); б) определения порогового уровня (возможна ручная коррекция); в) нахождения «грубого» и точного центров объекта [14]; д) преобразования систем координат и записи полученных данных на магнитный носитель.

При необходимости оператор может использовать программу отслеживания линий равного уровня.

Весь ход выполнения программы сопровождается контрольным выводом на цветные и черно-белые мониторы (рис. 2).

Проведена обработка фотопластинок, полученных с помощью 26-дюймового рефрактора ГАО АН СССР. В результате установлено, что среднеквадратичная погрешность измерений координат звезды на одной пластинке $\sigma = 0,47$ мкм; среднеквадратичная погрешность измерений координат звезд по серии пластинок 0,82 мкм (при традиционных измере-



Рис. 3.

(рис. 3). Использование устройства «Зенит-2» позволило значительно повысить точность определения лучевых скоростей по сравнению с ранее использованными методами [16].

Таким образом, автоматизация процессов измерения и обработки астрофотографий позволяет повысить точность и объективность измерений, а также сократить сроки обработки информации (в 4—5 раз).

Восстановление слабых изображений. Комплекс программ совмещения и накопления изображений, реализованный с помощью микрофотометра «Зенит-К», применялся для восстановления изображений, полученных с электронного микроскопа. Физические свойства исследуемого вещества ограничивали максимально возможную дозу об-

ниях эта погрешность равна 1,22 мкм); систематическая погрешность отсутствует (при традиционных измерениях такая погрешность составляет 1/3 определяемой величины) [15].

Данный комплекс программ с привлечением программы отслеживания протяженных линий использовался и для анализа спектрограмм Солнца

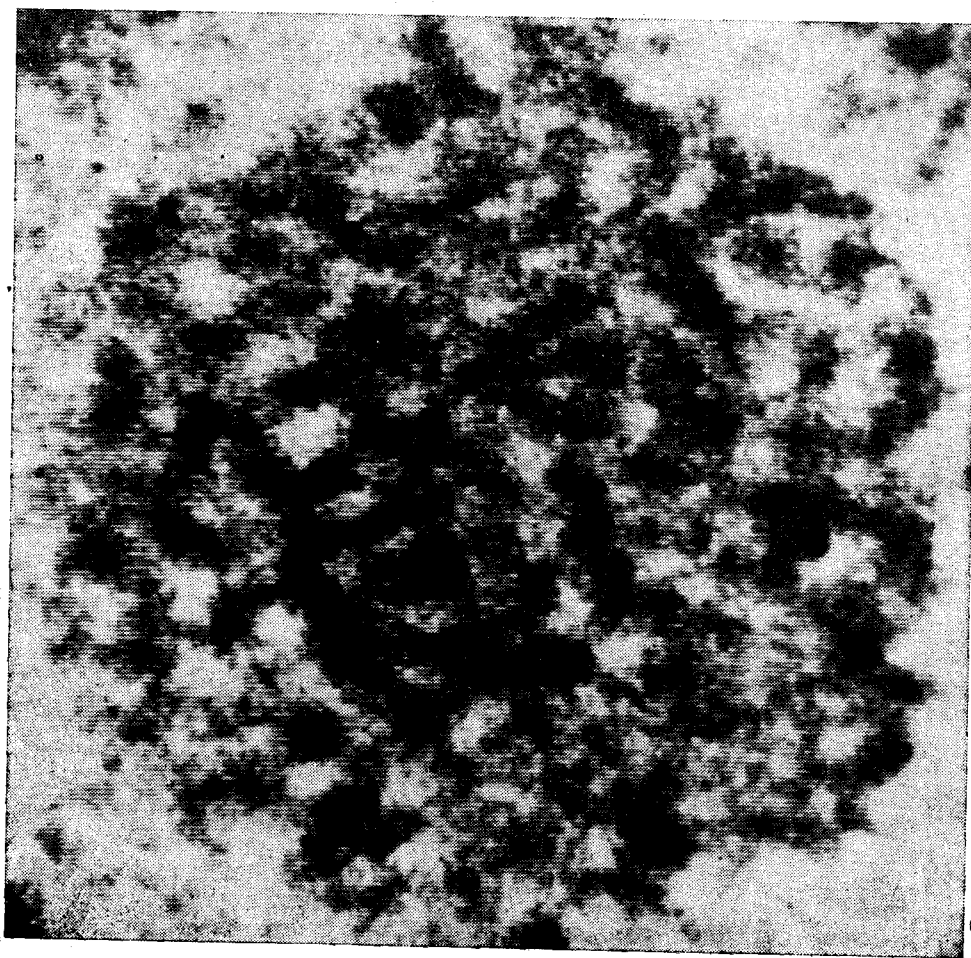


Рис. 4.

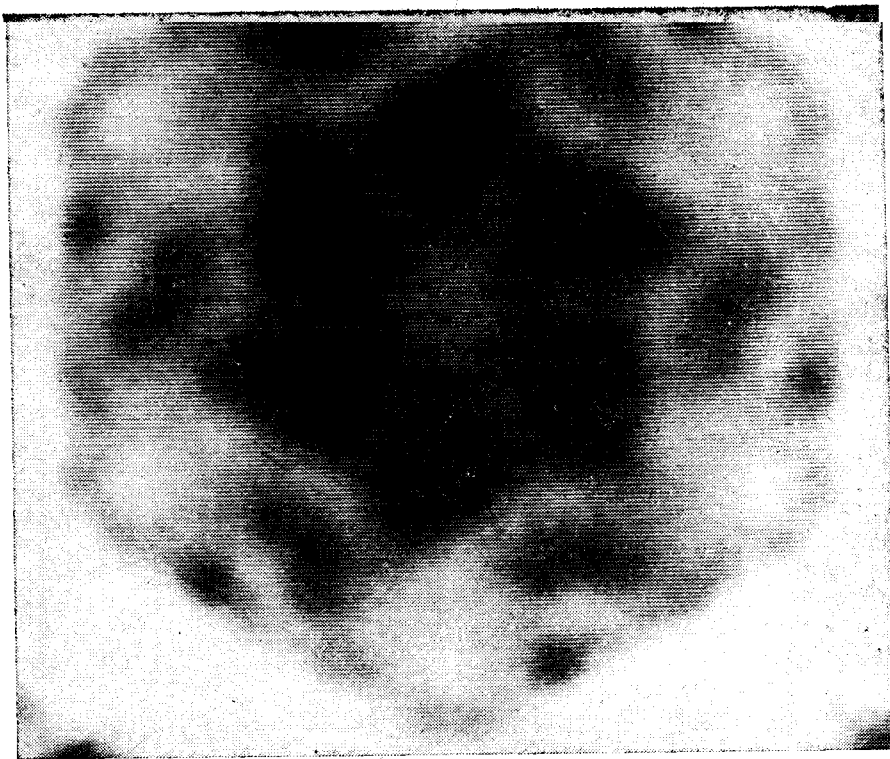


Рис. 5.

лучения и приводили к малому отношению сигнал/шум на фотопластинке. Поэтому качественные изображения получались путем совместной обработки серии фотопластинок с изображениями одного и того же объекта. Комплекс программ позволяет совмещать изображения (т. е. добиваться максимума функции правдоподобия по координатам и углу), проводить накопление совмещенных изображений и фиксацию полученных результатов на магнитных носителях. На рис. 4, 5 приведены исходная микрофотография вирусной частицы и результат усреднения по 64 фотографиям. Программы совмещения работали в ре-

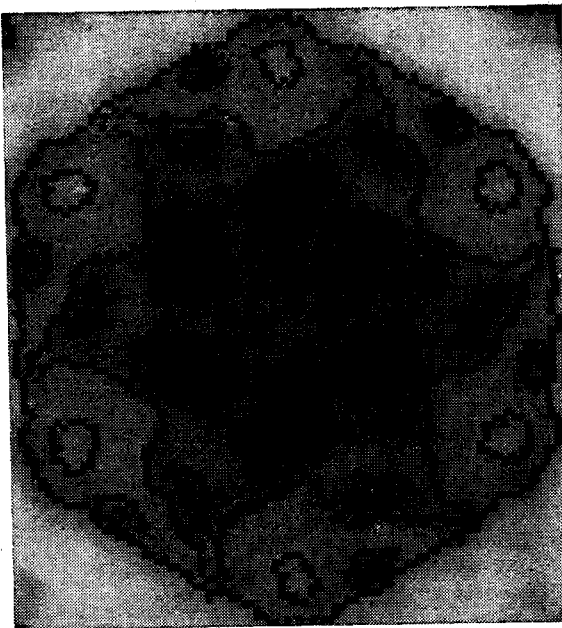


Рис. 6.

жиме непосредственного считывания одного из совмещаемых изображений устройством «Зенит-К». При этом эффект совмещения объектов достигался за счет поворота и смещения сканирующего растра, что избавило от необходимости проводить трудоемкие операции поворота и смещения числовой матрицы.

На рис. 6 приведен результат обработки совмещаемого изображения программами клеточной логики [17]; здесь выделены характерные образования на изображении.

Перспектива. Одно из основных направлений развития ЦОД — функциональное развитие подсистем за счет существенного повышения скорости обработки информации. Этой цели можно достичь оснащением управляющих ЭВМ спецпроцессорами различного типа, позволяющими однотипные операции выполнять со скоростью, значительно превышающей возможности применяемых ЭВМ. Пример таких устройств — матричные процессоры [18, 19] и процессоры на основе клеточной логики [20].

Значительные усилия необходимо направить на развитие системного обеспечения, реализующего необходимые коммуникационные связи подсистем, на разработку алгоритмов и программ, использующих современные достижения вычислительной математики и статистики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестерихин Ю. Е. и др. Организация систем автоматизации научных исследований. — Автометрия, 1974, № 4.
2. Бурый Л. В. и др. Автоматизированный комплекс обработки изображений. — Автометрия, 1980, № 3.
3. Нестерихин Ю. Е., Пушной Б. М. О системе автоматической обработки изображений. — Автометрия, 1977, № 3.
4. Мамонтов Г. М., Поташников А. К., Ситников Г. Ф. Сканирующее устройство универсального фотограмметрического автомата «Зенит». — Автометрия, 1977, № 3.
5. Косых В. П., Обидин Ю. В., Поташников А. К., Пустовских А. И. Автоматизированный комплекс для анализа микроизображений. — В кн.: Автоматизированные системы обработки изображений (АСОИЗ-81). М.: Наука, 1981.
6. Баглай Р. Д. и др. Цифровая видеосистема регистрации, обработки и отображения оптической информации. — В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. [Тез. докл. конф.]. Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1981.
7. Васьков С. Т. и др. Прецизионная система ввода/вывода изображений из ЭВМ. — Автометрия, 1977, № 2.
8. Авдеев В. С. и др. «Карат» — устройство вывода графической информации на микрофильм. — Автометрия, 1976, № 1.
9. Карлеон Н. Н. Организация движения регистрирующего устройства графопостроителя-кодировщика «Планшет». — В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. [Тез. докл. конф.]. Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1979.
10. Выдрин Л. В. и др. Экспериментальная оптико-электронная (голографическая) система памяти. — Автометрия, 1980, № 2.
11. Яковенко Н. С. Организация системного программного обеспечения комплекса обработки аэрокосмической информации. — Автометрия, 1982, № 4.
12. Косых В. П., Леонова В. Г., Пустовских А. И. Применение комплекса автоматического анализа микроизображений для изучения возрастной динамики распределения гемоглобина в популяциях эритроцитов у детей. Ч. 1. — Известия СО АН СССР. Сер. биол., 1981, № 15, вып. 3.
13. Косых В. П. и др. Анализ эритроцитарных популяций на автоматизированном фотограмметрическом комплексе «Зенит — ЭВМ». — В кн.: I Всесоюз. биофизический съезд. [Тез. докл. стендовых сообщений]. М.: Ин-т биол. физики АН СССР, 1982, т. III.
14. Киричук В. С., Пушной Б. М., Чейдо Г. П. Построение процедур считывания изображений с вышуклыми границами. — Автометрия, 1977, № 3.
15. Киселев А. А., Киричук В. С., Быков О. А., Яковенко Н. С. Опыт применения автоматической измерительной машины «Зенит-2». — В кн.: Труды XX астрономической конференции СССР. М.: МГУ, 1981.
16. Киричук В. С., Кушнир М. В., Яковенко Н. С. Определение лучевых скоростей в атмосфере Солнца с помощью фотограмметрического автомата «Зенит-2». — Бюл. «Солнечные данные», 1981, № 11.
17. Косых В. П., Пустовских А. И., Яковенко Н. С. Программная реализация морфологического процессора. — Автометрия, 1982, № 4.
18. Аксенов В. П., Бочков С. В., Мошков А. А. Структура и характеристики высокопроизводительных ЭВМ и систем. Ч. II. — Зарубеж. радиоэлектроника, 1982, № 4.
19. Брейтман В. А., Коршевер И. И., Ремель И. Г. Микропрограммируемый векторный процессор в стандарте SAMAC. — Автометрия, 1978, № 4.

В. П. КОРОНКЕВИЧ, В. А. ХАНОВ

(Новосибирск)

СОВРЕМЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Лазерный интерферометр перемещений — линейная измерительная система для абсолютных измерений длины путем сравнения с длиной волны стабилизированного по частоте лазера. Для начала уточним, что понимается под термином «сравнение с длиной волны лазера», и опишем операцию измерения. Сравнение измеряемого отрезка осуществляется при помощи двухлучевого интерферометра. Одно из зеркал закрепляют на объекте, перемещение которого необходимо определить. При движении объекта меняется разность хода интерферирующих пучков и на выходе прибора наблюдают характерные изменения светового потока от минимального до максимального значений. Смещение зеркала на половину длины волны излучения, т. е. на одну полосу интерференционного поля, соответствует одному периоду в изменении светового потока. Число полос подсчитывается фотоэлектронной системой, и измеряемая длина вычисляется по следующей простой формуле: $L = N\lambda_{\text{возд}}/2$, где N — порядок интерференции, т. е. целая и дробная части числа полос, $\lambda_{\text{возд}} = \lambda_{\text{вак}}/n_{\text{возд}}$, $\lambda_{\text{вак}}$ — длина волны излучения лазера в вакууме, а $n_{\text{возд}}$ — показатель преломления воздуха, в котором проводятся измерения. Таким образом, процедура измерения длины обязательно требует прохождения зеркалом лазерного интерферометра контролируемого расстояния. При этом исходной мерой является естественная константа — длина волны стабилизированного лазера. Ее значение для современных лазеров известно с относительной ошибкой $\sim 5 \cdot 10^{-9}$, т. е. находится на уровне погрешности воспроизведения исходной длины волны излучения Kr^{86} , положенной в основу определения метра. В настоящее время известно около двадцати типов промышленных лазерных интерферометров, выпущенных различными фирмами мира. На рис. 1 показаны их основные характе-

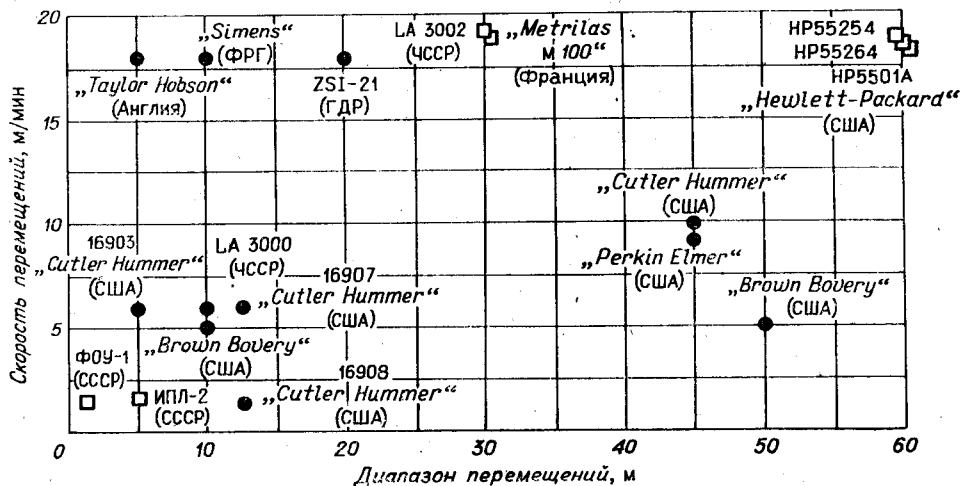


Рис. 1.