

рого словаря, запас которого можно постепенно пополнять. Переход к такой полуавтоматической системе, обращающейся в затруднительных случаях к помощи оператора, облегчил бы решение таких вопросов, как выбор всех связанных фрагментов изображения, установление приоритета в их отслеживании, обработка сложных перекрестков, отбраковка помех, близких по форме к сигналу, выбор фрагментов, требующих прецизионной обработки и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М., «Мир», 1976.
2. Левин М. Д. Методы выделения признаков.— «Обзор ТИИЭР», 1969, т. 57, № 8, с. 51—69.
3. Васьков С. Т., Нестерихин Ю. Е., Пушной Б. М. Об универсальном фотограмметрическом автомате.— В кн.: Средства ввода в ЭВМ и отображения графической информации. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1974.
4. Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е., Нестеров А. А., Пушной Б. М., Ткач С. Е., Щербаченко А. М. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.
5. Бурый Л. В., Кузнецов С. А., Луговой Л. Г., Нестеров А. А., Пушной Б. М. Электромеханическая система позиционирования фотограмметрического автомата «Зенит».— «Автометрия», 1977, № 3, с. 12—19.
6. Мамонтов Г. М., Поташников А. К., Ситников Г. Ф. Сканирующее устройство универсального фотограмметрического автомата «Зенит».— «Автометрия», 1977, № 3, с. 39—45.
7. Поляков В. Г., Переверзев-Орлов В. С. Электронные системы следящей развертки. М., «Энергия», 1968.
8. Петренко А. И., Абакумов В. Г., Будняк А. А., Дядюра В. А., Капшук О. А., Фесечко В. А. Обработка графической информации на ЭВМ. Киев, «Техника», 1974.
9. Гришин М. П., Курбанов Ш. М., Маркелов В. П. Автоматический ввод и обработка фотографических изображений на ЭВМ. М., «Энергия», 1976.
10. Козлов В. В. Использование особенностей фотометрических характеристик оптической камеры «Мирабель» при нормировании трековых сигналов.— Труды Радиотехнического института АН СССР, № 10. М., 1972.
11. Кульбеда В. Е. Сравнительный анализ влияния шумов фото пленки и ФЭУ на отношение сигнал/шум при сканировании снимков пузырьковых камер.— Труды Радиотехнического института АН СССР, № 10. М., 1972.

Поступила в редакцию 29 декабря 1976 г.

УДК 621.391 : 681.3.01

В. П. КОСЫХ, Г. П. ЧЕЙДО

(Новосибирск)

АВТОМАТИЗАЦИЯ АСТРО- И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение. За долгую историю развития астрономии созданы удивительные по совершенству и точности приборы для измерения положений в пространстве естественных и искусственных небесных тел. Единственное неудобство этих приборов заключается в отсутствии прямого отсчета координат. Результаты наблюдений, как правило, регистрируются на фотопластинках, которые в астрономии, по-видимому, еще долгое время будут служить незаменимыми накопителями. Определение положения тел в пространстве осуществляется путем измерения координат их изображений на фотопластинке и последующих вычислений. Имеется ряд устройств для измерения координат точек на фото-

пластинке. Наиболее точная и совершенная из них — координатно-измерительная машина «Ascogecord». Однако «Ascogecord» — это полуавтомат, и его производительность явно недостаточна для обработки уже имеющихся огромных архивов фотопластинок и вновь получаемых астронегативов.

В качестве подходящей технической базы для полной автоматизации астро- и фотометрических измерений можно указать прецизионный фотограмметрический автомат «Зенит» [1]. Все известные координатно-измерительные машины предназначены для получения только «первичных» данных в виде координат изображений на пластинке. В комплексе «Зенит» — ЭВМ программно-управляемый растр и возможность адресоваться к произвольной точке астронегатива позволяют строить гибкие алгоритмы адаптивного считывания изображений. Поступающая непосредственно в ЭВМ информация может быть оперативно обработана, и полученные первичные данные при обеспечении ЭВМ специальными программами, звездными каталогами и т. д. могут быть пересчитаны в окончательные параметры, необходимые астрофизику или астрометристу.

Ниже приводятся и обсуждаются предварительные результаты обработки на макете автомата «Зенит» ряда астронегативов с целью выявления точностных характеристик устройства и его пригодности для автоматизации астро- и фотометрических измерений.

Модель сигнала. Изображение звезды на астронегативе представляет собой пятно конечных размеров на фоне вуали, которое математически можно выразить в виде некоторой действительной функции двух переменных $\tau(x, y)$, описывающей изменение коэффициента пропускания по полю негатива. Изображение содержит детерминированную часть $\tau_0(x, y)$, адекватную экспозиции $E(x, y)$, и случайную компоненту $\varepsilon(x, y)$, обусловленную статистическими механизмами формирования изображения. Считывание изображения сканирующей системой сопровождается шумами $\xi(x, y)$, так что результат измерения $\tau(x, y)$ можно представить в виде

$$\begin{aligned} \tau(x, y) &= T\tau_0(x, y) + \xi(x, y) + \varepsilon(x, y) = \\ &= T\tau_0(x, y) + \xi(x, y). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь T — средний уровень вуали фотопластинки; $\tau_0(x, y)$ — пропускание, присутствующее «чистому» изображению; $\xi(x, y)$ — шумы, представляющие собой сумму шумов гранулярности изображения, шумов фотоэлектронного умножителя системы считывания, люминофора сканирующей ЭЛТ, а также искажений формы «чистого» изображения из-за влияния атмосферы, неоднородности фотоматериала и пр. Наглядное представление о характере сигнала дает рис. 1, где приведен ряд сечений изображения звезды, полученных измерениями на макете.

Коэффициент пропускания пластинки в данной точке, равный отношению прошедшего потока к падающему, $\tau(x, y) = \Phi_{\text{пр}}/\Phi_{\text{п}}$, в сканирующей системе квантуется на 128 уровней (от 0 до 127). Таким образом, полностью прозрачная пластинка (с оптической плотностью

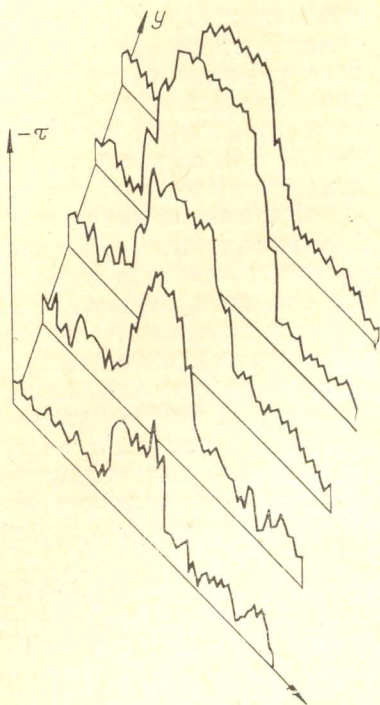


Рис. 1.

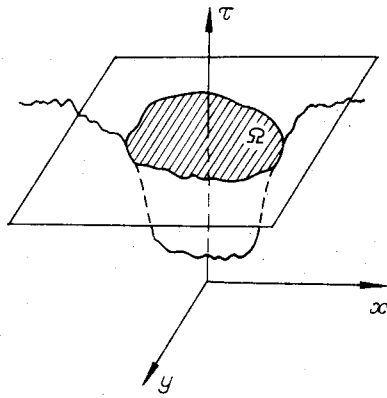


Рис. 2.

статистическими механизмами: рассеянием оптики и фотоматериала, турбулентностью атмосферы и пр. Суммарное действие всех этих факторов приводит к образованию пятна, близкого по форме к двумерной гауссоиде:

$$\tau_0(x, y) = T - T_m \exp\left[-\frac{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)}{2r^2}\right]. \quad (2)$$

Нелинейность характеристики фотоматериала приводит к искажению формы пятна для ярких звезд. Наиболее существенное из искажений — ограничение по амплитуде (оно заметно на рис. 1). К таким же искажениям приводит ограничение в канале считывания (при $D=2,104$). Однако все эти искажения не нарушают центральную симметрию пятна.

Как показали измерения на макете ряда астронегативов, среднеквадратичное отклонение σ_z суммарного шума $\xi(x, y) = 8 \div 12$ в зависимости от уровня вуали и типа фотоматериала. Шумы фотоэлектронного множителя канала считывания имеют $\sigma_\phi = 3$. Таким образом, ввиду статистической независимости шумов гранулярности и ФЭУ получаем среднеквадратичное отклонение шумов гранулярности $\sigma_r = 7,4 \div 11,6$, т. е. основная компонента шума при измерении $\tau(x, y)$ обусловлена гранулярностью фотоматериала.

Оценивание координат центра. Координаты центра звездного изображения можно найти путем определения оценок параметров аналитического описания функции $\tau_0(x, y)$. Однако такой путь неудобен тем, что при этом придется оценивать и целый ряд параметров, описывающих характеристическую кривую фотоматериала и являющихся в данном случае мешающими. Их определение приведет как к увеличению времени работы алгоритма, так и к снижению точности оценок координат центра. Более удобно принять за центр изображения центр масс трехмерной фигуры $z = \tau(x, y)$. Очевидно, что этот параметр инвариантен к форме характеристической кривой и вообще ко всем преобразованиям, сохраняющим симметрию пятна.

При определении координат центра масс

$$x_0 = \frac{\iint_{\Omega} x\tau(x, y) dx dy}{\iint_{\Omega} \tau(x, y) dx dy}; \quad y_0 = \frac{\iint_{\Omega} y\tau(x, y) dx dy}{\iint_{\Omega} \tau(x, y) dx dy} \quad (3)$$

интегрирование производится по множеству Ω «внутренних точек» изображения. Выделение этой области возлагается на алгоритм. Очень удобно в качестве такой области взять сечение изображения звезды

$D=0$) имеет $\tau=127$. Наименьшая величина пропускания, которую способен измерить макет, равна $1/127$, что соответствует оптической плотности $D=2,104$. Меньшие пропускания отображаются макетом в нуль.

Для большей общности решения задачи измерения координат изображений на функцию $\tau_0(x, y)$ желательнее наложить минимум ограничений. Будем предполагать (кроме очевидной ограниченности) только ее центральную симметрию. Действительно, изображение звезды формируется как результат «размытия» дельта-функции многими

$z = \tau(x, y)$ некоторой плоскостью $\tau(x, y) = \text{const}$, параллельной плоскости x, y (рис. 2). Выбор уровня секущей плоскости производится исходя из соображений повышения точности оценок; этот вопрос обсуждается ниже.

Предположим, что эта плоскость тем или иным способом выбрана: $\tau(x, y) = T_0$. Так как при измерениях на макете получаются отсчеты, заданные на дискретном растре, оценки (3) принимают вид

$$\tilde{x}_0 = \frac{\sum_{\Omega} x_{ij} (T_0 - \tau_{ij})}{\sum_{\Omega} (T_0 - \tau_{ij})}; \quad \tilde{y}_0 = \frac{\sum_{\Omega} y_{ij} (T_0 - \tau_{ij})}{\sum_{\Omega} (T_0 - \tau_{ij})}. \quad (4)$$

Предполагая только симметрию распределения шумов относительно центра изображения, можно показать несмещенность оценок (4). Рассмотрим одну из них, например первую. Предположим вначале, что изображение расположено симметрично относительно начала координат. Тогда область суммирования Ω можно упорядочить по строкам, например, следующим образом (j -я строка): $x_{-n_j, j}; x_{-n_j+1, j}; \dots; x_{0, j}; x_{1, j}; \dots; x_{n_j, j}$. Очевидно, что $x_{-i, j} = -x_{i, j}$ для любой строки j ($j = -k, \dots, k$). Найдем математическое ожидание оценки \tilde{x}_0 . В силу симметрии функции $T_0 - \tau_0(x, y)$ оценка

$$\tilde{x}_0 = \frac{-\sum_{j=-k}^k \sum_{i=-k}^k x_{ij} \xi_{ij}}{\sum_{j=-k}^k \sum_{i=-k}^k (T_0 - \tau_{ij})} = -\frac{1}{d} \frac{\sum_j \sum_i x_{ij} \xi_{ij}}{1 + \eta}, \quad (5)$$

где $d = \sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})$; $\eta = -(\sum_j \sum_i \xi_{ij})/d$; $|\eta| < 1$.

Используя разложение $1/(1+\eta)$ в степенной ряд и вычисляя математическое ожидание \tilde{x}_0 , получим

$$M[\tilde{x}_0] = -\frac{1}{d} \sum_j \sum_i x_{ij} M \left\{ \xi_{ij} \left[1 + \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right) / d - \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^2 / d^2 + \dots \right] \right\}. \quad (6)$$

Так как $\left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^s$, $s = 1, 2, \dots$, — симметрические относительно i, j функции и распределение шумов симметрично относительно центра,

$$M \left[\xi_{ij} \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^s \right] = M \left[\xi_{-i, j} \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^s \right]. \quad (7)$$

Тогда, принимая во внимание, что $x_{i, j} = -x_{-i, j}$, получаем $M[\tilde{x}_0] = 0$.

При x_0 , отличном от нуля, например $x_0 = a$, (4) можно представить в виде

$$\tilde{x}_0 = \frac{\sum_j \sum_i (x_{ij} - a + a) (T_0 - \tau_{ij})}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})}.$$

Математическое ожидание этой оценки

$$M[\tilde{x}_0] = a + M \left[\frac{\sum_j \sum_i (x_{ij} - a) (T_0 - \tau_{ij})}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})} \right] = a,$$

что доказывает ее несмещенность. Точность оценки будем характеризо-

вать дисперсией $\sigma_{x_0}^2$, которая равна

$$M[\tilde{x}_0 - a]^2 = M \left[\frac{\sum_j \sum_i (x_{ij} - a)(T_0 - \tau_{ij})}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})} \right]^2 = M \left[\frac{\sum_j \sum_i (x_{ij} - a) \xi_{ij}}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})} \right]^2. \quad (8)$$

Важным и весьма полезным свойством оценок (4) является независимость их точности от выбора начала координат x, y несмотря на то, что выражения для их вычисления содержат взвешенные суммы измерений с весами x и y .

Выбор порогового уровня. Из выражения (8) следует, что точность оценок координат зависит от порогового уровня T_0 . С приближением T_0 к уровню нуля знаменатель в (8) возрастает, что приводит к уменьшению дисперсии. Однако одновременно с ростом знаменателя увеличивается и дисперсия числителя. Возникает необходимость поиска оптимального значения T_0 , доставляющего минимум дисперсии оценки. Воспользуемся преобразованием

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij})} &= \frac{1}{\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{0ij}) - \sum_j \sum_i \xi_{ij}} = \\ &= \frac{1}{d \left(1 - \frac{\sum_j \sum_i \xi_{ij}}{d} \right)} = \frac{1}{d} \left(1 + \frac{\sum_j \sum_i \xi_{ij}}{d} \right), \end{aligned}$$

где $d = \sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{0ij})$. Тогда

$$1 \left/ \left[\sum_j \sum_i (T_0 - \tau_{ij}) \right]^2 \right. = (1/d^2) \left[1 + \left(2 \sum_j \sum_i \xi_{ij} \right) / d + \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^2 / d^2 \right].$$

Подставляя последнее в (8), получаем

$$\begin{aligned} \sigma_{x_0}^2 &= \frac{1}{d^2} M \left[\left(\sum_j \sum_i x_{ij} \xi_{ij} \right)^2 + \frac{2}{d} \sum_j \sum_i \xi_{ij} \left(\sum_j \sum_i x_{ij} \xi_{ij} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{d^2} \left(\sum_j \sum_i \xi_{ij} \right)^2 \left(\sum_j \sum_i x_{ij} \xi_{ij} \right)^2 \right]. \quad (9) \end{aligned}$$

Выполнение операции математического ожидания в предположении статистической независимости отсчетов и симметрии их распределения дает

$$\sigma_{x_0}^2 = \frac{1}{d^2} \left(\sigma^2 \sum_j \sum_i x_{ij}^2 + \frac{1}{d^2} \mu_4 \sum_j \sum_i x_{ij}^2 + \frac{n-3}{d^2} \sigma^4 \sum_j \sum_i x_{ij}^2 \right). \quad (10)$$

Здесь $\mu_4 = k\sigma^4$ — четвертый момент распределения погрешностей ξ_{ij} ; n — количество измерений на изображении звезды. Для достаточно контрастных изображений $(\sigma^2/d^2) \ll 1$ и второй член в (10) пренебрежимо мал относительно первого. Для приближенного анализа можно пренебречь и третьим членом. Тогда

$$\sigma_{x_0}^2 = \frac{\sigma^2}{d^2} \sum_j \sum_i x_{ij}^2, \quad (11)$$

где σ^2 — дисперсия шума.

Дальнейший анализ проведем для изображения, имеющего вид двумерной гауссоиды

$$\tau(x, y) = T - T_m \exp(-(x^2 + y^2)/(2r^2)). \quad (12)$$

В этом случае радиус области суммирования Ω

$$R = r(-2 \ln U/T_m)^{1/2} \quad (13)$$

Здесь $U = T - T_0$. Тогда

$$\sum_j \sum_i x_{ij}^2 \approx \frac{\pi R^4}{4\Delta^2} = \frac{\pi r^4}{\Delta^2} \ln^2 \frac{U}{T_m} \quad (14)$$

(Δ — дискретность считывания по обеим координатам). Величина d может быть выражена следующим образом:

$$\begin{aligned} d &\approx \frac{1}{\Delta^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^R [T_0 - T + T_m \exp(-\rho^2/2r^2)] \rho d\rho = \\ &= \frac{1}{\Delta^2} [2\pi r^2 (T_m - U) - \pi R^2 U]. \end{aligned} \quad (15)$$

Подставляя формулы (13—15) в (11), имеем

$$\sigma^2 = \frac{\Delta^2 \sigma_0^2 \ln^2 (U/T_m)}{4\pi (T_m - U - U \ln U/T_m)^2}. \quad (16)$$

Из выражения (16) получаем уравнение для определения оптимального значения U

$$T_m - U - U \ln U/T_m - U \ln^2 U/T_m = 0. \quad (17)$$

Решение этого уравнения дает

$$U_{\text{опт}} = T - T_0 \approx 0,16 T_m,$$

откуда

$$T_0 = T - 0,16 T_m. \quad (18)$$

При этом значении порогового уровня дисперсия оценки

$$\sigma_{\text{min}}^2 \approx 1,1 \frac{\sigma_0^2 \Delta^2}{T_m^2}. \quad (19)$$

Приняв $\sigma_0/T_m = 0,1$, что близко к реальному значению, из (19) имеем $\sigma_{\text{min}} \approx 0,1\Delta$. Однако следует помнить, что этот результат остается справедливым при уменьшении шага сканирования Δ лишь до величины, не меньшей интервала корреляции шумов гранулярности.

Следует подчеркнуть, что оптимальное значение порогового уровня согласно (18) не зависит от параметра r , характеризующего размеры пятна. Таким образом, для изображений, не выходящих за пределы линейного участка характеристической кривой, оптимальный уровень определяется весьма просто: нужно знать всего два параметра — пропускание T фона и пропускание $T_{\text{ц}}$ в центре изображения. Так как $T_m = T - T_{\text{ц}}$, оптимальный уровень $T_0 = 0,84 T + 0,16 T_{\text{ц}}$.

Таким же путем можно определить оптимальное значение T_0 и для изображений с другим законом почернения.

Фотометрические измерения. Поскольку изображение звезды предполагается центрально-симметричным, его размер можно охарактеризовать одним параметром, например радиусом. Однако понятие радиуса неоднозначно для изображения, не имеющего четких границ. Это может быть радиус, соответствующий заданному значению коэффициента пропускания, но такой подход неоптимален, поскольку при этом не учитывается значительная часть информации, содержащаяся в изображении. В астрофотометрии под радиусом часто понимают радиус, соответствующий некоторому заданному уровню интегрального коэф-

фициента пропускания. Здесь информация используется более полно, но пороговый уровень определяется фотометристом и в значительной степени зависит от его опыта. Можно предложить достаточно объективный способ определения радиуса изображения, использующий всю содержащуюся в изображении информацию и не зависящий от искусства оператора. Величина

$$R = \left\{ \frac{2 \iint_{\Omega} (x^2 + y^2) [T - \tau(x, y)] dx dy}{\iint_{\Omega} [T - \tau(x, y)] dx dy} \right\}^{1/2} \quad (20)$$

может служить мерой радиуса изображения. Действительно, если коэффициент пропускания в изображении подчиняется распределению вида

$$\tau(x, y) = \begin{cases} \tau_0 & \text{при } (x^2 + y^2) \leq r^2; \\ T & \text{при } (x^2 + y^2) > r^2, \end{cases}$$

то определенная по формуле (20) величина R равна действительному радиусу изображения r . Для более полного использования информации граничными точками области Ω в данном направлении будем считать ближайшую к центру точку, в которой $\tau(x, y)$ становится равным уровню вуали T . При сканировании изображения от центра к краям граница определяется самим алгоритмом.

При таком способе выделения области Ω существует опасность включения неинформативных отсчетов, т. е. таких, что разность $T - \tau(x, y)$ мала относительно шумов гранулярности. Для уменьшения влияния шумов отсчеты, расположенные далеко от центра, получают меньший вес, пропорциональный разности $T - \tau(x, y)$.

В нашем алгоритме в качестве весовой функции использовался параболоид $f(x, y) = 1 - a(x^2 + y^2)$, аппроксимирующий функцию $T - \tau(x, y)$ (здесь a — крутизна параболоида, характеризующая размер изображения). При этом оценка радиуса принимает вид

$$\bar{R} = \left\{ \frac{\iint_{\Omega_1} (x^2 + y^2) [T - \tau(x, y)] f(x, y) dx dy}{\iint_{\Omega_1} [T - \tau(x, y)] f(x, y) dx dy} \right\}^{1/2} \quad (21)$$

Область Ω_1 формируется условием

$$f(x_{гр}, y_{гр}) = 0, \quad (22)$$

где $x_{гр}, y_{гр}$ — координаты граничной точки области.

В качестве параметра, характеризующего звездную величину, разумеется, могут быть использованы самые различные функционалы, например

$$I = \iint_{\Omega_1} [T - \tau(x, y)] f(x, y) dx dy \quad (23)$$

Предпочтение следует отдать функционалу, дающему большую точность при достаточной простоте его вычисления.

Экспериментальные результаты. Программа, реализующая описанный алгоритм определения координат звездных изображений, написана

на языке «Макрокод» для ЭВМ «Минск-22» и использовалась для обработки серии астронегативов, полученных на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории. Измерения производятся по списку координат. Список представляет собой весьма приближенные координаты подлежащих измерению звезд. Это могут быть координаты, полученные в предыдущих измерениях данной пластинки или другой пластинки для этой же области неба, координаты поисковой фазы либо, наконец, координаты, измеренные приближенно любым способом и в произвольном масштабе. Требования к точности координат списка невысоки: точность их должна только исключать возможность перепутывания различных изображений.

После ввода списка производится ручная наводка системы на несколько первых элементов списка. По измеренным координатам этих изображений вычисляется матрица связи систем координат списка и фотограмметрического автомата «Зенит». Измерение остальных объектов списка происходит полностью автоматически: по матрице связи определяются координаты очередного элемента списка в системе автомата, механическая система перемещений подводит изображение в поле зрения сканирующей системы, затем алгоритм обработки осуществляет поиск изображений звезд, отбраковку «ложных» изображений по размерам и форме и определение оценок координат и звездных величин. Координаты изображений звезд переводятся в «большую» систему координат, основанную на показаниях лазерных интерферометров. Измеренные координаты в этой системе выдаются на печать в виде протокола обработки пластинки. На обработку одного изображения при использовании ЭВМ «Минск-22» затрачивается 2—3 с. Результаты обработки десяти пластинок приведены в табл. 1. Каждая пластинка содержит ряд экспозиций (от десяти до тридцати) одной и той же двойной звезды, полученных через малые интервалы времени. Так как условия съемки для всех экспозиций можно считать неизменными, стабильность расстояний между изображениями компонент двойной звезды на одной пластинке высока настолько, что она может служить критерием точности алгоритма.

В табл. 1 указаны уровень фона T , среднеквадратичное отклонение σ_T шумов (гранулярность плюс шумы сканирующей системы), среднее значение ρ измеренных расстояний между компонентами двойной звезды на данной пластинке и среднеквадратичное отклонение σ_ρ величины

Т а б л и ц а 1

ADS	Номер пластинки	T	σ_T	$\bar{\rho}$, мм	σ_ρ , мкм
10526	4546	96,07	6,79	0,2026	1,96
	4571	107,50	6,30	0,2021	2,48
	4568	101,10	6,034	0,2003	2,34
12815	3436	72,28	7,12	1,9774	2,06
	3743	64,76	7,22	1,9786	1,63
11632	3446	80,07	5,47	0,7521	1,49
	3485	87,25	5,52	0,7507	2,07
00048	3706	67,52	5,96	0,2969	1,26
	3686	53,99	5,16	0,2965	1,12
	3647	61,08	6,29	0,2962	1,32

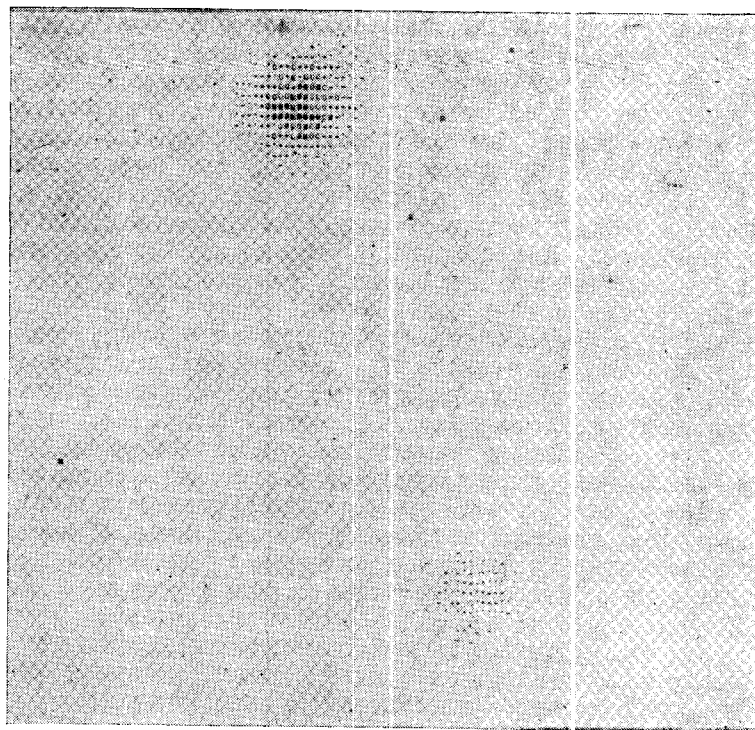


Рис. 3.

р. Значения σ_p лежат в интервале $1,12 \div 2,5$ мкм. Наибольшую точность имеют оценки координат двойной звезды ADS 00048; эти изображения достаточно контрастны. Изображения других звезд более «трудны» для обработки. На рис. 3 приведена выдача изображения ADS 11632, каким его «видит» макет фотограмметрического автомата. Изображение слабой компоненты мало контрастно, оно почти сливается с фоном. Область суммирования Ω при его обработке (см. выражение (4)) имеет размытую границу, что приводит к ухудшению точности оценки. Обработка изображений ADS 10526 затрудняется еще и близостью компонент (рис. 4).

На двух пластинках исследована зависимость точности оценок координат от порогового уровня. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 5. Кривая 1 относится к пластинке 3647, кривая 2 — к пластинке 3686. Выбор порогового уровня по формуле (18) дает для пластинки 3647 $T_{01} = 44,4$, для пластинки 3686 $T_{02} = 40,8$. Сопоставление этих значений с полученными зависимостями обнаруживает, что значения порогового уровня, определенные согласно (18), сдвинуты к уровню вуали. Это объясняется тем, что при выводе соотношения (18) не учитывается случайный характер границ области Ω . При приближении порогового уровня к вуали границы области Ω получают все большие

Таблица 2

Номер пластинки	Пороговый уровень T_0										
	20	25	30	35	40	45	48	51	54	57	60
3647	3,14	1,97	1,61	1,39	1,39	1,64	1,62	1,95	2,45	3,42	13,8
3686	4,69	1,63	1,32	1,13	1,21	2,41	2,62	2,95	—	—	—

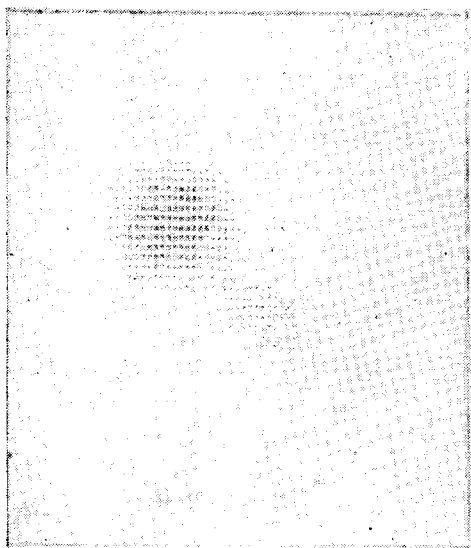


Рис. 4.

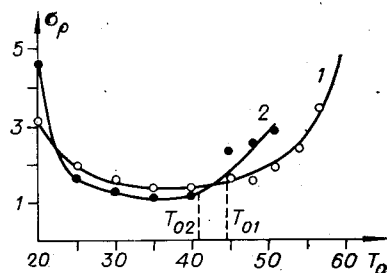


Рис. 5.

случайные колебания, что и приводит к снижению точности оценок. Более подробно этот вопрос исследуется в работе [2].

Возможность использования прибора для фотометрических измерений исследовалась измерением размеров изображений звезд 12-й и 16-й звездной величины из рассеянного звездного скопления NGC 7790. Были измерены радиусы изображений для списка звезд с известными величинами. По полученным результатам построена калибровочная кривая (рис. 6).

Результаты измерений аппроксимированы полиномом второй степени (сплошная кривая). Штриховой линией обозначены границы 95%-ного доверительного интервала. На рис. 7 изображена калибровочная кривая, построенная для того же списка звезд, но с использованием функционала (23).

Полученные результаты показывают, что калибровочная кривая, построенная по 32 звездам, позволяет определять звездные величины с точностью не хуже 0,1. Использование радиуса инерции в качестве параметра, характеризующего звездную величину, более предпочтительно перед интегралом коэффициента пропускания, так как последний

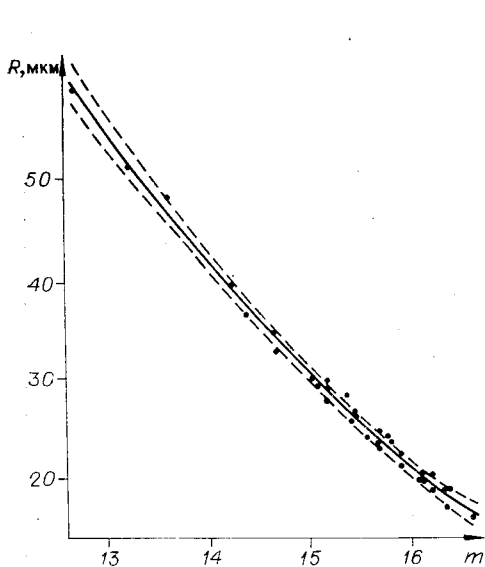


Рис. 6.

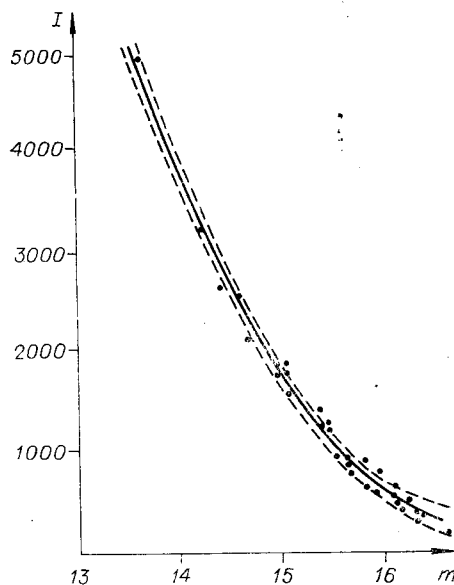


Рис. 7.

приводит к большому разбросу результатов и заметной нелинейности калибровочной кривой.

Заключение. Предварительные результаты использования макета прецизионного фотограмметрического автомата «Зенит» для решения задач фото- и астрометрии подтверждают высокие точностные параметры устройства. Структура автомата, подключенного непосредственно к ЭВМ, при наличии развитого математического обеспечения, хранилища звездного каталога и автоматического отождествления звезд снимка с каталогом [3] позволяет полностью автоматизировать фото- и астрометрические измерения. Считывание коэффициента пропускания в каждой точке дает возможность решать задачи более тонкого анализа изображений: построение эквиденсит протяженных объектов, оценивание параметров характеристической кривой фотоматериала, обработка снимков планет с компенсацией искажений, вызванных рассеянием и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е., Нестеров А. А., Пушной Б. М., Ткач С. Е., Щербаченко А. М. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.
2. Киричук В. С., Пушной Б. М., Чейдо Г. П. Построение процедур считывания изображений с выпуклыми границами.— «Автометрия», 1977, № 3, с. 65—74.
3. Воронцова Л. А., Чейдо Г. П. Алгоритм автоматического отождествления звезд снимка с каталогом.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 103—111.

Поступила в редакцию 27 декабря 1976 г.

УДК 513.06 : 621.391 : 681.3.01

**Л. А. АНДРИАНОВ, В. С. КИРИЧУК, В. Г. КОСЫХ,
Г. П. ЧЕЙДО**

(Новосибирск)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИТОГРАММ

Введение. Цитологический диагноз опухолевого заболевания представляется довольно сложной проблемой, поскольку требует выделения редко встречающихся форм клеток среди достаточно большой и неоднородной популяции [1]. Автоматизация цитофотометрических исследований в значительной степени ускоряет и повышает точность определения состава цитологических препаратов [2, 3] в тех случаях, когда классификация может быть построена на основе количественных признаков, поддающихся алгоритмическому анализу (признаки формулируются на основе параметров, измеряемых конкретным прибором).

Данная работа посвящена описанию анализа клеток системой «Зенит». Приведенные результаты отражают начальный этап поиска, направленного на разработку современных методов онкодиагностики на основе автоматического анализа цитологических препаратов.

Для анализа микрообъектов требуется высокая разрешающая способность устройства. Используя оптическую систему, переносящую растр ЭЛТ на препарат с 80-кратным уменьшением, удается получить диаметр светового пятна в плоскости препарата около 4,5 мкм. Измерения, произведенные в точках, находящихся на расстоянии, равном