

изображения, однако крутой передний фронт импульса на рис. 3 считается по очень надежно.

Из снимков видно, что зарегистрированные осциллограммы вполне «читаемы». Последующей программной обработкой можно провести их дальнейшую коррекцию (например, убрать точки, связанные с дефектами мишени, учесть влияние толщины записывающего луча).

Этот пример показывает целесообразность применения памяти растрового типа в сочетании с высокочувствительной телевизионной камерой в качестве приставки к широкополосному осциллографу для более полного использования его возможностей. Включение такой памяти в состав регистратора на основе специализированной двухсекционной осциллографической трубки с кремниевой мишенью также позволило бы улучшить характеристики регистратора при работе в предельных режимах (больше 2 ГГц), когда из-за высокой скорости записывающего луча высота потенциального рельефа на мишени находится вблизи уровня шумов [8, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. Стив Золло. Камера для преобразования аналоговых сигналов осциллографа // Электроника.— 1986.— Т. 59, № 13.
6. Денбовецкий С. В., Лещинин А. В., Семенов Т. Ф. Преобразование информации на новых запоминающих ЭЛТ.— М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Бондаренко Ю. В., Будцев В. Я., Касперович А. Н. Исследование высокочувствительной системы регистрации двумерных изображений на основе супервидикона ЛП-702 // Автометрия.— 1988.— № 2.
8. Хейес, Калтер, Хокен. Запоминающая трубка с кремниевой мишенью для исследования быстрых переходных процессов // Электроника.— 1973.— № 18.
9. Касперович А. Н., Прокопенко В. И., Фомин Э. А. Регистратор однократных процессов в диапазоне частот 1 ГГц // Труды 11 Всесоюз. конф. «Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов».— М.: ВНИИОФИ, 1983.

Поступило в редакцию 29 июля 1987 г.

УДК 681.396

В. В. ХАРИЧЕВ
(Ленинград)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЙ ЗВЕЗД НА СНИМКЕ

С появлением фотограмметрических автоматов [1] становится более актуальной задача обработки астрофотографий с целью определения положения естественных и искусственных небесных объектов, что достигается измерением на снимке координат изображений объектов и опорных звезд.

Для задачи отождествления звезд на снимке S , полученном в результате фотографирования какого-либо участка неба, со звездами из каталога K естественно использование инвариантов для преобразований движения плоскости (группа $M(2)$) и, возможно, гомотетии (группа $R_+ \times M(2)$). Параметр гомотетии привносится в процессе фотографирования самой оптической системой, и его можно исключить или даже пренебречь им [2].

Каталог K представляет собой набор конфигураций звезд (в каждой конфигурации t_r звезд) с нагрузками (вектор a_r):

$$\dim a_r = t_r.$$

Компоненты вектора нагрузок есть, например, диаметры звезд на снимке или их видимые величины. В такой постановке задача отождествления состоит в отыскании конфигурации s на снимке S :

$$k = F(s),$$

где k — одна из конфигураций звезд каталога; $F \in M(2)(R_+ \times M(2))$. Причем векторы нагрузок a и l для конфигурации точек k и s связаны соотношением

$$|a - \lambda l| < \Delta; \quad \Delta, \lambda > 0. \quad (1)$$

Число λ обусловлено разной светочувствительностью фотопластинок или фотопленок, а также временем экспозиции.

Соотношение (1) служит основой при организации поиска конфигурации s с вектором нагрузок l на снимке. Информация о видимых величинах звезд снимка по мере поступления отфильтровывается. Базой фильтра (его «лузами») служат компоненты вектора a , а именно последовательно проверяются неравенства при каждом фиксированном q :

$$|a_q - \lambda l_j| < \Delta, \quad 0 \leq q \leq t, \quad 0 \leq j \leq t_c, \quad t_c \geq t := \dim a. \quad (2)$$

Для l_j , удовлетворяющих (2), образуются конфигурации — претенденты $\{s\}$.

Для такой фильтрации метод требует выполнения условия, при котором видимые звездные величины в каталоге и уровни почернения звездных изображений на снимке были бы примерно пропорциональны по всей шкале используемых звездных величин.

Система координат на снимке не предполагается идеальной. Поэтому для окончательной идентификации конфигурации точек на снимке

$$z_j = \alpha_j + i\delta_j, \quad i^2 = -1,$$

с фиксированной конфигурацией k звезд из каталога, нагрузки (спектральные характеристики, почернения) которых удовлетворяют (2), используется полная система инвариантов относительно трехпараметрической группы преобразований $M(2)$:

$$I_p s = \sum_{j=1}^t (z_j - \bar{z})^{p+1} / t \exp(p+1)\varphi i, \quad p = \overline{1, t}, \quad (3)$$

где t — число точек в конфигурации s ; φ — угол между фиксированным вектором, привязанным к конфигурации s , и осью абсцисс на снимке; \bar{z} — геометрический центр конфигурации.

Нетрудно видеть, что (3) является описанием орбиты конфигурации s относительно группы $M(2)$:

$$O(s) = \{gz_j(s); \quad g \in M(2), \quad 0 \leq j \leq t\}.$$

Полнота системы (3) означает не что иное, как принадлежность одной орбите двух конфигураций, если у них совпадают инварианты (3) и размерность.

Орбиту конфигурации s относительно группы $R_+ \times M(2)$ полно описывает система инвариантов

$$J_p s = \sum_{j=1}^t (z_j - \bar{z})^{p+1} / t (R \exp i\varphi)^{p+1}, \quad p = \overline{1, t}, \quad (4)$$

где

$$R = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t |z_j - \bar{z}|.$$

Легко видеть, что величина R прямо пропорциональна размеру конфигурации, а φ обладает следующим свойством: при повороте конфигурации вокруг геометрического центра на угол α значение φ увеличится на $\Delta\varphi$ такое, что $\Delta\varphi \equiv \alpha \pmod{\psi}$, где ψ — наименьший положительный угол, на который можно повернуть конфигурацию вокруг \bar{z} так, чтобы она совпала сама с собой. Поэтому если сдвинуть конфигурацию так, чтобы ее геометрический центр оказался в точке O , сжать ее в R раз и повернуть на угол φ , то получится некоторая «эталонная» конфигурация $\{r_j\}_{j=1}^t = r$.

Инварианты (4) связаны с конфигурацией r следующим образом:

$$J_p = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t r_j^{p+1}, \quad p = \overline{1, t}.$$

Кроме того, $\sum_{j=1}^t r_j = 0$, так как геометрический центр конфигурации лежит в точке O . Однако два неупорядоченных набора N и M из t чисел каждый совпадают тогда и только тогда, когда $\sum_{n \in N} n^p = \sum_{m \in M} m^p$, $p = \overline{1, t}$ (см. [3]). Поэтому

$J_p(s) = J_p(k)$, $p = \overline{1, t}$, в том случае, если конфигурации k и s принадлежат одной орбите относительно $R_+ \times M(2)$.

Отметим, что можно просто получить рекуррентное описание орбит группы $M(2)$. Введем

$$I_k = ((z_1 - \bar{z})^k, \dots, (z_t - \bar{z})^k) / t \exp k\varphi i,$$

тогда $I_k = (I_k, 1)$ и рекуррентная формула вычисления инвариантов (3) будет

$$I_{k+1} = k(I_k, I_1)/(k+1).$$

Аналогичная формула имеет место для инвариантов (4).

Такой метод отождествления точечных конфигураций обладает определенной устойчивостью к ошибкам измерения координат звезд в плоскости снимка.

Если комплексное число ε_j — ошибка измерения координат точки z_j , то I_p^e — инвариант искаженной конфигурации — стремится к I_p — инварианту точно измеренной конфигурации при $|\varepsilon_j| \rightarrow 0$ (то же для (4)).

Легко выводится оценка, которая в этом убеждает:

$$|I_p^e - I_p| \leq A(p, R) \varepsilon,$$

где R — радиус точно измеренной конфигурации:

$$\varepsilon = \max_{j=1, t} |\varepsilon_j - \bar{\varepsilon}|, \quad \bar{\varepsilon} = \sum_{j=1}^t \varepsilon_j / t.$$

Таким образом, точность идентификации определяется ошибками измерения координат точек ε и нагрузок Δ . Метод не требует, чтобы координаты большинства звезд снимка имелись в каталоге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е. и др. Прецизионный фотограмметрический автомат // Автометрия. — 1974. — № 4.
2. Балодис Я. К., Лапушка К. К. Комплексная программа автоматической обработки снимков АФУ-75 на ЦВМ // Наблюдение искусственных спутников Земли. — 1974. — № 14.
3. Якубович В. А. О некоторых общих принципах построения обучающихся опознающих систем // Самообучающиеся автоматические системы. — М.: Наука, 1966.

Поступило в редакцию 7 июня 1985 г.

УДК 531.715 : 681.327

Ю. В. БАЙЦУРОВ, Ю. Г. ВАСИЛЕНКО

(Новосибирск)

ОБ УМЕНЬШЕНИИ ВЗАИМНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СМЕЩЕНИЯ ПУЧКОВ В УГЛОВЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ

В лазерных устройствах вывода изображений из ЭВМ с зеркально-механическим сканированием луча его положение на поверхности светочувствительного материала контролируется обычно с помощью углового интерферометра. Выполняется угловой интерферометр по дифференциальной схеме, в плечах которой симметрично относительно оси вращения сканирующего зеркала располагаются жестко связанные с ним угловые отражатели [1—4].

Существенным недостатком подобных схем угловых интерферометров является то, что при повороте сканирующего зеркала в общем случае наблюдается взаимное поперечное смещение интерферирующих пучков. Это приводит к снижению контраста интерференционной картины, а при фотоэлектрической регистрации к падению амплитуды выходного сигнала фотоприемника, снижению отношения сигнал/шум и в конечном счете к сужению диапазона контролируемых углов.

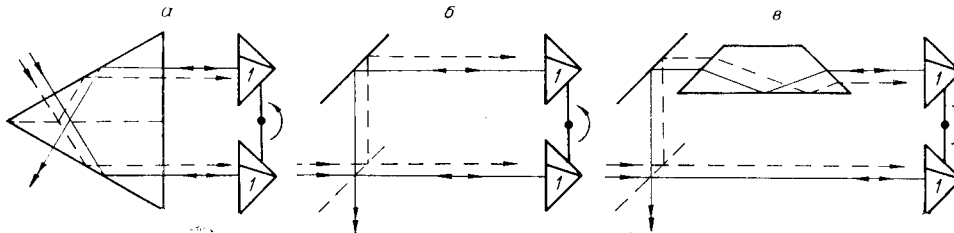


Рис. 1