

УДК 521.95

В. Н. Андрук¹, Г. А. Иванов¹, М. Т. Погорельцев², А. И. Яценко¹

¹Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
03680 ГСП Киев, ул. Академика Заболотного 27

²Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
04053 Киев, ул. Обсерваторная 3

Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звезд на пластинках программы ФОН

Исследована возможность применения сканера «Microtec Scan Maker 4» для определения астрометрических и фотометрических характеристик звезд на фотографических пластинках. После исключения систематических погрешностей сканера случайные ошибки определений положений звезд составили 0.1–0.3", звездной величины — 0.15–0.20^m.

ПРО ВИКОРИСТАННЯ СКАНЕРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ І ФОТОМЕТРІЇ ЗІР НА ПЛАТІВКАХ ПРОГРАМИ ФОН, Андрук В. М., Иванов Г. О., Погорельцев М. Т., Яценко А. І. — Досліджена можливість використання сканера «Microtek Scan Make 4» для визначення астрометричних і фотометричних характеристик зір на фотографічних платівках. Після виключення систематичних похибок сканера випадкові похибки визначення положень зір склали 0.1–0.3", зоряної величини — 0.15–0.20^m.

ON APPLICATION OF A SCANNER FOR DETERMINATION OF COORDINATES AND PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF STARS FROM THE FON PROGRAM PLATES, by Andruk V. N., Ivanov G. A., Pogorel'tsev M. T., Yatsenko A. I. — The scanner Microtek Scan Make 4 was used for the determination of astrometric and photometric characteristics of stars from photographic plates. On the elimination of the scanner systematic errors, the random errors of star positions are 0.1–0.3" and the errors of magnitude are 0.15–0.20^m.

Введение. Измерение пластинок программы ФОН [2] выполнялось с использованием АИК ПАРСЕК [1]. Ряд пластинок, а именно 0919, 0933, 0939, 0948, и 1067, из-за большой плотности вуали оказалось невозможным измерить на АИК. Поэтому в первой версии каталога ФОНАК были пропуски звезд в участках неба, достигавшие размера рабочего поля пластинки (4°×4°). Для заполнения пробелов было решено измерить эти пластинки на сканере, оборудованном насадкой для сканирования негативов. В частности, для указанных пяти пластинок было сделано по несколько

сканов на сканере «Microtek Scan Make 4» с последовательным поворотом пластинок на 90° .

Идея использования планшетных сканеров, оборудованных слайд-модулем большого формата (A3), для сканирования астронегативов не нова [3, 6]. Такие сканы предполагалось использовать для определения предварительных оценок координат и блеска объектов для размещения их в общедоступных (через интернет) базах и архивах астронегативов обсерваторий и т.п. Более того, с помощью подобных сканеров исследовались изменения блеска переменных звезд [4], при этом точность фотометрии достигала $\pm 0.05^m$. Однако сведений о точности определения положений звезд с использованием сканов астронегативов на планшетных сканерах в литературе практически нет. Ниже сделана попытка определения таких оценок для упомянутого выше сканера.

Исследование систематических погрешностей сканирования. Для определения реальной точности измерений положений звезд и звездных величин с помощью этого сканера были проведены соответствующие исследования. В качестве тестовых пластинок использовались реальные фотографические негативы. При обработке такого материала ошибки вносимые сканированием накладываются на ошибки, которые были внесены при получении пластинок и использовании опорного каталога. Следует отметить, что в результате сканирования можно получить несколько изображений одной и той же пластинки с разными размерами в пикселях и выбрать оптимальное значение разрешающей способности. Для выбора разрешающей способности сканирования применялся комплексный подход, при котором учитывался масштаб пластинки, радиусы изображений звезд в пикселях и размер исходного файла. Программное обеспечение сканера позволяет воссоздавать изображение поля астронегатива в градациях серого цвета. При сканировании передержанных пластинок сканер позволяет увеличить уровень освещения и тем самым точнее воспроизвести профиль изображения звезды. Сканирование пластинок с глубиной цвета 8 бит существенно уменьшает размер файла без искажения передачи профилей звезд.

В первую очередь была проведена оценка внутренней точности полученных результатов. Для этого одну и ту же пластинку сканировали несколько раз с поворотом на 90° , 180° , 270° и сдвигом вдоль каждой из инструментальных осей. Пластинки сканировались также с разной разрешающей способностью 600, 900 и 1200 dpi (пикселей на дюйм). Полученные относительные положения изображений переводились из значений в пикселях к положениям в миллиметрах и сравнивались между собой в инструментальной системе координат. Предварительно была определена случайная ошибка определения фотометрического центра звездных изображений. С этой целью пластинка сканировалась несколько раз без сдвига. Результатом такого сравнения является оценка точности определения фотометрических центров программой MIDAS и точности воспроизведения этих центров сканером. Полученная таким методом оценка случайных ошибок составляет от 0.001 до 0.006 мм для разных пластинок и разных режимов сканирования. При этом следует учитывать ошибку, которую вносит возможное смещение пластинки во время сканирования.

Более показательной является оценка точности определения расстояний между фотометрическими центрами. Так, расстояния должны быть инвариантными к преобразованиям смещения и поворота, что позволяет исключить случайные ошибки, возникающие из-за возможного сдвига пластинки во время сканирования и в интервалах между сканированиями. Оценка точности определения расстояний включает также и оценку точности определения фотометрических центров. Как показал анализ, между точно-

стью определения расстояния и самим расстоянием есть характерная зависимость: на расстояниях до 30—40 мм среднее значение ошибки составляет 0.002 мм и увеличивается с увеличением расстояния. Это объясняется скорее всего конструктивными особенностями планшетных сканеров.

Исследования различных сканов позволили заключить, что точность воспроизведения сканером изображений звезд и определения положений и звездных величин пакетом MIDAS близка к ± 0.002 мм и $\pm 0.01^m$ соответственно.

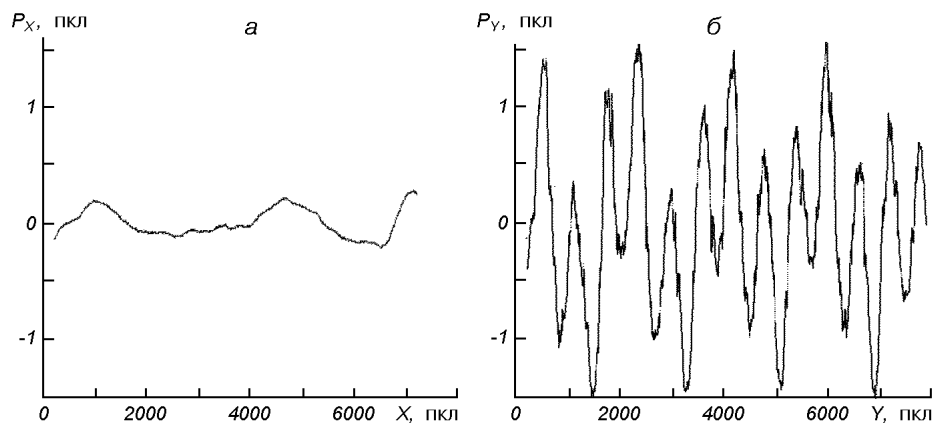
Сканирование изображений с разной разрешающей способностью не влияет на масштаб изображения, поскольку соотношение углового размера поля пластинки к ее линейным размерам в миллиметрах не изменяется. Но выбор разрешающей способности влияет на точность определения фотометрических центров, так как при разных значениях разрешающей способности изображения звезды могут иметь разные линейные размеры в пикселях. Разрешающую способность при сканировании необходимо подбирать в зависимости от особенностей каждой пластинки. Для пластинок, на которых проводилось исследование, оптимальным значением разрешающей способности было определено значение 900 dpi, что отвечает размеру пикселя 0.027 мм, или 2.8".

Предварительный этап обработки сканов. Оцифрованные изображения звездных полей в виде FITS-файлов обрабатывали в программной среде LINUX/MIDAS/ROMAFOT [5] для получения прямоугольных координат X , Y и инструментальных звездных величин объектов. В фотометрическом пакете ROMAFOT предварительно были изменены форматы передачи данных, кадры изображений больших размеров (более 2500×2500 пкл и до 7200×9000 пкл) обрабатывались по частям, т. е. с разбиением на полосы. В пакете MIDAS для исключения фотометрической ошибки поля звездных величин использовался метод коррекции виньетированной составляющей плоского поля кадра изображения. Для ярких звезд (передержанной части характеристической кривой) добавлялись сосчитанные соответствующим образом недостающие колоколообразные вершины. Предварительно подготовленный таким образом кадр изображения дальше обрабатывался в фотометрическом пакете ROMAFOT с заданными параметрами для получения астрометрических и фотометрических характеристик обнаруженных объектов, вплоть до слабейших. Для ROMAFOT был выбран автоматический режим, когда с кадром изображений выполнялись следующие операции: фильтрация, поиск объектов, определение инструментальных положений и звездных величин. Прямоугольные координаты, звездные величины и другие характеристики объектов фиксировались с точностью 0.001 пкл. Следует отметить важность этого этапа работы, поскольку от качества обработки зависит точность измеренных координат, их фотометрических характеристик и возможность правильного отождествления объектов с опорным каталогом.

Окончательный этап обработки сканов. Отождествление измеренных координат с данными каталога «Tycho-2» выполнялось по самым ярким объектам (20—30 звезд) обоих списков, для чего данные предварительно сортировались по фотометрическим данным. При отождествлении априори задавалась окрестность, в которой сравнивались координаты списков. Размер этой окрестности выбирался таким, чтобы он превышал возможное влияние на разности координат случайных и систематических погрешностей сканера и метода вычисления измеренных координат изображений.

После отождествления для каждого скана данной пластинки создавался файл опорных объектов, который содержал измеренные и идеальные координаты, найденные с использованием опорного катала («Tycho-2») на эпоху

наблюдений. В дальнейшем обработка состояла из нескольких этапов редукции. На первом из них между идеальными и измеренными координатами устанавливали линейную связь и определяли невязки решения условных уравнений. По этим невязкам строили зависимость различий идеальных и измеренных координат от измеренных. Эта зависимость давала первое приближение поправок за инструментальные погрешности сканера. Зависимость строили с использованием метода сглаживания экспериментальной кривой по восьми точкам (это число было подобрано экспериментально). Исправив измеренные координаты за найденные погрешности, проводили уточнение опорного списка объектов и повторное отождествление с уменьшением размера окрестности до 3σ уточненных различий координат в двух системах. При этом количество опорных объектов увеличивалось практически до величины выборки из опорного каталога на исследуемую область. Далее проводилась редукция измеренных координат с использованием модели, аналогичной редукции измерений на АИК ПАРСЕК. Найденные на этом этапе невязки решения опорной системы уравнений по координатам X и Y сохраняются для дальнейшего использования при исследовании постоянства инструментальных погрешностей сканера и их уточнении по большому количеству данных.



Ход инструментальных погрешностей сканера для координат X (а) и Y (б), полученный по восьми сканам двух пластинок

Оказалось, что инструментальные погрешности сканера имеют вид зависимостей $\Delta X = \xi - X$ от X и $\Delta Y = \eta - Y$ от Y . На рисунке приведен ход инструментальных погрешностей сканера, найденный по невязкам решения уравнений окончательной редукции измеренных координат.

Видно, что размах погрешностей составляет около ± 0.3 пкл по X (± 0.008 мм) и достигает ± 1.5 пкл по Y (± 0.040 мм). Сравнение инструментальных погрешностей по разным сканам разных пластинок показало, что они практически совпадают между собой. Различия значений погрешностей по координатам X и Y , возможно, объясняется разной для них разрешающей способностью прибора, заявленной производителем. Может также сказываться и метод формирования изображения, поскольку по одной из координат (Y) движется сканирующее устройство. Периодический характер различий можно объяснить неравномерным движением этого устройства или недостаточной синхронизацией движения с работой оцифровывающего устройства. Нами были найдены инструментальные погрешности сканера по

восьми сканам (две пластинки сканировались четыре раза с последовательным поворотом на 90°).

После определения и учета систематических погрешностей сканера случайные ошибки определения координаты X составили около 0.002 — 0.003 мм, а по координате Y — 0.003 — 0.004 мм и зависят от качества пластинки и предшествующей обработки. Точность фотометрии составила около 0.2^m . Усреднение результатов нескольких сканов уменьшило погрешность приблизительно в 1.5 раза, так что конечная точность составила около 0.002 мм в координатах ($0.2''$).

Итак, если использовать достаточно качественный хорошо исследованный сканер и выполнить совместную обработку сканов, полученных при разных положениях пластинки, можно достичь номинальной точности измерительного комплекса ПАРСЕК (1-2 мкм). Использование такой методики дает возможность реализовать программу ФОН в полном объеме, т. е.:

- на одном или на нескольких однотипных сканерах будут отсканированы все пластинки, полученные на разных обсерваториях, принимавших участие в программе ФОН;
- будут отсканированы полные поля пластинок ($8 \times 8^\circ$ и $5 \times 5^\circ$), а не поле $4 \times 4^\circ$, которое измерялось при создании каталога ФОНАК;
- все сканы будут обработаны с помощью одинаковой методики, что даст возможность в дальнейшем применить метод перекрывающихся пластинок.

Эту перспективу необходимо исследовать более детально, получив и обработав сканы астронегативов программы ФОН на других (более современных) типах сканеров и доведя погрешность измерений координат и фотометрии до минимально возможной.

1. Быстров Н. Ф., Сергеев А. В., Сергеева Т. П. Результаты измерений астронегативов на автоматической измерительной машине ПАРСЕК // Кинематика и физика небес. тел.—1989.—5, № 2.—С. 70—72.
2. Кислюк В. С., Яценко А. И., Иванов Г. А. и др. ФОНАК: астрографический каталог программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 6.—С. 483—496.
3. Сергеев А. В. Измерение астрофотографий: от ИАНИ «ПАРСЕК» к ... «Звездочету» // Роль наземной астрометрии в «Post-HIPPARCOS» период: Тез. доп. Николаїв, 9—12 вересня 1996 р. — Николаїв, 1996.—С. 34—35.
4. Innis J. L., Borisova A. P., Coates D. W., Tsvetkov M. K. Archival light curves from the Bamberg Sky Patrol: CF Octantis, 1964—76 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2004.—355, N 2.—P. 591—600.
5. MIDAS User Guide. European Southern Observatory — Image Processing Group. — Garching, ESO, 1994.—Vol. A, B, C.
6. Tsvetkov M. K., Stavrev K. Y., Tsvetkova K. P., et al. The wide-field plate database: new development and applications // Newsletter.—1998.—10, N 1.—P. 10—16.

Поступила в редакцию 18.04.05