

ОБРАБОТКА ПЗС-КАДРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗДНЫХ ПОЛЕЙ В ПАКЕТЕ MIDAS/ROMAFOT

В. Н. Андрук¹, Г. З. Бутенко², Ю. Н. Иващенко³

© 2003

¹ Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: andruk@mao.kiev.ua

² Международный центр астрономических и медико-экологических исследований
ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина
e-mail: butenko@mao.kiev.ua

³ Андрушевская астрономическая обсерватория Украинской астрономической ассоциации
ул. Обсерваторная, 7, с. Гальчин, Андрушевский район, 13400 Житомирская обл., Украина
e-mail: aao@gluk.org

Для обработки наблюдательного материала, полученного с помощью ПЗС-камеры S1C-017, установленной на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории, предложен новый метод коррекции плоского поля. Метод основан на выделении крупномасштабной пространственной огибающей собственного плоского поля из кадра изображения. Вспомогательный кадр плоского поля системы телескоп + матрица не используется. Описана процедура предварительной обработки кадров изображений звездных полей в пакете MIDAS. Ошибка данного метода для определения положений объектов составляет несколько сотых угловой секунды.

PROCESSING OF CCD IMAGES OF STAR FIELDS USING THE MIDAS/ROMAFOT SOFTWARE PACKAGE, by Andruk V. N., Butenko G. Z., Ivashchenko Yu. N. – We suggest a new procedure to take into account the flat-field effect based on compensating for the gradient and local irregularities of the image background. It was tested by reducing numerous CCD images taken with the S1C-017 camera and the Zeiss-600 astrograph of Andrushivka Astronomical Observatory (observatory code A50). No auxiliary flat-field image is used. The MIDAS software package is described for preliminary reduction of stellar images. The rms method error of determination of single position is several arc sec.

ВВЕДЕНИЕ

В январе 2002 г. на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории ($\lambda = 50^{\circ}00'02.0''$, $\varphi = 28^{\circ}59'50.3''$, $h = 240$ м) установлена цифровая телевизионная ФПЗС-камера S1C-017 производства ГУП НПП “Электрон Оптроник”, г. Санкт-Петербург, Россия. В таблице приведены технические характеристики телескопа и ПЗС-камеры.

Zeiss-600 [4]		ПЗС-камера [6]	
Оптическая система	Кассегрен	Размер матрицы (пкл)	1024 × 1024
Диаметр главного зеркала	600 мм	Размер пикселя (мкм)	16 × 16
Фокусное расстояние главного зеркала	2400 мм	Поле камеры (')	8 × 8
Эквивалентное фокусное расстояние	7400 мм	Число секунд дуги в 1 пкл	0.44
Масштаб	28"/мм	Максимальное охлаждение	$T = -35^{\circ} \text{C}$
Предельная звездная величина системы телескоп +	ПЗС-камера		21 ^m

Круг некоторых наблюдательных задач предполагает эксплуатацию приемника излучения для регистрации предельно слабых объектов $V = 20\text{--}21^m$. Данная работа посвящена альтернативному (без отдельного экспонирования кадров с плоским полем FF) учету и исключению фотометрических искажений, связанных с неравномерностью чувствительности и регистрации тракта приемника по полю кадра изображения. Используется факт наличия собственного плоского поля в каждом ПЗС-кадре изображения звездного поля. Предлагаемый метод основан на выделении

пространственной огибающей собственного ФФ с последующим вычитанием его из кадра изображения. Такой подход к коррекции кадров изображений обусловлен следующими объективными причинами. Главная причина – для регистрации предельно слабых звезд $V = 21-22^m$ с матрицей S1C-017 необходимы экспозиции до десятков минут, что приводит к предельно высокому накоплению заряда от фона неба. При считывании большого заряда при температуре охлаждения приемника $T = -35^\circ \text{C}$ происходит разогрев значительного участка матрицы в месте стока заряда. На практике происходит дополнительное фотометрическое искажение (повышение уровня интенсивности). Его не удастся корректно учесть даже при использовании кадров ФФ с экспозицией равной (или большей) времени накопления для кадра изображения. После операции учета плоского поля по общепринятому правилу уровень фона по кадру не становится плоскоравномерным. Это и стало причиной поиска другого, пусть и с ограничениями, способа крупномасштабной фотометрической коррекции ПЗС-кадров изображений звездных полей.

ОБРАБОТКА ПЗС-ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАДРОВ С ПЛОСКИМ ПОЛЕМ

Последовательность обработки ПЗС-кадра с изображением звездного поля без операции обычного вычитания плоского поля продемонстрируем на кадре, полученном 21/22 мая 2002 г. на телескопе Zeiss-600 Андрушевской астрономической обсерватории с камерой S1C-017. На кадре сфотографирована область окрестности скопления M13 (NGC 6205) с фотозлектрическими стандартами в UBV системе (кадр по журналу наблюдений – 21m1303.tif, экспозиция – 600 с), что позволяет определить зарегистрированную предельную звездную величину приемником (телескоп Zeiss-600 + ПЗС-камера S1C-017) в интегральном свете для астропункта с. Гальчин Андрушевской АО. Для удобства демонстрации операций с преобразованием ПЗС-кадра интенсивности I нормированы на среднее значение этой величины (под интенсивностью I подразумеваем численное значение зарегистрированного накопленного заряда в каждом элементе изображения).

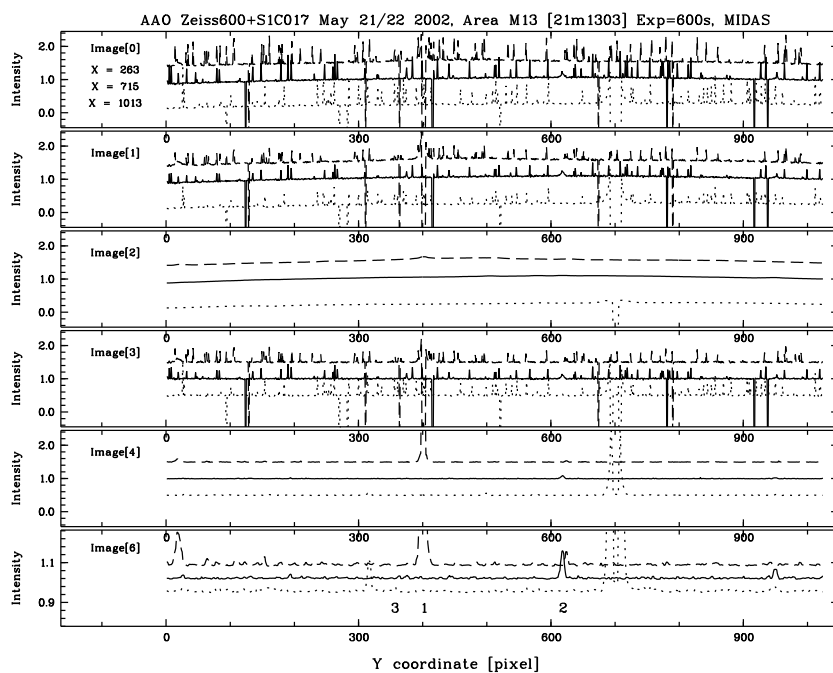


Рис. 1. Фотометрические разрезы для последовательностей обработки кадра изображения звездного поля без использования кадра плоского поля в пакете MIDAS

Рассмотрим рис. 1. В верхнем ряду для сырого кадра Image{0} показаны три разреза по координате Y интенсивности I . Разрезы сделаны через центры звезд ($X = 263, 715$ и 1013 пкл, обозначены штриховой, непрерывной и точечной линиями соответственно; первый и третий разрезы смещены на 0.5 делений нормированной величины интенсивности), которые на рис. 1 и рис. 2 обозначены как 1, 2, 3. Фотозлектрические величины звезд в V системе соответственно равны $14.52^m, 17.48^m$ и 20.45^m [3].

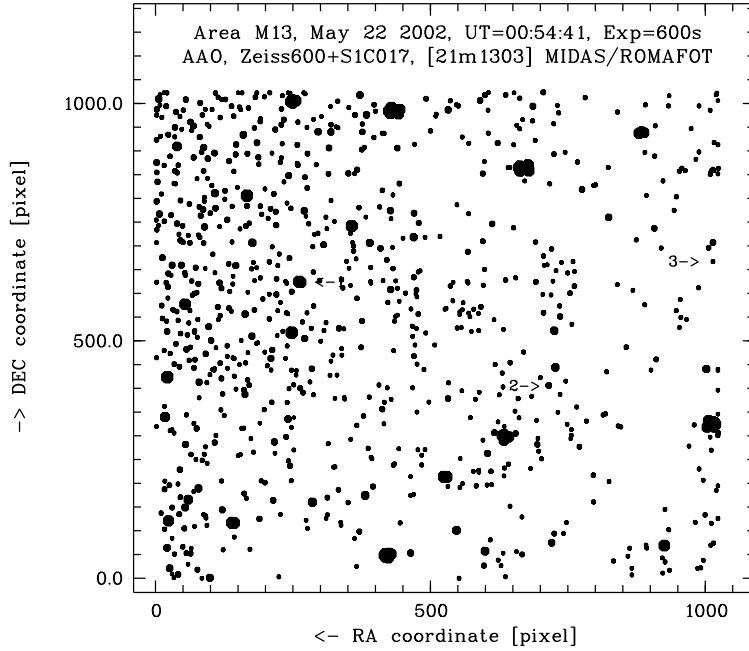


Рис. 2. Карта области неба в окрестности скопления М13, полученная при обработке ПЗС-кадра изображения в пакете MIDAS/ROMAFOT без использования кадра плоского поля. Кадр получен в Андрушевской АО на телескопе Zeiss-600 с ФПЗС-матрицей S1C-017 21/22 мая 2002 г., экспозиция – 600 с

Для демонстрационного кадра характерно незначительное количество элементов с отрицательным значением интенсивности (что не характерно для экспозиций с большим временем накопления) и приемлемое количество горячих элементов. Выпуклая кривизна линий разрезов обусловлена влиянием плоского поля приемника. Во втором ряду рис. 1 показаны разрезы рабочего кадра Image{1} после операции вычитания кадра темнового тока из кадра Image{0}. Визуально заметно понижение уровня интенсивности горячих элементов, прочих значимых изменений не произошло, что естественно. Теперь над кадром Image{1} сделаем операцию, которая позволит выделить пространственную огибающую плоского поля. В пакете MIDAS при помощи программы FILTER/MEDIAN получим сильно сглаженное изображение Image{2} [5]. Окно сглаживания $R = 11$ пкл был подобран эмпирически (в общем случае чем больше окно сглаживания – тем лучше), при этом в преобразованном рабочем кадре не происходит значительная потеря предельно слабых объектов. Итак, операция

$$\text{FILTER/MEDIAN Image}\{1\} \text{ Image}\{2\} R,R \quad (1)$$

позволяет получить кадр Image{2}, в котором есть информация о крупномасштабной структуре плоского поля для конкретного кадра изображения звездного поля. После обязательной операции нормирования кадра Image{2} результаты показаны в третьем ряду рис. 1. Теперь сделаем операцию вычитания нормированного плоского поля Image{2} из кадра изображения Image{1}:

$$\text{Image}\{3\} = \text{Image}\{1\} / \text{Image}\{2\}. \quad (2)$$

Результат демонстрируется в четвертом ряду рис. 1. Кадр Image{3} в деталях подобен кадру Image{1}, но теперь крупномасштабной фотометрической неравномерности по полю кадра изображения нет. Неравномерность интенсивности за счет горячих элементов (высокочастотная помеха) устраняется операцией вида (1) с окном сглаживания 3 пкл ($R = 1$):

$$\text{FILTER/MEDIAN Image}\{3\} \text{ Image}\{4\} 1,1. \quad (3)$$

В пятом ряду рис. 1 видно, что разрезы интенсивности I имеют вид прямых линий, на фоне которых выделяются колоколоподобные кривые от звезд. В шкале исходных единиц интенсивности звезда 1 ($Y = 401$) выделяется очень хорошо, звезда 2 ($Y = 618$) – заметно, а звезда 3 ($Y = 356$) – не видна. Для повышения контрастности изображения сделаем следующее. Используя операторы MIDAS, образуем кадр Image{5}:

$$\text{Image}\{5\} = \text{LOG}_{10}(\text{Image}\{4\}) / \text{SQRT}(\text{Image}\{4\}). \quad (4)$$

Масштабный двумерный множитель изменения интенсивности k , который определяется выражением (4), используем для получения контрастного кадра $\text{Image}\{6\}$:

$$\text{Image}\{6\} = k \times \text{Image}\{4\}. \quad (5)$$

Подробнее процедура повышения контрастности отдельных объектов на ПЗС-кадре описана в работе [2]. После процедуры вида (3) над кадром $\text{Image}\{6\}$ окончательный результат представлен в нижнем ряду рис. 1 (масштаб интенсивностей увеличен). Последующая операция обычного усреднения с окном сглаживания 3 пкл позволяет учесть индивидуальную погрешность чувствительности каждого элемента. Конечно, объекты $V = 20\text{--}21^m$ (звезда 3) слабо выделяются на общем фоне, но все-таки они уже пригодны для обработки в фотометрическом пакете ROMAFOT с целью определения их координат и звездных величин. Редукция инструментальных фотометрических величин ROMAFOT в шкалу звездных величин какой-либо системы ($UBVR$ и т.п.) должна производиться с учетом операций вида (4) и (5), которые изменяют масштаб интенсивностей с целью выделения слабых объектов на уровне помех.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и успешно применяется на практике в пакете MIDAS метод обработки (получения) кадров изображений с выровненным звездным полем (не отягощенных неравномерностью чувствительности и регистрации телескоп + ПЗС-приемник) без использования специально экспонированного кадра плоского поля. Описанный способ нетрадиционного учета плоского поля в ПЗС-кадрах может применяться в широко распространенных программных пакетах (Astrometrica, IRIS), где есть элементарные операции (вычитание, умножение, деление) и программа медианной фильтрации. К достоинствам данного метода относится и автоматическое удаление помех-засветок от ярких источников на небе (вычитается крупномасштабная пространственная огибающая экспонированного кадра), что позволяет не только уверенно выделять слабые объекты на фоне ярких, но и получать их реальные фотометрические величины. Данный метод неэффективен при фотометрии протяженных объектов. Но если увеличить окно сглаживания в несколько раз в процедуре вида (1), то для случая слабых протяженных объектов это приведет к приемлемому результату. Еще лучше для процедуры вида (1) использовать вспомогательный кадр с экспозицией на порядок короче, чем для основного, рабочего кадра. Если на рабочем кадре нет фотометрических стандартов, то для фотометрии объектов посредством использования информации об экстинкции необходимо получать вспомогательные кадры с короткой экспозицией для областей со стандартами и кадры в исследуемой области неба. То есть, для обширного круга задач по определению координат и фотометрических величин звездоподобных объектов этот метод пригоден. Отметим, что внутренняя ошибка определения положения данного метода для приемника излучения (телескоп + матрица) Андрушевской АО составляет $0.035''$ и $0.042''$ для экспозиции 10 и 60 с соответственно, что является хорошим результатом [1].

- [1] Андрук В. М., Парусімов В. Г., Дудник Т. Б. Досвід цифрової обробки зображень зоряних полів у програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.—1999.—№ 1.—С. 100–103.
- [2] Бутенко Г. З., Кузнецов В. И., Снежко Л. И. Исследование оптики 2-м телескопа в фокусе Кассегрена на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 6.—С. 543–556.
- [3] Казанасмас М. С., Завершнева Л. А., Томак Л. Ф. Атлас и каталог звездных величин фотозлектрических стандартов.—Киев: Наук. думка, 1981.—220 с.
- [4] Cassegrain-Spiegelteleskop 600/2400/7500, Carl Zeiss JENA, DDR.
- [5] European Southern Observatory – Image Processing Group 1994, MIDAS Users Guide, Volume A, B and C, ESO, Garching.
- [6] Vishnevsky G. I., Galyatkin I. A., Dalinenko I. N., et al. Scientific and technical collaboration between Russian and Ukrainian author collectives on the development of astronomical instruments equipped with the advanced detection devices // Astron. and Astrophys. Transactions.—2002.—in press.