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

В. Н. Андрук[1], **Г. З. Бутенко**[2], **Ю. Н. Иващенко**[3]

[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 ($\lambda = 50°00'02.0''$, $\varphi = 28°59'50.3''$, $h = 240$ 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	$T = -35°$ C
Предельная звездная величина системы телескоп + ПЗС-камера			21^m

Круг некоторых наблюдательных задач предполагает эксплуатацию приемника излучения для регистрации предельно слабых объектов $V = 20$–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 FF 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 $T = –35°$ C происходит разогрев значительного участка матрицы в месте стока заряда. На практике происходит дополнительное фотометрическое искажение (повышение уровня интенсивности). Его не удается корректно учесть даже при использовании кадров FF 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 окресности скопления M 13 (NGC 6205) с фотоэлектрическими стандартами в UBV системе (кадр по журналу наблюдений – 21м1303.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).

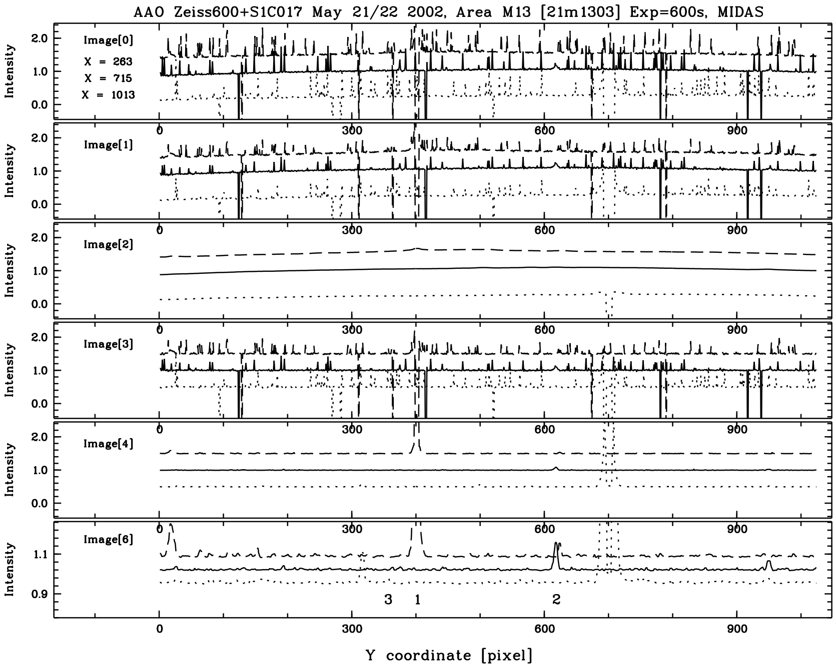

Рис. 1. Фотометрические разрезы для последовательностей обработки кадра изображения звездного поля без использования кадра плоского поля в пакете MIDAS

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. Фотоэлектрические величины звезд в V системе соответственно равны 14.52^m, 17.48^m и 20.45^m [3].

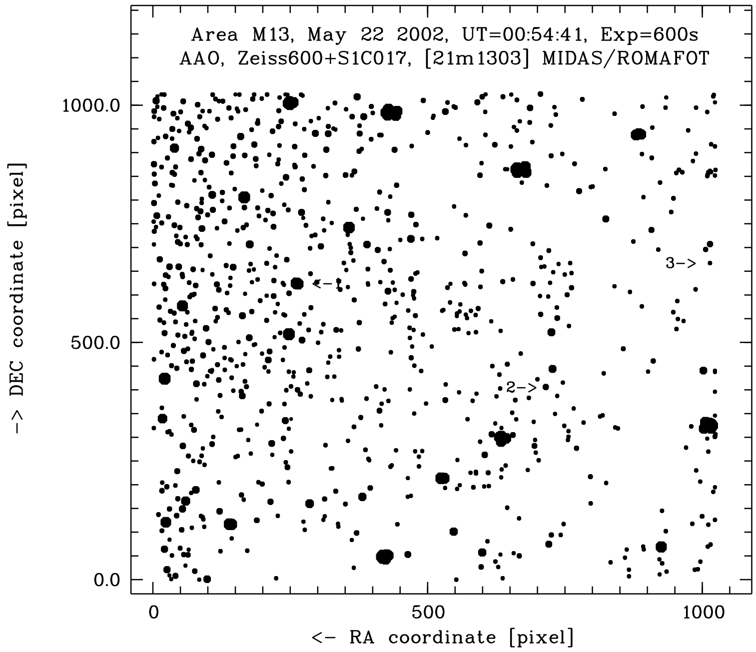

Рис. 2. Карта области неба в окрестности скопления M13, полученная при обработке ПЗС-кадра изображения в пакете MIDAS/ROMAFOT без использования кадра плоского поля. Кадр получен в Андрушевской АО на телескопе Zeiss-600 с ФПЗС-матрицей S1C-017 21/22 мая 2002 г., экспозиция – 600 с

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 сглаживаия – тем лучше), при этом в преобразованном рабочем кадре не происходит значительная потеря предельно слабых объектов. Итак, операция

FILTER/MEDIAN Image{1} Image{2} R,R (1)

позволяет получить кадр Image{2}, в котором есть информация о крупномасшабной 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}:

Image{3} = Image{1} / Image{2}. (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 ($R = 1$):

FILTER/MEDIAN Image{3} Image{4} 1,1. (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}:

Image{5}=LOG10(Image{4})/SQRT(Image{4}). (4)

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

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

Подробнее процедура повышения контрастности отдельных объектов на ПЗС-кадре описана в работе [2]. После процедуры вида (3) над кадром 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 $V = 20$–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 фотоэлектрических 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 Ukranian author collectives on the development of astronomical instruments equipped with the advanced detection devices // Astron. and Astrophys. Transactions.–2002.–in press.