

Основы обработки съемок объектов дальнего космоса в программе IRIS

Оглавление

Оглавление	1
1. Введение	2
2. Несколько необходимых замечаний	2
3. Немного теории	3
4. Установка программы	4
5. Подготовка к работе	7
6. Как быстро посмотреть содержащееся в RAW-файле изображение?	9
7. Первые этапы обработки	12
7.1. Преобразование группы изображений из формата RAW	12
7.2. Получение карты тока смещения (master offset map)	14
7.3. Получение карты темного тока (master dark frame)	15
7.4. Создание списка «горячих» пикселей	16
7.5. Получение карты плоского поля (master flat-field)	17
7.6. Что делать, если	18
7.6.1. ... не были сняты снимки тока смещения?	18
7.6.2. ... не были сняты снимки плоского поля?	19
7.7. Предобработка	19
8. Завершающие этапы	20
8.1. Преобразование из CFA в RGB формат	20
8.2. Автоматическое совмещение 48-битных RGB изображений	21
8.3. Сложение изображений	24
8.4. Коррекция цветового баланса	29
8.5. «Выравнивание» фона неба	29
9. Сохранение полученного результата	30

1. Введение

Программа IRIS представляет собой универсальный, свободно распространяемый, регулярно обновляемый автором программный продукт, предназначенный для обработки любительских астрономических снимков – как объектов солнечной системы, так и объектов дальнего космоса (deep-sky). Программу можно бесплатно загрузить воспользовавшись ссылкой – <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>. На этом же сайте можно найти описание методов работы с программой на французском и английском языках. Скорее всего, из-за того, что автор программы – француз, наиболее полно программа описана именно на французском языке. Одной из особенностей программы является то, что максимальное количество заложенных автором возможностей становятся доступными при работе во внутренней командной строке программы (список команд версии 5.00 можно найти по адресу http://www.astrosurf.com/buil/iris/nav_pane/CommandsFrame.html).

Во время начала работы автора этого текста над данным описанием новейшей являлась версия 5.34. Именно на ее примере здесь будут изложены основы работы с программой.

Итак, вот какие возможности заложены в IRIS:

- Работа с графическими форматами FITS, BMP, JPEG, TIFF, PNG;
- Работа с RAW-форматами большинства цифровых фотоаппаратов (CRW, CR2, NEF, PEF, MRW, RAF, ORF, THM, X3F);
- Работа с несжатыми AVI-файлами;
- Управление некоторыми видами ПЗС-камер;
- Автогидирование;
- Геометрические преобразования изображений и подавление проявлений атмосферной турбулентности;
- Автоматическая и ручная обработка съемок планет и дальнего космоса (deep-sky);
- Автоматическая и ручная работа с dark frame и flat field;
- Оценка качества, сортировка, совмещение и сложение множества кадров, полученных во время съемок, как планет, так и звездных полей;
- Фурье-анализ и фильтрация;
- Вейвлет-обработка;
- Подавление шумов;
- Деконволюция (восстановление) изображения;
- Работа со звездными каталогами, астро- и фотометрия;
- Картографирование планет.

IRIS можно рассматривать как неплохую альтернативу известной программе Registax в случае обработки снимков планет, а так же программам MaxIm DL, Registar и т.п. в случае обработки снимков объектов дальнего космоса.

2. Несколько необходимых замечаний

Данное описание основано на текстах-инструкциях, опубликованных автором программы на сайте – местами это перевод, местами интерпретация. Оно не претендует на всеобъемлющее описание программы, способов работы с ней, методов обработки астрономических изображений и принципов, лежащих в основе получения цифровых снимков. Основы работы с IRIS будут описаны на примере обработки снимков шарового скопления М4, полученных автором данного текста совместно с Александром Мереминским в Кемере (Турция) во время поездки с целью наблюдения солнечного затмения 29 марта 2006 г. Снимки сделаны фотоаппаратом Canon 300D через телескоп Synta SkyWatcher 80ED, установленном на монтировке

Synta HEQ-5. Гидирование осуществлялось с помощью веб-камеры Philips TuCam 740 через телескоп Synta SkyWatcher 709 с помощью программы ProGuider 1.

3. Немного теории

Если цифровой фотоаппарат способен сохранять снимки в формате JPEG или TIFF и в формате RAW, то именно использование последнего позволит получить наилучшие фотографии астрономических объектов. Этому есть, по крайней мере, три основные причины:

- 1) снимки в формате RAW не подвергаются никаким серьезным преобразованиям, приводящим к потере информации. В то время как от формат JPEG является форматом сохранения данных с потерей мелких малоконтрастных деталей. В случае астрофотографии обычно приходится иметь дело именно с такими деталями.
- 2) Программное обеспечение цифровых фотоаппаратов при сохранении снимка в формате RAW отводят по 10, 12 или 14 бит на пиксель, в то время как при сохранении в форматы JPEG и TIFF ограничиваются только 8 битами динамического цветового пространства (хотя, формат TIFF позволяет отводить и 16 бит на цветовой канал на пиксель). Сохранение информации о цвете с помощью 8-ми бит, позволяет различить до 256 оттенков данного цвета. Использование же 12-ти бит, позволяет описать до 4096 оттенков.
- 3) Параметры съемки хорошо фиксируются в формате RAW, гарантируя получение воспроизводимых результатов, в то время как, при сохранении изображений в форматах JPEG или TIFF, процессоры цифровых камер делают большое количество преобразований данных, что сильно затрудняет дальнейшее серьезное их использование.

Во время длительных экспозиций на получаемый результат влияют следующие искажающие факторы:

- 1) во время экспозиции, к сигналу от наблюдаемого объекта добавляется сигнал, возникающий из-за тепловых эффектов в примесях и неоднородностях материалов, входящих в состав матрицы. Проявление этого темнового тока (назван так из-за того, что проявляется даже тогда, когда матрица находится в полной темноте) заключается в понижении отношения сигнал/шум на изображении. Темновой ток имеет сильную зависимость от температуры матрицы и чтобы свести к минимуму его влияние, ее нужно охладить. Охлаждение матрицы до -50°C позволяет практически полностью избежать его влияния. С темновым током связаны следующие два эффекта:
 - Шум считывания – флуктуации считываемого из пикселей матрицы накопленного под действием фотонов заряда. Есть только один способ избавиться от влияния шума считывания – это сделать несколько экспозиций одного и того же объекта, а затем усреднить их.
 - Пространственный шум – возникает из-за того, что каждый пиксель матрицы по-разному реагирует на темновой ток. Этот тип шума проявляется как неоднородность полученного с матрицы сырого изображения. Эта неодинаковая чувствительность к темновому току мало изменяется от экспозиции к экспозиции. Поэтому можно построить массив данных, корректирующих неоднородность. Такой массив данных в англоязычной литературе называется «картой темнового тока» (dark current map). Его можно получить из усреднения нескольких (обычно ~ 10) снимков, полученных с длительной экспозицией, в полной темноте, при постоянной температуре.

- 2) Так же к полезному сигналу добавляется ток смещения, практически не зависящий от времени накопления сигнала и температуры матрицы. Ток смещения возникает из-за характеристик усилителей и прочих электронных компонентов, обеспечивающих работу камеры. Влияние тока смещения может быть легко исключено из рассмотрения путем вычитания массива данных, называемого в англоязычной литературе «картой тока смещения» (offset map). Карта тока смещения получается усреднением нескольких снимков, полученных в полной темноте с минимально возможной экспозицией.
- 3) Не все пиксели матрицы имеют одинаковую чувствительность к свету. Поэтому, даже если детектор освещен однородным светом, полученное камерой изображение не обязательно будет однородным. Так же как и в случае темнового тока, в этом случае понижается отношение сигнал/шум и затрудняется применение полученных данных для фотометрии. Кроме этого, распределение освещенности в фокальной плоскости телескопа не бывает однородным из-за виньетирования или присутствия пыли на пути лучей света. Это так же приводит к неоднородности получаемого изображения. Эти эффекты могут быть скорректированы путем деления полученного изображения на, так называемое, «плоское поле» (flat-field image). Плоское поле можно получить, например, в сумерках, когда небо все еще достаточно яркое для получения приемлемого по уровню сигнала в течение короткого времени экспозиции (~1 секунды). Не должно быть слишком темно, чтобы не пришлось делать длительных экспозиций, приводящих к нежелательной проработке звезд на снимке.

Описываемые далее первые этапы процесса обработки изображений призваны свести к минимуму влияние всех этих эффектов. Эти первые этапы названы *предобработкой*.

4. Установка программы

С домашней страницы программы нужно скачать архив в формате ZIP, содержащий все необходимые файлы для нормальной ее установки на компьютер. Этот архив нужно распаковать во временную директорию и запустить файл **setup.exe**. После чего на экране появится предложение пользователю указать, куда будет установлена программа ([Рис. 1.](#)). По умолчанию программа будет установлена в директорию `c:\iris`. Нажав кнопку **Browse**, можно указать любую другую директорию ([Рис. 2.](#)). В появившемся окне с заголовком **Choose Directory** нет специальной кнопки для создания новой поддиректории внутри выбранной. Но, как показано на [Рис. 2.](#) в строку `Path` можно вписать любой сложности путь к директории, в которую нужно установить программу. После того, как путь введен и нажата кнопка **Ok**, на экране появится сообщение ([Рис. 3.](#)) о том, что выбранная директория не существует, и вопросом, хочет ли пользователь ее создать? Нажатием кнопки **Yes** подтверждаем создание директории и продолжаем установку программы нажатием кнопки **Next >**. На экране появится окно, озаглавленное **Select Program Folder** ([Рис. 4.](#)). В этом окне можно выбрать, где в списке установленных программ появится иконка запуска IRIS ([Рис. 5.](#)). Когда выбрано, где появится иконка программы, нажимаем **Next >** и продолжаем процесс. Когда все файлы скопированы, на экране появится сообщение об успешном окончании установки ([Рис. 6.](#)).

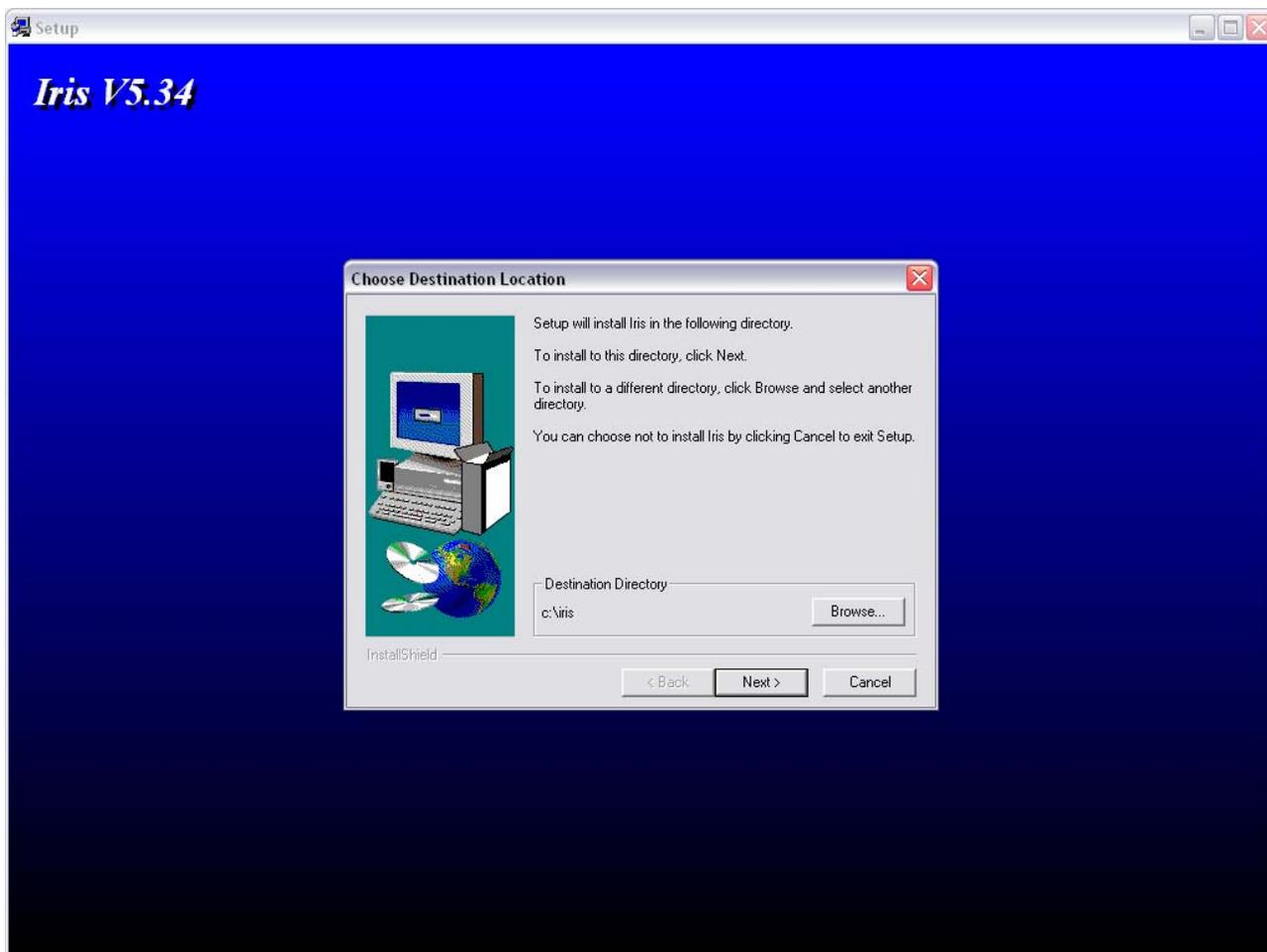


Рис. 1. Начало установки программы



Рис. 2. Программа будет установлена в директорию c:\program files\astronomy\iris.

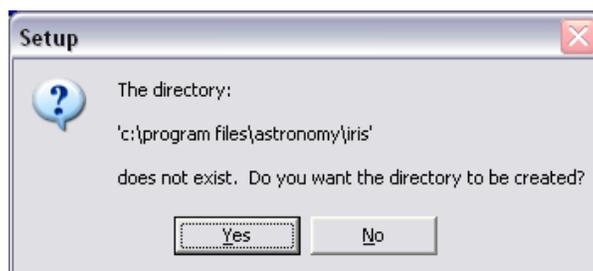


Рис. 3. Нужно ли создавать несуществующую директорию?

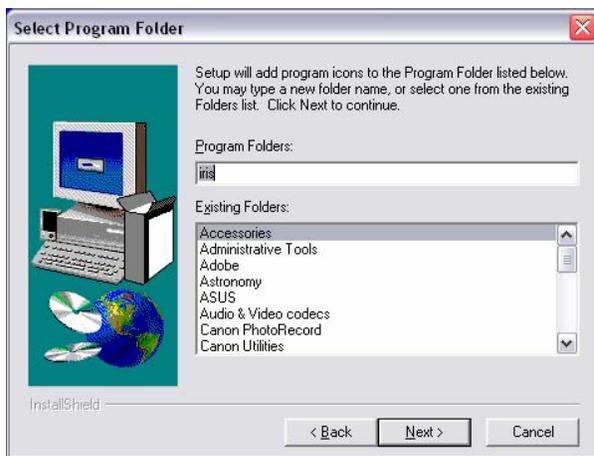


Рис. 4. Приглашение выбрать, куда поместить иконку запуска программы.

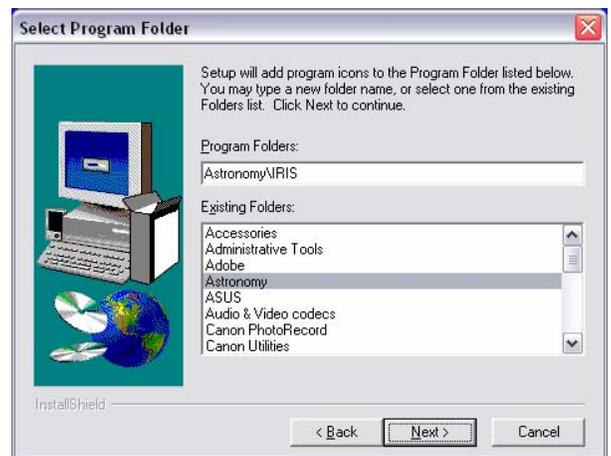


Рис. 5. Иконка запуска программы будет помещена в списке программ в каталог Astronomy в подкаталог IRIS.



Рис. 6. Установка успешно завершена.

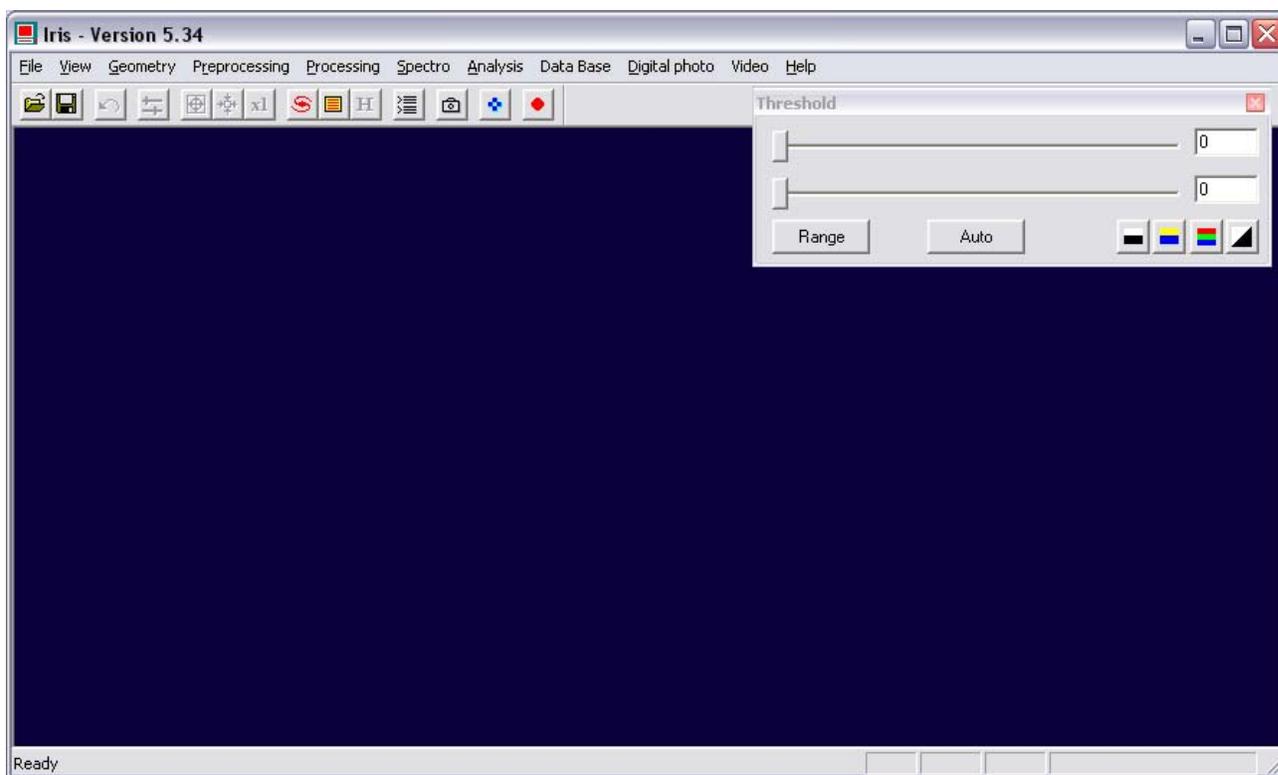


Рис. 7. Вид основного окна программы сразу после запуска.

5. Подготовка к работе

После запуска программы на экране появится ее основное окно (Рис. 7.). Перед началом работы необходимо произвести некоторые настройки. Для этого в меню программы выбираем File, далее Settings (Рис. 8.). Появится окно, примерный вид которого показан на Рис. 9. Здесь есть только два важных для обработки съемок планет момента – выбор рабочей директории и типа файлов, с которыми будет работать программа.

Во время работы программа активно использует файловый ввод/вывод для хранения промежуточных результатов. Поэтому нужно выбрать отдельную директорию, откуда будут считываться, и куда будут сохраняться файлы с изображениями. Для этого нажимаем кнопку с троеточием (...) и в открывшемся диалоговом окне **Select Directory** выбираем одну из существующих директорий в качестве рабочей.

Теперь нужно выбрать тип промежуточных файлов, с которыми будет работать программа. Можно выбрать между хорошо известным форматом FITS для хранения астрономических изображений и собственным форматом программы PIS. Автор программы рекомендует использовать формат PIS с точки зрения более эффективной работы. Только при работе с этим форматом можно обрабатывать цветные изображения. Результат обработки можно будет сохранить в любом графическом формате из довольно обширного списка. Поэтому будем использовать формат PIS.

Когда эти настройки сделаны, закрываем окно нажатием кнопки ОК и переходим к следующему этапу настройки программы. На панели инструментов нажимаем кнопку , после чего появится показанное на Рис. 10 окно. Здесь нужно выбрать из списка тип используемой цифровой фотокамеры. В нашем случае это CANON (10D/300D/Rebel).



Рис. 8. Открываем окно основных настроек программы.



Рис. 9. Основные настройки программы.

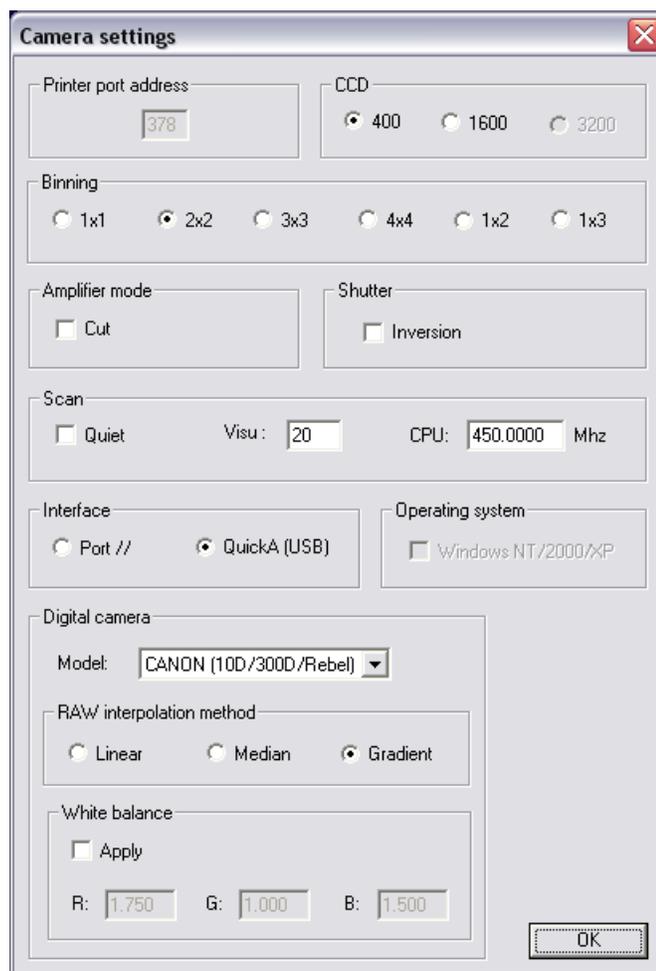


Рис. 10. Различные настройки, связанные камерами.

Затем нужно выбрать один из алгоритмов, который IRIS будет использовать для преобразования снимков в формате RAW в цветные изображения. Это алгоритмы, по которым делается интерполяция данных между соседними пикселями, покрытыми красными, зелеными и синими фильтрами. Иногда эту операцию называют дебайеризацией (см. [часть 6](#)). В результате получается изображение в котором каждому цветовому слою в пространстве RGB отведено 16 бит (в общей сложности 48 бит на пиксель). Билинейный алгоритм интерполяции самый быстрый, но дает не лучшее пространственное разрешение. Однако, этот метод остается жизнеспособным во множестве случаев, т.к. при совмещении последовательности снимков разрешение уменьшается в той же мере. Алгоритм, использующий медианный фильтр, сохраняет разрешение, но искажает естественный вид звезд на снимках deep-sky. Поэтому данный метод автором IRIS не рекомендуется для снимков звезд. Градиентный алгоритм хорошо сохраняет разрешение. Хотя он и работает дольше, но дает лучший результат с точки зрения детализации, даже если на снимке имеются дефекты.

Результат применения этих алгоритмов к небольшой части снимка шарового скопления М 4 показан на [Рис. 11](#). Для большей наглядности каждый фрагмент увеличен в три раза по сравнению с исходным изображением. Можно заметить, что применение градиентного алгоритма дает хороший результат, свободный от артефактов. Этим алгоритмом и будем пользоваться в дальнейшем ([Рис. 10](#)).

6. Как быстро посмотреть содержащееся в RAW-файле изображение?

В меню File выберите Load... и в открывшемся окне выберите тип файлов "Photo(*.crw,...)", как показано на [Рис. 12](#). Затем, используя это окно, перейдите в директорию, содержащую нужный RAW-файл, и откройте его, нажав кнопку Open.

При открытии RAW-файла программа выполнит значительный объем вычислений. Прежде всего, IRIS преобразует содержащуюся в файле информацию в CFA-формат. CFA - сокращение от английского Color Filter Array. Изображение в этом формате – черно-белая картинка, представляющая уровень сигнала, полученный каждым физическим пикселем матрицы. Каждый из этих пикселей покрыт красным, зеленым или синим фильтром, и отвечает за получение информации в соответствующем диапазоне длин волн света. Например, если сфотографировать однородно светящуюся красную поверхность, то на изображении в CFA-формате только пиксели, покрытые красными фильтрами, будут иметь некоторый уровень сигнала, в то время как в пикселях, покрытых зелеными и синими фильтрами, уровень сигнала будет близок к нулю. Такой способ кодирования цветного изображения называется байеровским, а информацию в формате CFA называют байеровским массивом. Типичное расположение пикселей, покрытых цветными фильтрами показано на [Рис. 13](#).

Затем с помощью одного из алгоритмов интерполяции (см. [часть 5](#)), IRIS преобразует изображение из CFA-формата в три отдельных изображения, хранящих информацию, полученную в красном, зеленом и синем диапазоне спектра, от наблюдаемого объекта. Точное восстановление деталей изображения в каждом цветовом слое очень деликатная операция, требующая значительных вычислений.

В результате выполнения всех этих операций, в главном окне программы будет показано полноцветное изображение. В качестве примера, на [Рис. 14](#) показан фрагмент снимка в формате CFA, а на [Рис. 15](#) – фрагмент того же снимка после применения градиентного интерполяционного алгоритма для преобразования снимка в RGB-формат.

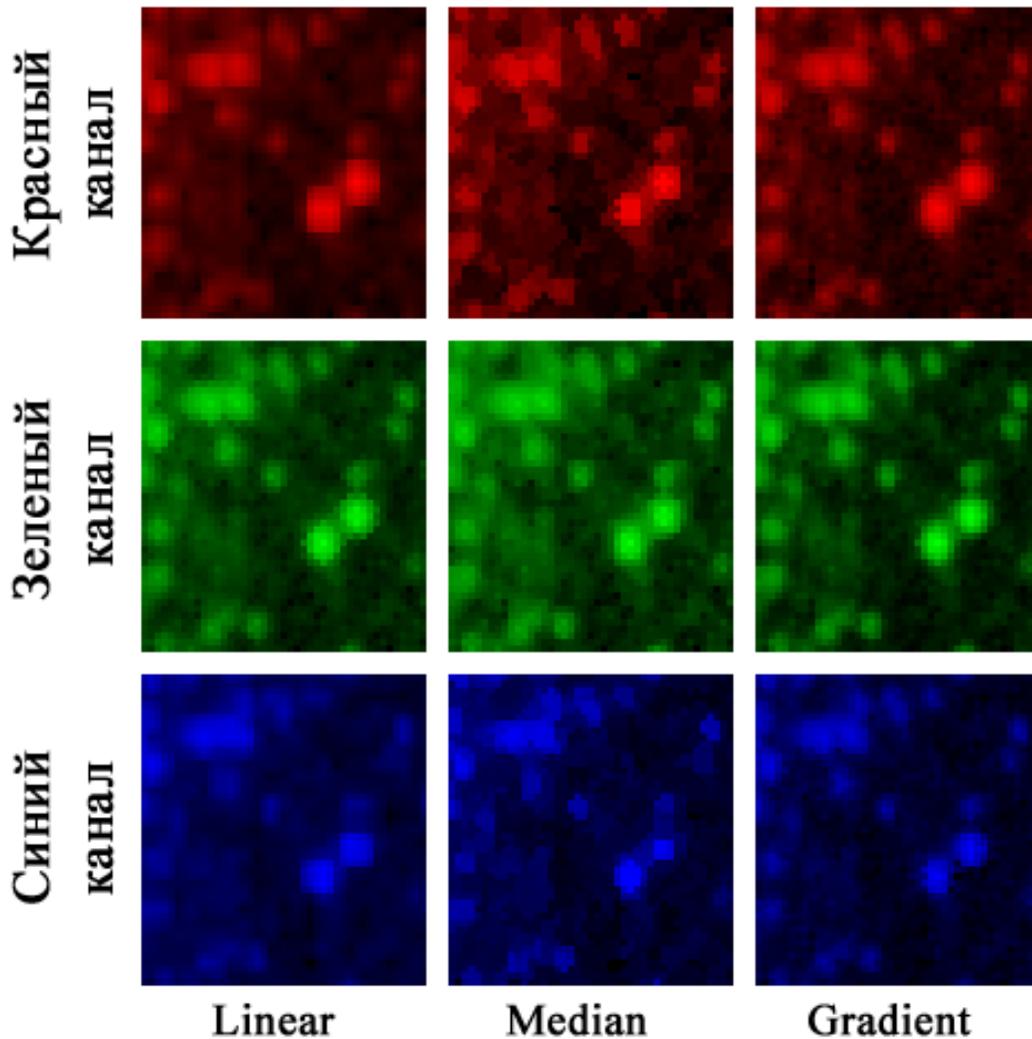


Рис. 11. Сравнение результатов преобразования снимков из формата RAW в RGB формат с помощью трех алгоритмов, реализованных в IRIS. Красный, зеленый и синий каналы (перечислены сверху вниз) показаны отдельно.

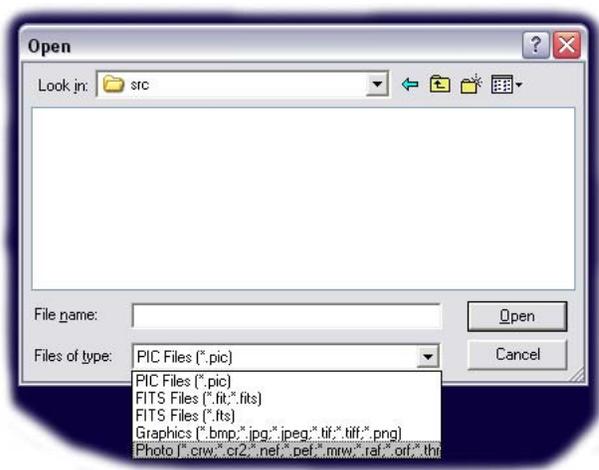


Рис. 12.

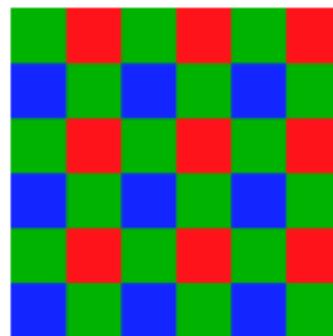


Рис. 13. Типичный вид байеровского массива. Обратите внимание на то, что пикселей, чувствительных к зеленому диапазону спектра, в два раза больше, чем «красных» и «синих».



Рис. 14. Фрагмент ночного панорамного снимка в формате CFA.



Рис. 15. Фрагмент того же ночного панорамного снимка после преобразования в RGB-формат.

7. Первые этапы обработки

7.1. Преобразование группы изображений из формата RAW

IRIS может работать только с изображениями, сохраненными либо в формате PIC (собственный формат программы), либо в стандартном астрономическом формате FITS. Кроме этого, использование IRIS для предобработки снимков, сделанных с помощью цифровых фотоаппаратов, предполагает работу с форматом CFA. Этот формат хранит данные, наиболее близкие к получаемым с матрицы данным. Такой подход позволяет производить предобработку изображений, полученных с помощью цифровых фотоаппаратов, точно так же, как и изображений, полученных продвинутой монохромными ПЗС-камерами. Поэтому обязательным начальным этапом является преобразование данных из RAW в один из только что перечисленных форматов. Для выполнения этой операции, программа имеет достаточно эффективный интерактивный инструмент.

В меню Digital Photo выберете Decode RAW file... (Рис. 16). Это приведет к тому, что основное окно IRIS пропадет, чтобы освободить место диалоговому окну инструмента преобразования названному **Decode RAW files** (Рис. 17). Если окно не видно, возможно, что оно оказалось «под» окнами других приложений, тогда попробуйте их закрыть или переместить, или нажать мышкой на иконку IRIS на системной панели задач. После этого нужно открыть Windows Explorer (Проводник), зайти в директорию, где лежат снимки, выделить нужные RAW-файлы и перетащить в окно **Decode RAW files** (Рис. 18).

Можно выбирать и перетаскивать сразу множество файлов (как в случае, показанном на Рис. 18). Программа сама выберет только файлы, соответствующие RAW-файлам от цифровых фотокамер. В поле Name нужно ввести название, которое автоматически будет присвоено всем получающимся в результате преобразования файлам (в данном примере это «offset»). К этому названию IRIS будет добавлять номер файла в последовательности, начиная с 1. Затем нужно нажать кнопку →CFA. В результате в рабочей директории появятся восемь файлов: `offset1.pic`, `offset2.pic`, ... `offset8.pic`. Это изображения, преобразованные из формата RAW в формат CFA. Теперь нужно нажать кнопку Done и вернуться в основное окно программы.

Посмотреть содержащееся в любом из полученных файлов изображение можно двумя способами:

- 1) через пункт Load... в меню File;
- 2) нажав на панели инструментов кнопку , вызываем окно командной консоли IRIS (окно **Command**). Открыть файл в формате PIC можно, введя команду `LOAD ...` и нажав на клавиатуре Enter. Например, ввод команды `load offset1` приведет к открытию в главном окне программы изображения, хранящегося в файле `offset1.pic` в рабочей директории.

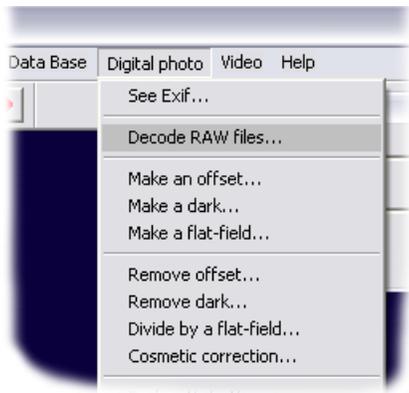


Рис. 16.

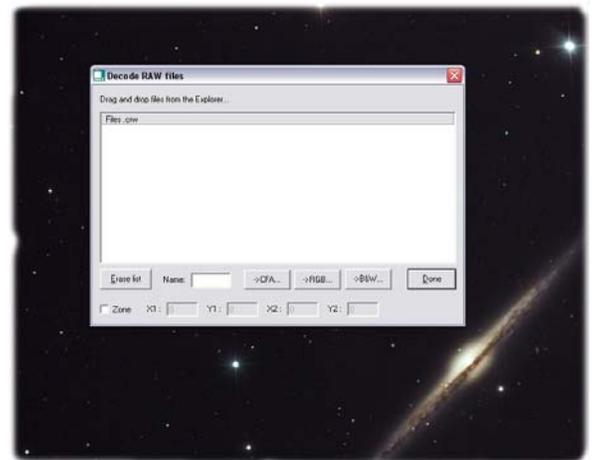


Рис. 17.

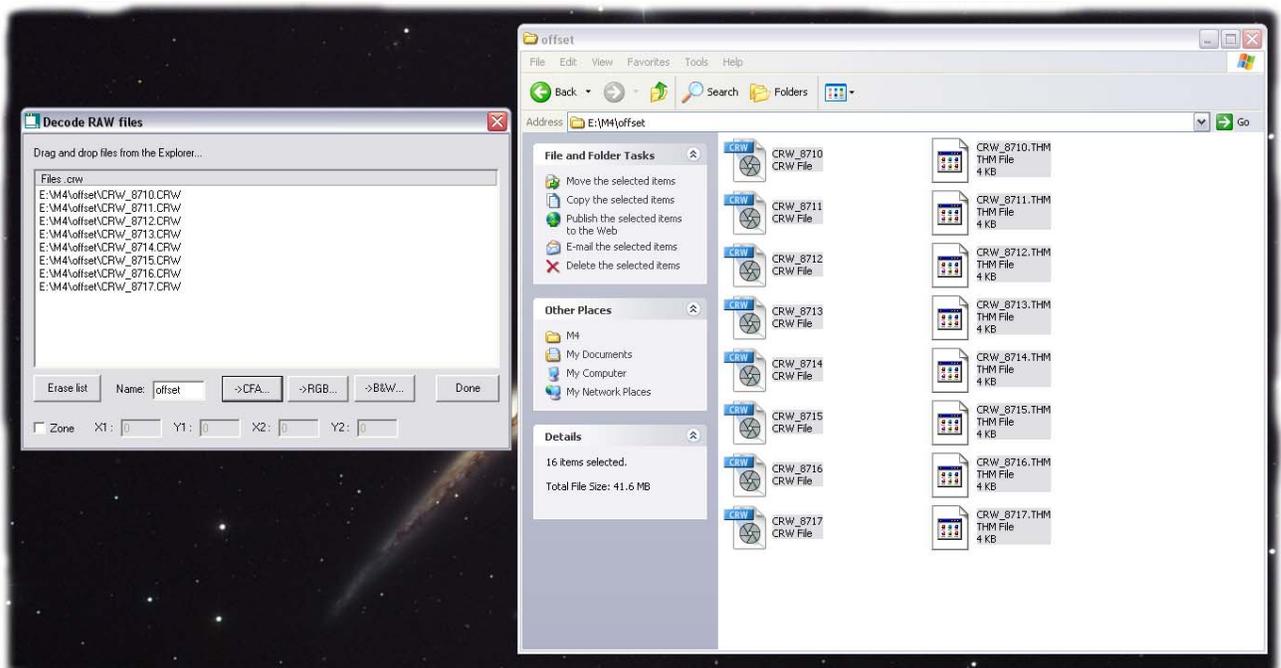


Рис. 18.

7.2. Получение карты тока смещения (master offset map)

Сейчас мы имеем восемь снимков, характеризующих ток смещения камеры (снимки сделанные в полной темноте с наиболее короткой экспозицией). Все они преобразованы в CFA-формат и сохранены в PИC-файлах с именами, начинающимися с префикс `offset`. Карта тока смещения создается в результате медианного сложения этих снимков. Получить ее можно, выбрав пункт `Make an offset...` в меню `Digital photo`. На экране появится окно, показанное на [Рис. 19](#). В поле `Generic name` нужно ввести префикс `offset`, в случае необходимости правильно указать количество файлов и нажать кнопку `OK`. После окончания вычислений, результат будет показан в основном окне программы. Его нужно сохранить, например, с именем `offset`. Сделать это можно через пункт `Save` в меню `File` или введя в окно консоли **Command** команду `save offset`.

Замечания от автора IRIS:

- 1) применение медианного сложения вместо арифметического вызвано стремлением наилучшим образом избежать влияния сбойных пикселей матрицы. Следует складывать несколько снимков, чтобы минимизировать влияния шума на результат. Хорошим выбором является обработка 5 – 15 снимков.
- 2) Относительно выбора чувствительности цифровой фотокамеры в единицах ISO. Изменение ISO аналогично изменению электрического усиления сигнала в камере и аналогично влияет на ток смещения, темновой ток, ... Можно рекомендовать всегда выбирать одно и то же значение чувствительности ISO (например, 400 или 800). Это позволит избежать смешивания при обработке снимков, сделанных с разной чувствительностью. Выбор наибольшего ISO весьма заманчив. С точки зрения регистрации деталей самым важным параметром является отношение сигнал/шум. Однако, при увеличении ISO сигнал усиливается так же, как и шум, а отношение сигнал/шум остается примерно постоянным (примечание: *выбор оптимальной чувствительности весьма сложный и еще малоизученный вопрос. На этот выбор оказывают влияние такие параметры, как температура, степень светового загрязнения неба, планируемая продолжительность экспозиции и пр. Например, хорошее исследование данного вопроса было сделано Павлом Бахтиновым и изложено здесь <http://www.astronomy.ru/forum/index.php/topic,20017.0/all.html>*). Избегайте использовать максимальную величину ISO поскольку при этом уменьшается динамический диапазон камеры.

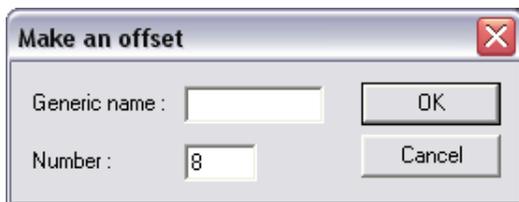


Рис. 19.

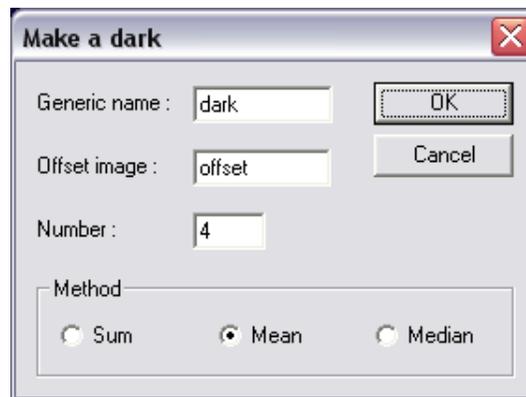


Рис. 20.

7.3. Получение карты темнового тока (master dark frame)

Кадры темнового тока можно получить просто полностью перекрыв доступ света на матрицу (например, закрыв объектив телескопа крышкой) и сделав несколько снимков с экспозицией, близкой к той, что использовалась для съемки выбранного небесного объекта. Также нужно следить за тем, чтобы температура не изменилась сильно между съемкой выбранного объекта и получением темновых кадров. Величина ISO должна быть постоянной.

В случае описываемого примера обработки съемки шарового скопления М 4, имеется четыре кадра темнового тока в формате RAW (этого количества кадров мало, при больших ISO нужно делать 10 – 20 кадров). Их нужно преобразовать в формат CFA и сохранить в виде PIC-файлов. Сделать это можно так. Воспользовавшись способом, описанном [ранее](#), преобразуем кадры темнового тока из RAW в CFA. В результате получим последовательность из четырех файлов: `dark1.pic`, `dark2.pic`, `dark3.pic`, `dark4.pic`. Затем, в меню Digital photo выберем пункт Make a dark... Откроется диалоговое окно, показанное на [Рис. 20](#). В поле Generic name нужно ввести префикс имен файлов – `dark`. А в поле Offset image – имя файла, в котором записана полученная на предыдущем этапе карта тока смещения (в нашем примере, это – `offset`). Оно нужно потому, что карта тока смещения должна быть вычтена из каждого кадра темнового тока.

Существует несколько способов получить карту темнового тока. Наиболее подходящий из них – медианное суммирование. Этим методом можно пользоваться лишь в том случае, если все кадры темнового тока получены в одинаковых условиях и при одинаковой экспозиции. Для управления длительностью экспозиции можно использовать электронную схему управления, управляющий компьютер и т.п. Но этим методом лучше не пользоваться, если экспозиции контролировались от руки. В таком случае лучше пользоваться усреднением или даже просто суммированием.

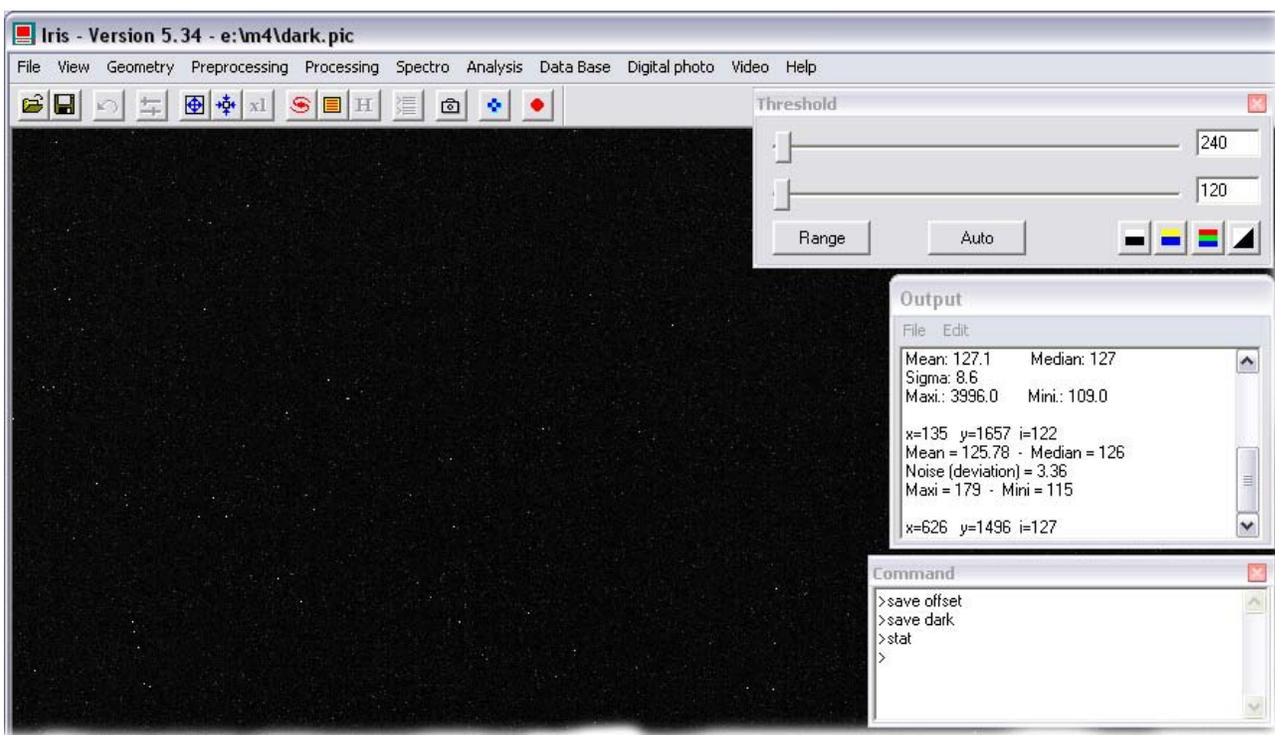


Рис. 21. Карта темнового тока (Canon EOS 300D, ISO 400, экспозиция ~180 с, температура окружающего воздуха около +15°C).

Во время съемки кадров темного тока, автор этого руководства управлял затвором фотоаппарата от руки, что привело к разбросу продолжительности экспозиции около ± 10 секунд. Поэтому и был выбран метод усреднения кадров ([Рис. 20](#)), а не медианное сложение. Полученный результат ([Рис. 21](#)) сохраним, введя в консоль команду `save dark`. После чего в рабочей директории появится файл `dark.pic`.

7.4. Создание списка «горячих» пикселей

На изображениях, полученных с помощью практически любой камеры, всегда имеется некоторое количество пикселей, интенсивность которых значительно больше интенсивности соседних при прочих равных условиях. Иногда такие пиксели называют горячими, а их присутствие искажает изображение. IRIS предлагает простой способ борьбы с ними (косметическую коррекцию): на основе карты темного тока программа создает список координат пикселей с интенсивностью выше заданной пользователем, а потом, при обработке отснятых изображений интерполирует интенсивность этих пикселей из соседних.

Создать список «горячих» пикселей можно с помощью команды `find_hot`. У этой команды два параметра: имя файла, в который будет записан список координат «горячих» пикселей и численная величина, характеризующая критический уровень интенсивности пикселей. Это уровень пикселей, выше которого пиксели будут засчитаны как «горячие», и подбирается опытным путем так, чтобы «горячими» не считалось очень большое количество пикселей. Можно рекомендовать выбирать критический уровень таким, чтобы было найдено 50 – 300 «горячих» пикселей.

Загрузим карту темного тока и узнаем статистические свойства всех пикселей изображения:

```
load dark
stat
```

В результате в главном окне программы откроется изображение карты темного тока, а в окне **Output** будут показаны статистические свойства пикселей, например:

```
Mean: 127.1      Median: 127
Sigma: 8.6
Maxi.: 3996.0   Mini.: 109.0
```

В данном примере в качестве первого пробного значения критического уровня интенсивности можно выбрать величину средней интенсивности всех пикселей 127. Список координат горячих пикселей будем сохранять в файл с названием `cosme`. Введем команду:

```
find_hot cosme 127
```

В программе есть внутреннее ограничение на количество найденных «горячих» пикселей. Если как «горячие» засчитано более 10000 пикселей, то IRIS выдаст сообщение об ошибке: «Too many hot pixels (limit to 10000)». Если так и происходит, увеличиваем значение критического уровня интенсивности и повторяем команду:

```
find_hot cosme 200
```

В результате выполнения команды в рабочей директории появится файл `cosme.lst`, а в окне **Output** появится сообщение о количестве найденных «горячих» пикселей:

```
Hot pixels number: 593
```

Значение 200 в качестве критического уровня интенсивности слишком мало. Попробуем, например, 220:

```
find_hot cosme 220
```

Теперь найдено 340 «горячих» пикселей. Это приемлемое количество для 6-ти мегапиксельной камеры Canon 300D.

7.5. Получение карты плоского поля (*master flat-field*)

Есть два достаточно простых способа получить кадры плоского поля:

- 1) навести телескоп на белый экран, расположенный на расстоянии нескольких десятков сантиметров от апертуры инструмента. Этот экран должен быть равномерно освещен белой лампой, может подойти бытовая галогенная лампа.
- 2) Не меняя расположения камеры, соединенной с телескопом, дождаться сумерек и сделать несколько кадров равномерно светящегося неяркого неба, на котором или еще не проступили звезды, или их уже нет. Нужно внимательно следить за тем, чтобы в поле зрения телескопа не попадали детали пейзажа, растительность и облака.

В обоих случаях длительность экспозиции должна быть такой, чтобы фон хорошо проработался, но не возникло пересвеченных участков.

Вернемся к примеру. Было сделано четыре кадра плоского поля в формате RAW (лучше делать более 5). Их нужно преобразовать в формат CFA и сохранить в виде PIC-файлов. Сделать это можно так. Снова воспользовавшись способом, описанном [ранее](#), преобразуем кадры плоского поля из RAW в CFA. В результате получим последовательность из четырех файлов: `flat1.pic`, `flat2.pic`, `flat3.pic`, `flat4.pic`. Затем, в меню `Digital photo` выберем пункт `Make a flat-field...` Откроется диалоговое окно **Make a flat-field**, показанное на [Рис. 22](#). В поле `Generic name` нужно ввести префикс названий файлов – `flat`. В поле `Offset image` – имя файла, в котором записана полученная ранее карта тока смещения (в нашем примере, это – `offset`). В поле `Normalization value` нужно ввести величину, к которой будет приведена медиана полученной карты плоского поля. Это произвольная величина, но она должна быть выбрана так, чтобы избежать проблем переполнения (в IRIS максимальная интенсивность пикселя ограничена величиной 32767, а минимальная не может быть меньше - 32768). После нажатия кнопки `OK` будет получена карта плоского поля. Введя в консоль команду `stat`, можно получить данные о статистических свойствах пикселей изображения. Эти данные будут выведены в окно **Output** программы. Как было показано на [Рис. 22](#), `Normalization value` была задана равно 16000. В результате получена карта плоского поля, статистические свойства которой следующие:

Mean: 14669.3	Median: 16045	(← Среднее: 14669.3	Медиана: 16045)
Sigma: 4116.1		(← Статистическое отклонение σ : 4116.1)
Maxi.: 20969.0	Mini.: 1882.0	(← Максимум: 20969.0	Минимум: 1882.0)

Если максимальная интенсивность какого-либо пикселя равна 32767 или минимальная интенсивность равна 0, то нужно, воспользовавшись диалоговым окном **Make a flat-field** повторить создание карты плоского поля, но с другим значением в поле `Normalization value`.

Сохранить полученный результат можно, введя в консоль команду `save flat`.

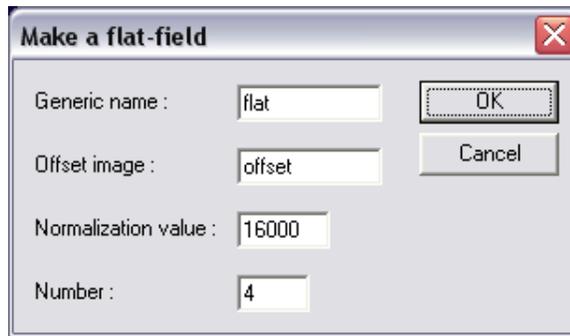


Рис. 22.

7.6. Что делать, если...

7.6.1. ... не были сняты снимки тока смещения?

Есть два простых решения проблемы:

Первый метод.

Загрузите в программу один из снятых в рамках текущей серии снимков, например, снимок небесного объекта. Снимок должен быть уже преобразован в формат CFA. Это можно сделать, например введя в консоль команду:

```
load m4_1
```

Теперь нужно привести все пиксели к одной интенсивности, равной типичной интенсивности тока смещения используемой камеры. Если эта интенсивность неизвестна, то лучше обнулить интенсивности всех пикселей:

```
fill 0
```

После этого нужно сохранить полученную искусственную карту тока смещения:

```
save offset
```

Второй метод.

Аналогично тому, как это было сделано в первом способе, загрузите в программу снимок:

```
load m4_1
```

Узнайте свойства изображения, введя:

```
info
```

В окне **Output** будет показана общая информация о снимке:

```
Format: 3088x2056 (← Размер изображения в пикселях )
```

```
(0,0)-(0,0) - Binning: 1x1
```

```
01/04/2006 - 03:22:16 - IT: 0.00 (← Дата и время получения снимка )
```

```
Date (D/M/Y): 1.1405 / 4 / 2006
```

```
Julian day: 2453826.6405
```

Создаем новое пустое изображение:

```
new 3088 2056
```

Если известна типичная интенсивность тока смещения используемой камеры, то нужно привести все пиксели к этой величине. Если эта интенсивность неизвестна, то лучше оставить обнуленными интенсивности всех пикселей.

Полученную искусственную карту тока смещения нужно сохранить:

```
save offset
```

7.6.2. ... не были сняты снимки плоского поля?

Просто нужно создать равномерную карту плоского поля и использовать ее в дальнейшем. Сделать это можно, например, следующим набором консольных команд:

```
load m4_1
fill 10000
save flat
```

Здесь все интенсивности всех пикселей карты плоского поля приравнены 10000.

7.7. Предобработка

Теперь можно перейти к описанию процесса предобработки отснятого материала. Предобработка предусматривает вычитание вклада тока смещения и темнового тока, а так же – коррекция (деление) на карту плоского поля.

Было сделано пятнадцать снимков в формате RAW шарового скопления М 4. Их нужно преобразовать в формат CFA и сохранить в виде PIC-файлов. И снова воспользовавшись описанным [ранее](#) способом, преобразуем кадры из RAW в CFA. В результате получим последовательность из пятнадцати файлов, например, с префиксом “m4_”: m4_1.pic, m4_2.pic, ..., m4_15.pic.

Небольшое отступление – про вычитание темнового тока. В IRIS можно сделать вычитание темнового тока оптимальным образом, т.е. так, чтобы остатки были минимальны. Для этого, программа вычитет из каждого кадра карту темнового тока, умноженную коэффициент, позволяющий получить оптимальный результат. Причем процедура нахождения этого коэффициента при работе с данными в формате CFA отличается от процедуры, применяемой при работе с обычными черно-белыми изображениями. Использование такого оптимального вычитания позволяет компенсировать, например, легкие вариации температуры камеры, произошедшие между съемками небесного объекта и получением снимков темнового тока.

Еще одно отступление – про деление на карту плоского поля. Перед тем как произвести деление изображения на карту плоского поля, IRIS производит нормирование интенсивности всех пикселей этой карты. В результате получается, что красные, зеленые и синие пиксели имеют один и тот же вес, т.е. так, как будто бы свет, вошедший в телескоп при съемке кадров плоского поля, был абсолютно белый и чувствительность пикселей к разным участкам спектра была одинаковой.

Итак, перейдем к предобработке автоматическим методом. В начале откроем первый файл с изображением, например с помощью команды `load m4_1`. С помощью мыши на изображении нужно выделить прямоугольный участок шириной 50 – 300 пикселей. Следует выбирать место с минимальным количеством звезд или ярких «горячих» пикселей. Затем в меню `Digital photo` выберем пункт `Preprocessing`. Результат всех этих действий показан на [Рис. 23](#). В этом окне нужно правильно ввести префикс названия последовательности исходных изображений (поле `Input generic name`), названия файлов, содержащих карту тока смещения (поле `Offset`), карту темнового тока (поле `Dark`), карту плоского поля (поле `Flat-field`) и список «горячих» пикселей (поле `Cosmetic file`). Еще нужно отметить поле `Optimize`, ввести префикс названия файлов, в которых будет сохраняться изображения прошедшие предобработку (поле `Output generic name`), например, `rgos` и ввести правильное количество исходных изображений (поле `Number`). После чего, нажав кнопку `OK`, начинаем процесс предобработки. Скорость работы программы зависит от быстродействия процессора компьютера, свободного объема физической памяти и размера обрабатываемых изображений. Процесс предобработки может длиться от нескольких секунд до часов. В течение всего этого времени интерфейс программы не отвечает на действия пользователя.

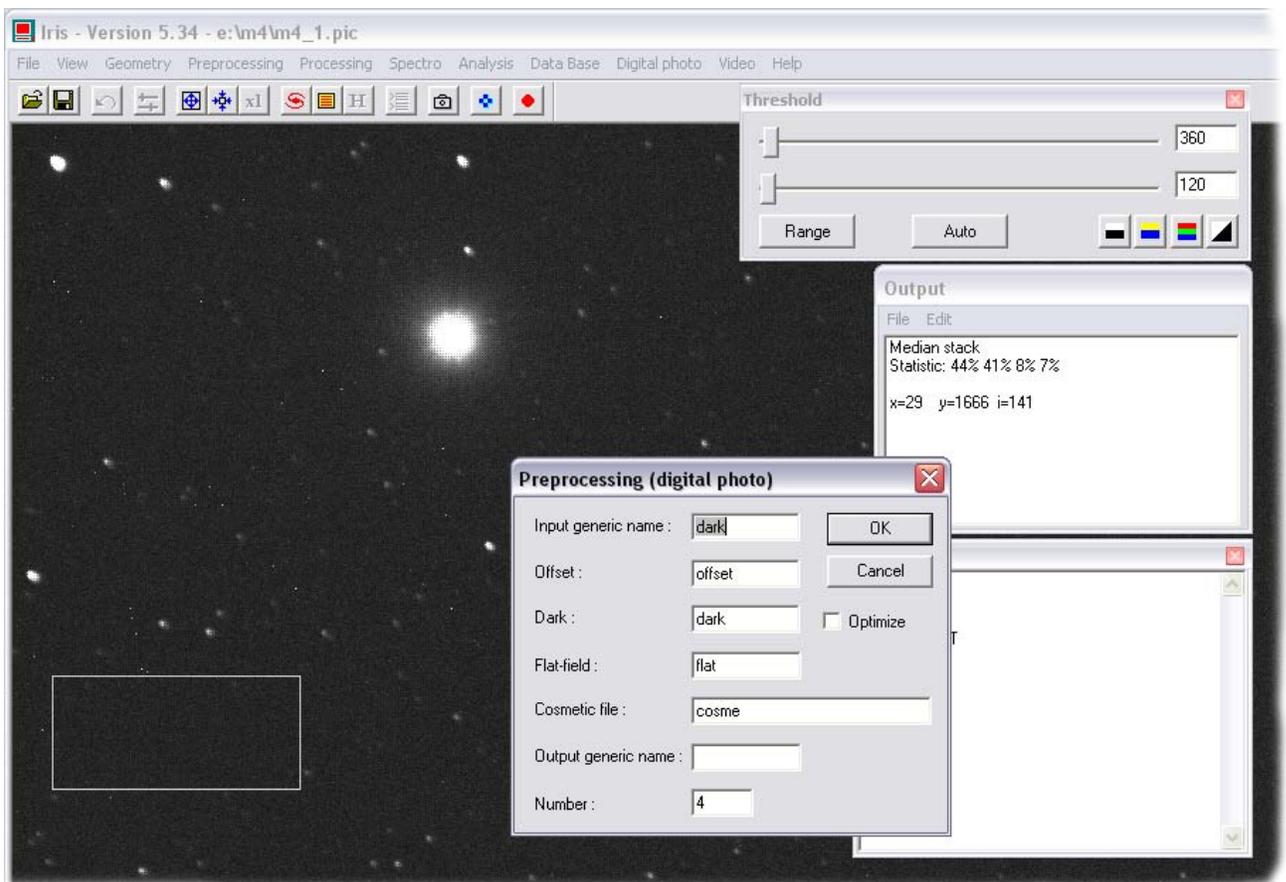


Рис. 23.

Посмотреть первое из полученных в результате изображений, можно введя команду
load proc1

Изменения по сравнению с исходным изображением может не бросаться в глаза. Но при внимательном изучении всего изображения будет заметно, что исчезли «горячие» пиксели и следы пыли на матрице.

8. Завершающие этапы

8.1. Преобразование из CFA в RGB формат

Следующие этапы обработки производятся уже с изображениями в формате RGB с 48-битами на пиксель (16 бит на пиксель для представления каждого из трех основных цветов).

Преобразование одного изображения из формата CFA в RGB совершается путем выбора в меню Digital photo пункта Convert a CFA image. Последовательность изображений в формате CFA можно преобразовать в 48-битный RGB формат, выбрав в меню Digital photo пункт Sequence CFA conversion... и воспользовавшись открывшимся диалоговым окном (Рис. 24). В поле Generic input name нужно ввести префикс названия последовательности изображений, полученных после предобработки. В поле Generic output name – префикс названия последовательности файлов, в которые будут записаны изображения в 48-битном формате RGB (например, это - rgb). Если в поле Output files

type выбрано Black & White, то IRIS будет сохранять 16-битные черно-белые изображения (получаемые, как сумма красного, зеленого и синего каналов).

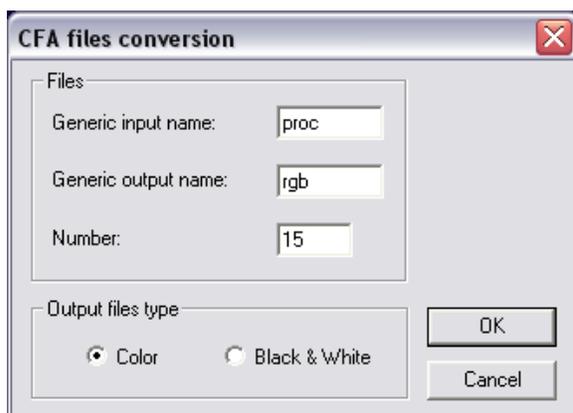


Рис. 24.

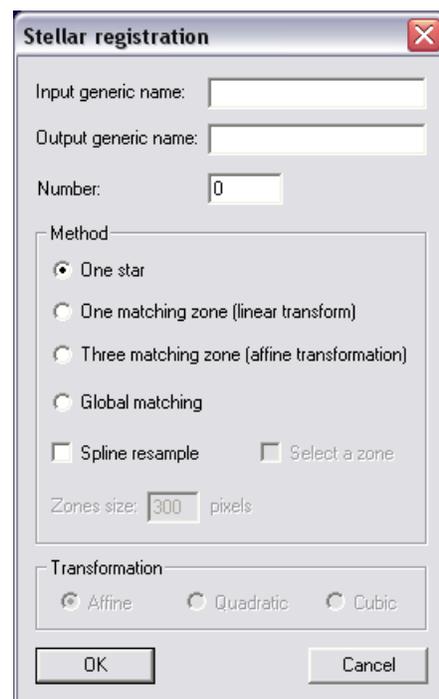


Рис. 25.

8.2. Автоматическое совмещение 48-битных RGB изображений

Следующим важным этапом является совмещение изображений. В программе реализовано несколько алгоритмов, служащих этой цели. Все они работают как с черно-белыми изображениями (16 бит на пиксель), так и с цветными (48 бит на пиксель).

В начале надо загрузить первое изображение из последовательности:

```
load rgb1
```

Теперь вызовем диалоговое окно программы, в котором можно выбрать метод совмещения кадров и задать необходимые параметры. Для этого в меню Processing выберем пункт Stellar registration... На экране появится показанное на Рис. 25 окно. Как обычно в поле Input generic name нужно вписать префикс имени файлов последовательности изображений. В нашем примере это “rgb”. В поле Output generic name нужно вписать префикс имени файлов последовательности совмещенных изображений. Пусть это будет “reg”. В поле Number нужно ввести количество изображений в обрабатываемой последовательности кадров (в рассматриваемом примере это – 15). В нижней части окна можно выбрать алгоритм, с помощью которого программа будет совмещать изображения и указать параметры, необходимые для работы выбранного алгоритма.

Поговорим немного об алгоритмах совмещения изображений, реализованных в программе. Наиболее простой и быстрый метод основан на выборе всего одной отдельной звезды, присутствующей на всех снимках. Этот метод позволяет быстро совместить изображения лишь слегка сдвинутые в горизонтальном и/или вертикальном направлении друг по отношению к другу и не подверженные каким-либо искажениям. Его можно выбрать, отметив One star в списке Method на диалоговом окне, показанном на Рис. 25. Перед тем как воспользоваться этим методом, на загруженном изображении с помощью мыши нужно выбрать пря-

моугольную область вокруг одиночной звезды. Выбирать следует достаточно яркую звезду, но такую, чтобы ее изображение не было бы “пересвечено” на снимке. Все снимки будут совмещены так, чтобы положение выбранной звезды не изменялось при переходе от снимка к снимку. Размер выбираемой прямоугольной области вокруг звезды должен быть достаточно большим для того, чтобы в него попадали все смещения звезды между соседними экспозициями. В противном случае, IRIS может по ошибке захватить другую звезду, что приведет к неправильному совмещению снимков. Нажатие кнопки ОК, если все параметры заданы правильно, приведет к запуску процедуры совмещения. По завершению, в рабочей директории появится последовательность совмещенных изображений и файл **shift.lst**, в котором содержится информация в смещении каждого изображения по отношению к первому (эта же информация будет выведена в окно **Output**).

Следующий метод, по словам автора IRIS, больше подходит для совмещения богатых звездами снимков. Перед тем как им воспользоваться, на первом изображении из обрабатываемой последовательности снимков, с помощью мыши нужно выбрать область, содержащую несколько звезд. Затем открыть диалоговое окно **Stellar registration**, выбрать в нем **One matching zone (linear transformation)** в списке **Method** и отметить опцию **Select a zone**. Данный алгоритм основан на распознавании на всех изображениях нескольких опорных звезд, попавших в выбранную на первом снимке область. Так же как и в первом случае, совмещение осуществляется простым переносом изображений вдоль горизонтальной и/или вертикальной оси снимка. Если опция **Select a zone** не выбрана, то перед вызовом диалогового окна можно не выбирать область на первом изображении и алгоритм при работе будет использовать все достаточно яркие звезды.

Если на снимках наблюдается не только смещение, но и, например, вращение поля, то при совмещении необходимо применять аффинные преобразования. Программа автоматически найдет наилучшие сдвиги, повороты и линейное масштабирование, приводящие к совмещению снимков. Наиболее быструю процедуру, позволяющую это сделать, можно выбрать, отметив **Three matching zone (affine transformation)** в диалоговом окне **Stellar registration** (Рис. 26). Для нахождения наилучших параметров преобразования изображений, этот алгоритм основывается на опорных звездах, попавших в три автоматически выбираемые области на первом снимке из последовательности. Размер областей в пикселях задается параметром **Zone size** в диалоговом окне **Stellar registration**, их положение на изображении показано на Рис. 28. Автор IRIS отмечает, что этот алгоритм оптимизирован для работы с большими снимками, сделанными с помощью цифровых зеркальных фотоаппаратов.

Следующий алгоритм можно выбрать, отметив на диалоговом окне **Global matching** (Рис. 27). Как и предыдущий, он основывается на таком же поиске опорных звезд в трех автоматически выбираемых областях (Рис. 28). При этом, по заказу пользователя, алгоритм может совмещать снимки, используя как аффинные преобразования изображений, так и преобразования второго и третьего порядков. Преобразования второго и третьего порядков позволяют совмещать изображения, подверженные, например, значительным искажениям из-за оптических аберраций, или, даже, полученные на разных телескопах.

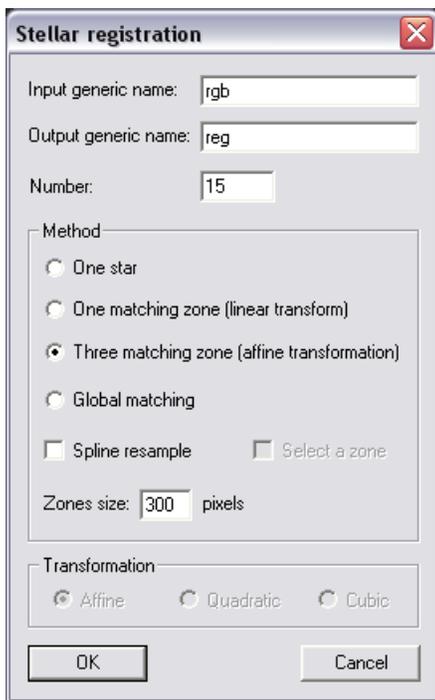


Рис. 26.



Рис. 27.

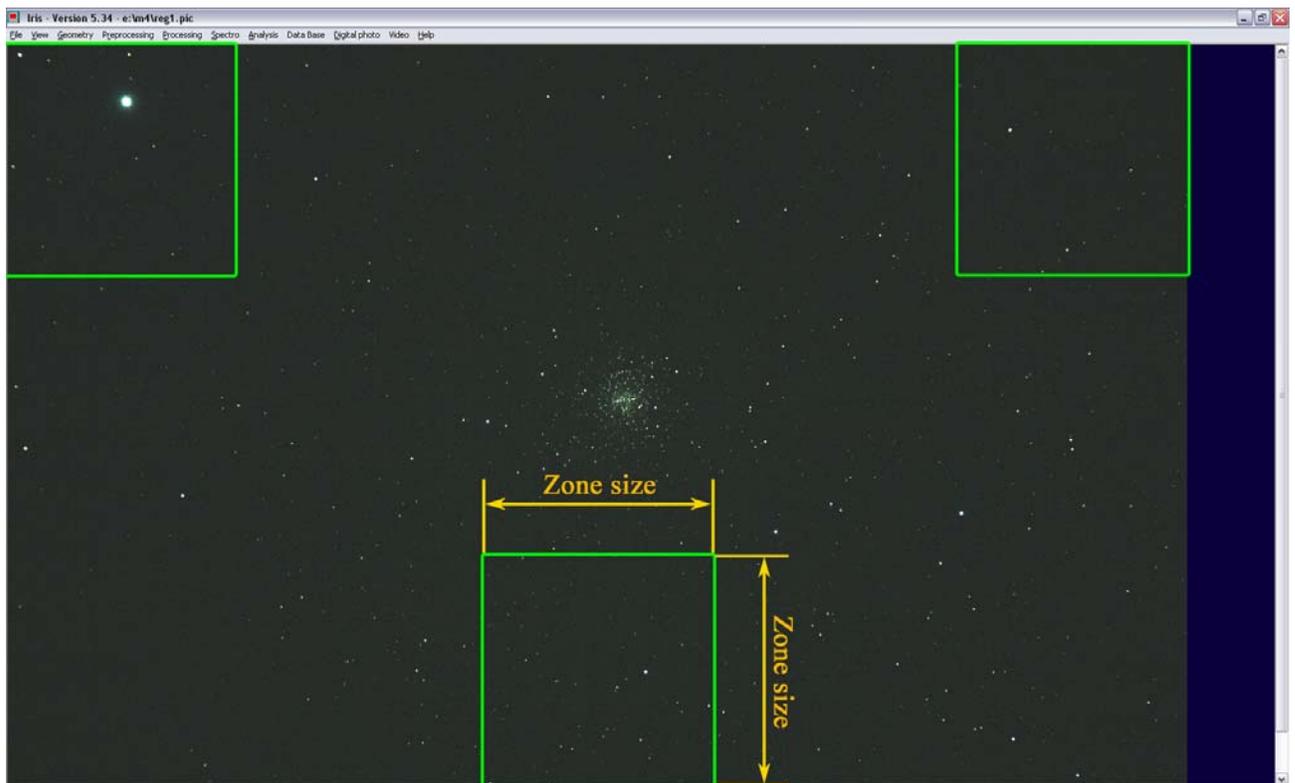


Рис. 28.

8.3. Сложение изображений

Теперь можно приступить к сложению совмещенных изображений. В начале рассмотрим работу через командную консоль программы, а затем – с помощью диалогового окна.

Наиболее простой метод – попиксельное арифметическое сложение. Его можно выполнить, введя в консоль команду:

```
add2 reg 15
```

Недостаток этой команды состоит в том, что если в результате сложения исходных изображений интенсивности каких-то пикселей превышает предельный допустимый в программе уровень, равный 32767, то интенсивности таких пикселей обрезаются до величины 32767. Т.е. при сложении большого количества исходных изображений может получиться сильно пересвеченное изображение. Чтобы этого избежать, лучше воспользоваться командой `add_norm`, выполняющей сложение с нормировкой результата:

```
add_norm reg 15
```

Эта команда выполняет попиксельное сложение изображений, а полученный результат нормирует так, чтобы максимальная интенсивность пикселей не превышала 32767.

С помощью команды `add_mean` можно получить среднее арифметическое изображение.

Попиксельное медианное сложение производится с помощью команды `smedian`. Интенсивность каждого пикселя изображения, полученного в результате выполнения этой команды, вычисляется как медиана интенсивностей соответствующих пикселей исходных изображений:

```
smedian reg 15
```

Напомним определение термина «медиана». Пусть есть следующее множество чисел:

```
5, 9, 1, 0, 3
```

Отсортированное в порядке возрастания это множество примет вид:

```
0, 1, 3, 5, 9
```

Медиана этого множества есть число 3, в то время как среднее арифметическое равно 3.6.

Команда `smedian` реализована так, что она не может обработать более 19 исходных изображений. Этого ограничения не имеет команда `smedian2`.

Обе эти команды имеют две области применения. Первая – это получение карты плоского поля из последовательности изображений, содержащих звезды. При этом поле зрения на исходных изображениях обязательно должно быть по-разному сдвинуто, чтобы изображения звезд не попадали в одни и те же пиксели на матрице. Если в медианном сложении участвуют более 5 изображений, то в результате звезды пропадут, поскольку вероятность того, что на большинстве снимков звезды попадут в один пиксель, мала. Другая область применения – обработка снимков объектов дальнего космоса. В результате выполнения одной из этих команд, получится изображение с практически тем же отношением сигнал/шум, что и исходные снимки, но лишенное большинства дефектов (горячие пиксели, следы космических лучей, треки самолетов и спутников и т.п.).

В IRIS реализованы еще несколько мощных алгоритмов сложения изображений, предназначенных для борьбы с дефектами изображения.

Команда `composit` выполняет сложение данных с помощью алгоритма, известного как `sigma-clipping`. В отличие от нахождения результата, как медианы исходных данных, этот алгоритм отбрасывает из рассмотрения только наиболее отклоняющиеся от среднего значения, что приводит к улучшению отношения сигнал/шум полученного результата. Данный метод работает наилучшим образом, если количество исходных изображений велико (более 10) причем в программе отсутствует какое-либо внутреннее ограничение на максимальное количество. Синтаксис команды следующий:

```
composit [NAME] [COEF. SIGMA] [# ITER] [FLAG MAX] [NUMBER]
```

или в случае рассматриваемого примера

composit reg 3 2 1 15

Для каждого пикселя программа вычисляет среднее значение интенсивности по всей совокупности исходных изображений, затем для каждого исходного изображения находит отклонение интенсивности этого пикселя от среднего значения и выполняет сравнение найденного отклонения с константой, заданной с помощью параметра [coef. sigma]. Рассматриваемый пиксель данного исходного изображения считается “плохим” и отбрасывается из дальнейшего рассмотрения, если найденное отклонение превышает в [coef. sigma] раз (в три раза в рассматриваемом примере) величину среднеквадратичного отклонения интенсивности этого пикселя, найденную по всей совокупности исходных изображений. После того как описанная процедура будет произведена для всех пикселей, средние значения и стандартные отклонения интенсивностей вычисляются еще раз уже без участия отброшенных значений, и выполняется следующая итерация процедуры. Количество итераций задано параметром [# iter] (две в рассматриваемом примере). Автор IRIS рекомендует следующие типичные значения параметров: [coef. sigma] = 3 – 4 и [# iter] = 2. Однако, отмечает, что необходимы тесты для нахождения оптимальных параметров для обработки данного набора исходных изображений. Чтобы избежать потери реальных данных не рекомендуется использовать [coef. sigma] < 1.5. После выполнения всех итераций, во время которых были отброшены все сильно отличающиеся значения интенсивностей пикселей, происходит финальное сложение данных. Вычисляется простая сумма интенсивностей в каждом пикселе, если параметр [flag_max] = 0. Если же [flag_max] = 1, то все полученные в результате сложения интенсивности пикселей итогового изображения нормируются так, чтобы максимальная интенсивность не превышала 32767 (аналогично тому, как это происходит при выполнении команды `add_norm`).

Еще один реализованный в программе алгоритм – адаптивное взвешивание, причем веса получаются из самих данных (за деталями автор IRIS отсылает к описанию “Artificial Skepticism Stacking algorithm”, Stetson 1989, V Advanced School of Astrophysics [Universidade de Sao Paulo], p.1, и к двум англоязычным ресурсам: <http://archive.stsci.edu/hst/wfpc2/pipeline.html>, http://archive.eso.org/archive/hst/wfpc2_asn/3sites/WFPC2_Newsletter.pdf).

Сложить исходные изображения по этому алгоритму можно, воспользовавшись командой:

composit2 [NAME] [FLAG. MAX] [NUMBER]

или в случае рассматриваемого примера

composit2 reg 1 15

Параметры команды – префикс имен файлов [NAME], флаг нормировки результата (аналогичен флагу [flag_max] команды `composit`) и не ограниченное количество исходных изображений [NUMBER]. Интенсивности каждого i -го пикселя каждого изображения присваивается статистический вес w_i , вычисляемый по формуле:

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \frac{1}{1 + \left(\frac{|r_i|}{\sigma_i}\right)^2},$$

где σ_i – стандартное отклонение интенсивностей данного пикселя по всей совокупности исходных изображений, найденное с учетом шума считывания и усиления сигнала в камере. “Естественный” вес интенсивности пикселей $1/\sigma_i^2$ модифицируется с помощью лоренцеводобной функции, которая приводит к уменьшению веса подозрительных значений интенсивности, таких как следы попадания в пиксель космических лучей и т.п., но при этом не приводит к полному исключению из рассмотрения каких бы то ни было значений. Величина r_i есть

разница между средней интенсивностью данного i -го пикселя в текущей итерации и интенсивностью данного i -го пикселя в данном изображении. Эта величина вычисляется заново для каждой итерации. Автор IRIS утверждает, что реализованная в программе команда `composit2` использует классические закодированные внутри программы значения величин шума считывания с ПЗС и усиления сигнала (среднеквадратическое значение уровня шума в 15 электронов и усиление $2 e^-/ADU$). Не смотря на то, что эти величины несколько отличаются от соответствующих величин для современных зеркальных цифровых фотоаппаратов, функция `composit2` – простая в использовании и очень эффективная функция для удаления “плохих” пикселей.

Очень важно, что перед использованием команд `smedian`, `composit` и `composit2` необходимо добиться одного и того же уровня фона неба для всех исходных изображений последовательности. Для этого можно воспользоваться командой `noffset` (или `noffset2`, если нужно выбрать эталонную область для нормализации уровня фона неба). Если же исходные снимки сделаны с разной экспозицией, то нужно использовать команду `ngain2`. Команда `noffset2` нормирует уровень медианы каждого из изображений последовательности на заданную величину путем прибавления константы. Команда `ngain2` нормирует уровень медианы каждого из изображений последовательности на заданную величину путем умножения каждого изображения на специально подобранную константу.

Выбор оптимального алгоритма сложения данных зависит от их свойств и способа получения. Для получения карты плоского поля или карты темнового тока лучше всего подходит команда `smedian` (или `smedian2`). Для получения изображения звездного неба классический алгоритм `sigma-clipping` является хорошим выбором для получения наилучшего отношения сигнал/шум. В то же время команда `composit2` является весьма качественной альтернативой алгоритму `sigma-clipping`.

Все перечисленные алгоритмы сложения исходных снимков объединены в одно диалоговое окно **Add a sequence...** из пункта меню Processing ([Рис. 29](#)). В поле `Input generic name` нужно ввести префикс имен файлов, которые будут использоваться для сложения. В рассматриваемом примере – это “`reg`”, префикс имен файлов, содержащих совмещенные изображения. В поле `Number` вводится количество этих файлов (15 в данном примере). Поле `Normalize if overflow` нужно отметить, если максимальную интенсивность пикселей результата нужно нормировать на максимально возможную в IRIS яркость (32767) во избежание потери информации в ярких участках изображения. Ниже в диалоговом окне перечислены шесть методов, которыми можно воспользоваться для получения результата:

- Режим “`Arithmetic`” позволяет произвести простое арифметическое попиксельное сложение изображений. Эквивалентом этого режима сложения является команда `add_norm`.
- Режим “`Median`” можно использовать, когда некоторые пиксели имеют значительные отклонения интенсивности (следы попадания космических лучей в матрицу, “горячие” пиксели). Но отношение сигнал/шум полученного изображения будет ниже, чем в случае арифметического сложения. Эквивалентом этого режима сложения является команды `smedian` (обрабатывает не более 19 изображений) и `smedian2`.
- Режим “`Min-Max rejection`” основан на исключении из суммирования минимальных и максимальных значений интенсивности каждого пикселя в последовательности складываемых изображений.
- Режим “`Adaptative weighting`” (адаптивное взвешивание) – мощный метод, позволяющий избавиться от “плохих” пикселей. Эквивалентом этого режима сло-

жения является команда `composit2`. Этот итеративный метод подробно описан выше. Для получения хорошего результата обычно достаточно 2 – 5 итераций.

- Режим “Sigma clipping” также применяется для борьбы с пикселями, интенсивность которых значительно отличаются от средней по совокупности складываемых изображений (например, “горячие” пиксели). Эквивалентом этого режима сложения является команда `composit`, описанная выше.
- Режим “Sigma median” похож на предыдущий, но вместо того, чтобы отбросить “плохой” пиксель, его интенсивность заменяется средним значением интенсивности данного пикселя по всей совокупности изображений.

В зависимости от выбранного алгоритма сложения в диалоговом окне ниже списка алгоритмов появляются одно – два поля ввода. Первое из них – Sigma coefficient появляется в случае выбора алгоритмов “Sigma clipping” и “Sigma median”. В него вводится значение параметра [coef. sigma] (см. выше описание команды [composit](#)). Второе – Number of iteration появляется еще и в случае выбора алгоритма “Adaptative weighting”. В это поле вводится количество итераций для всех трех алгоритмов (см. выше описание команд [composit](#) и [composit2](#)).

Как уже было сказано, иногда можно заметить, что интенсивность фона не одинакова на изображениях последовательности. В этом случае перед суммированием любым из перечисленных выше методов, необходимо нормировать интенсивность фона всех изображений на одну и ту же величину. Уровень фона загруженного и отображаемого в главном окне программы изображения можно узнать, введя команду `bg` в командную консоль программы. Нормировать интенсивность фона всех изображений можно с помощью команд `noffset2` и `ngain2`. Если уровень фона на изображениях менялся из-за изменения внешней освещенности, то нужно пользоваться командой `noffset2`. Если же уровень фона менялся, например, из-за изменения от кадра к кадру времени экспозиции или значительно менялась температура камеры, то нужно пользоваться командой `ngain2`. Нормировать уровень фона всех изображений последовательности можно, воспользовавшись диалоговым окном **Offset normalization of a sequence** из меню Processing ([Рис. 30](#)) (либо диалоговым окном **Gain normalization of a sequence**). Здесь в поле Input generic name нужно ввести префикс имен файлов, содержащих исходные изображения, в поле Normalization value – уровень, к которому будут приведены уровни интенсивности фона всех изображений, в поле Output generic name – префикс имен файлов, в которые будут сохранены полученные изображения, в поле Number – количество файлов.

При обработке снимков рассматриваемого примера было замечено, что не все “горячие” пиксели были удалены во время предварительной обработки снимков. Поэтому снимки нужно было складывать с помощью либо алгоритма sigma-clipping, либо алгоритма адаптивного взвешивания. Сложение с помощью либо алгоритма sigma-clipping со следующими параметрами Sigma coefficient = 2.0 и Number of iteration = 3 привели к получению удовлетворительного результата. Полученное в результате изображение показано на [Рис. 31](#) (отображенное в окне программы изображение уменьшено в два раза). Теперь можно переходить к корректированию цветового баланса полученного изображения.

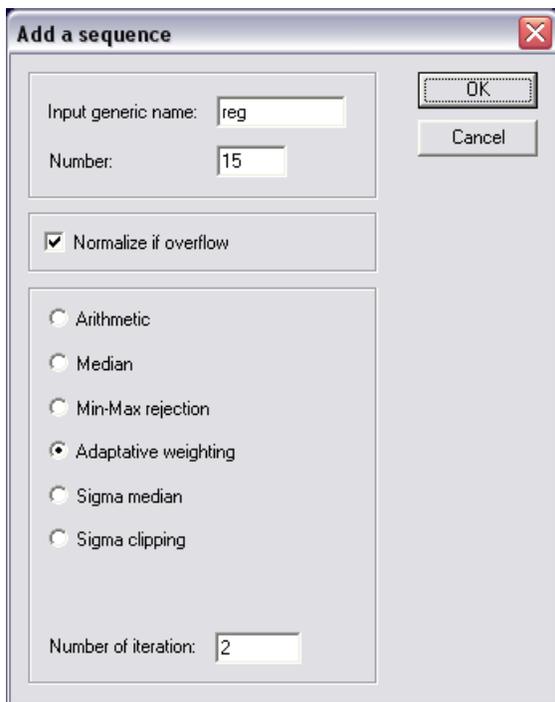


Рис. 29.

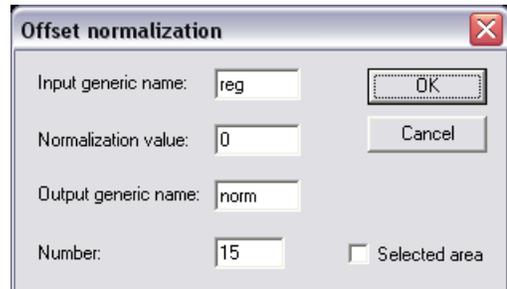


Рис. 30.

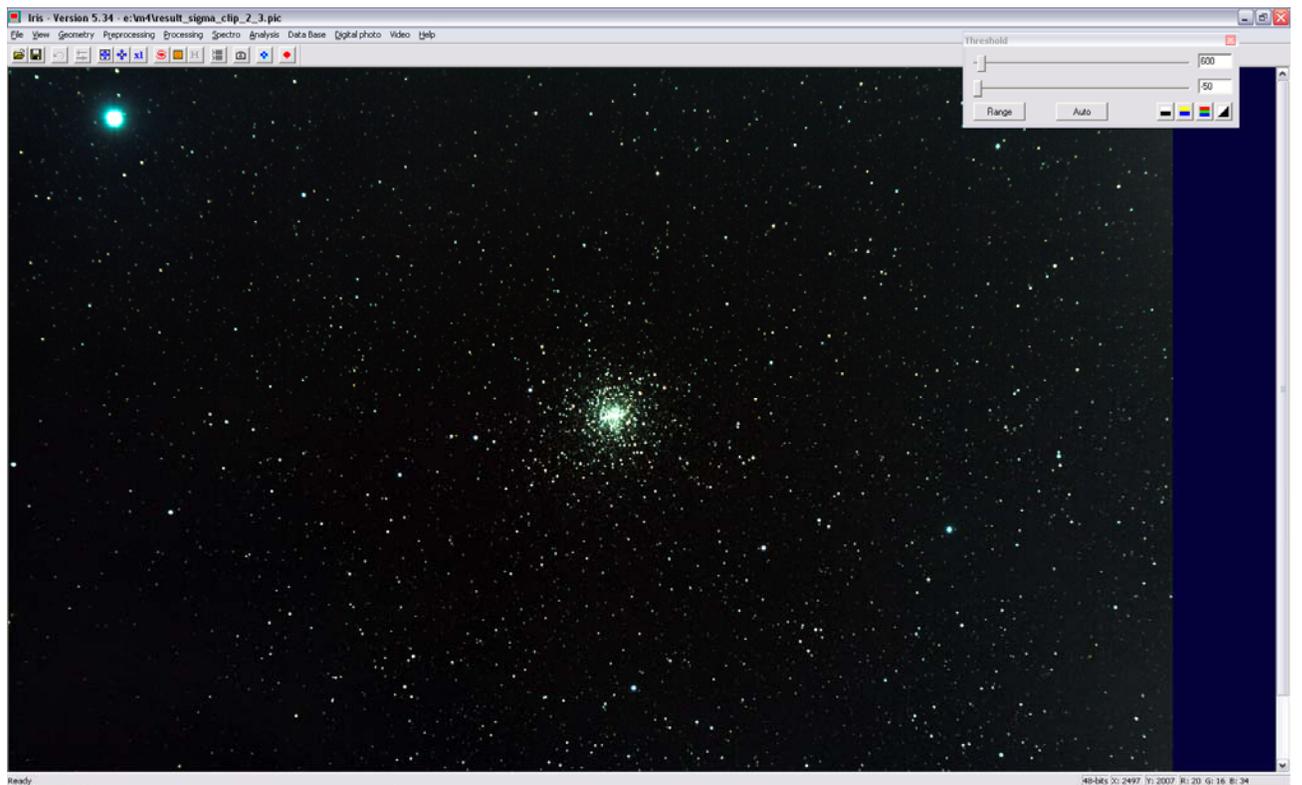


Рис. 31.

8.4. Коррекция цветового баланса

Итак, на предыдущем этапе было получено изображение, являющееся суммой всех исходных кадров. Если в диалоговом окне, показанном на [Рис. 10](#), в группе полей **White balance** не были введены параметры настройки цветового баланса камеры, то полученное в результате сложения изображение, скорее всего, будет выглядеть несколько странно. Например, снимки, сделанные камерами фирмы Canon выглядят зелеными (в той или иной степени это относится и к камерам других производителей). Это связано с тем, что эквивалентная чувствительность матрицы камер различна для лучей с разной длиной волны. Конечно, можно в диалоговом окне, показанном на [Рис. 10](#), ввести соответствующие коэффициенты, но трудность в том, что их нужно измерять. Сделать это можно, например, так: снять белый лист бумаги в ясную солнечную погоду, открыть полученный RAW-файл в IRIS, преобразовать открытое изображение в формат RGB, выделить произвольный фрагмент изображения, выполнить команду **white**, в окне **Output** считать коэффициенты (например, $R=1.205$ - $G=1.000$ - $B=1.036$) и ввести их в поля **R**, **G** и **B** диалогового окна предварительно отметив поле **Apply**. Этот метод дает не очень стабильные результаты. Поэтому можно воспользоваться другим методом, основанным на использовании команд **black** и **white** (или **white2**).

Метод заключается в следующем. На изображении, полученном в результате обработки и сложения исходных данных, нужно с помощью мыши выделить область размером не менее 50×50 пикселей, в которую не попадают звезды. После этого необходимо выполнить команду **black**. В результате, в окне **Output** будет показана средняя величина уровня фона неба в выделенной области для каждого цветового канала. Найденные уровни будут автоматически вычтены из соответствующего цветового канала всего изображения, что приведет к получению черного цвета фона, по крайней мере, в выделенном фрагменте изображения. Теперь, когда черный цвет на изображении получен, перейдем к получению белого цвета там, где он должен быть. Для этого в IRIS реализованы две команды: **white** и **white2**. Теперь нужно с помощью мыши выделить область, цвет внутри которой должен быть белым, и выполнить команду **white**. Для каждого цветового канала программа вычислит медиану интенсивности внутри заданной области, найдет и выведет в окно **Output** множители, приводящие к выравниванию медиан интенсивностей в каналах. Аналогичным образом работает команда **white2** с той лишь разницей, что на изображении нужно выделить средней яркости одиночную звезду белого цвета (желательно спектрального класса G5 или близкую к этому). В каждом цветовом канале IRIS выполнит моделирование изображения выбранной звезды с помощью гауссова распределения и подберет множители, приводящие найденные распределения к одному виду. В результате умножения интенсивности каждого пикселя в данном цветовом канале на соответствующий множитель, цвет в выделенной области будет приведен к белому. После всех этих операций в главном окне программы будет показано изображение с исправленным цветовым балансом. Основной недостаток данного метода заключается в том, что для его корректной работы необходимо присутствие на изображении белого объекта, например, полярной шапки на Марсе или звезды спектрального класса G0 – G9.

Результат коррекции цветового баланса изображения, полученного в рассматриваемом примере, показан на [Рис. 32](#).

8.5. «Выравнивание» фона неба

9. Сохранение полученного результата