

УДК 004.932.4+621.397.424.2

## Методы и расчеты, применяемые к изображениям новых подсмотровых систем САО РАН

*И.В.Шалдырван, В.В. Комаров, М.Ю. Фокин*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167, Россия  
*Blackflamberg6@yandex.ru*

Поступила в редакцию 26 сентября 2023 г.

**Аннотация.** В работе описываются методы и расчеты обработки изображений, полученных с IP-камер на базе CMOS-матриц, которые используются на Верхней научной площадке САО РАН. Представлены два метода автоматического переключения режимов работы камеры (день/ночь), выбрав наиболее предпочтительный из них. Приведены способы обработки изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности. Исполнена камера для получения серий снимков Полярной звезды, и описан метод вычисления seeing по этим сериям. Оценен потенциал применения данных методов обработки изображений для нужд САО РАН.

**Ключевые слова:** CMOS-матрица, IP-камера, метод обработки изображений

### 1 Введение

Проблеме видеомониторинга – от научных камер до охранных систем – в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) уже не один десяток лет. Двадцать лет назад был разработан и внедрен в эксплуатацию на Верхней научной площадке (ВНП) цифровой телевизионный комплекс Большого телескопа азимутального (БТА) и оптического телескопа с диаметром главного зеркала 1 метр – Цейсс-1000, который работает до сих пор при постоянной модернизации (Комаров, 2013). Для этого комплекса мы подбираем высокочувствительные матрицы массового производства (Комаров, Семенко, 2018), позволяющие создавать десятки камер для подсмотров научной аппаратуры, гидов телескопов, обзоров ночного неба, подкупольных камер, для которых нельзя использовать инфракрасную подсветку.

Как известно, долгое время матрицы Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) по светочувствительности и качеству получаемого изображения не могли конкурировать с матрицами Charge-Coupled Device (CCD), и их применение находилось в основном в области систем охранного видеонаблюдения. С 2008 года прогресс в исполнении CMOS-матриц шагнул далеко вперед, и на данный момент применяемые технологии при производстве CMOS-матриц позволяют конкурировать с CCD-матрицами (Шалдырван и др., 2022).

В настоящее время мы используем фотоприемники на базе CMOS-матриц в системах мониторинга круглосуточного обзора неба в окрестности крупнейшего российского оптического телескопа БТА с диаметром главного зеркала 6 м, а также в системе контроля подкупольного пространства БТА и Цейсс-1000.

Современные IP-камеры на основе CMOS-матриц имеют особенности в программном обеспечении (ПО) контроллера управления, сокращающие возможности камер, поэтому необходимо применять различные методы обработки изображений, получаемых этими камерами. В данной работе описываются методы обработки изображений, полученных с IP-камер на базе CMOS-матриц, которые используются на ВНП САО РАН, а также расчеты, применяемые для этих методов.

## 2 Метод автоматического переключения режимов работы камеры (день/ночь)

Современные IP-камеры на основе CMOS-матриц позволяют получать приемлемые изображения в условиях недостаточной освещенности и имеют удобный в управлении веб-интерфейс, а также используют унифицированные протоколы передачи данных, но обычно имеют встроенное в контроллер управления ПО для управления режимами. Хотя диапазон чувствительности и динамический диапазон этих матриц позволяют работать как днем, так и ночью, этот диапазон условно разделен на области посредством ПО контроллера управления.

Эта особенность камер особо важна в частном случае использования камеры, направленной на БТА с площадки Zeiss-1000 (Комаров и др., 2022), так как широта ВВП и поле зрения камеры таковы, что в зимний период по полю зрения камеры днем проходит диск Солнца, а в летний период ночью по нему проходит в полнолуние диск Луны, что еще больше влияет на диапазон чувствительности, при котором камера получает приемлемые для наблюдателя изображения.

Так как ПО контроллера камеры также управляет ее сетевыми настройками, а веб-интерфейс является частью данного ПО, отойти от его использования сейчас не представляется возможным. Поэтому в целях использования всего диапазона чувствительности данных матриц были разработаны два метода автоматического переключения режимов работы камеры: с привязкой ко времени суток и с привязкой к рассчитанному уровню яркости получаемых изображений. В обоих методах используются сохраненные конфигурации работы камеры с предустановленными настройками чувствительности и заданными диапазонами экспозиции. В первом методе смена режима работы камеры производится путем смены конфигурации работы камеры с привязкой ко времени суток. Во втором методе этот процесс осуществляется с привязкой к рассчитанному уровню яркости последнего полученного изображения. Для расчета яркости изображения используется скрипт, написанный с применением языка программирования Python (Python-скрипт) с использованием свободно распространяемых библиотек `numpy`, `scipy`, `cv2`. Для автоматизации и в первом, и во втором методе используется свободно распространяемое ПО и управляющий `.bat`-файл, работающий в консоли операционной системы. Опытным путем установлены уровни яркости кадра, запускающие процесс переключения режима работы камеры, а также сформированы и сохранены две дополнительные конфигурации работы камеры.

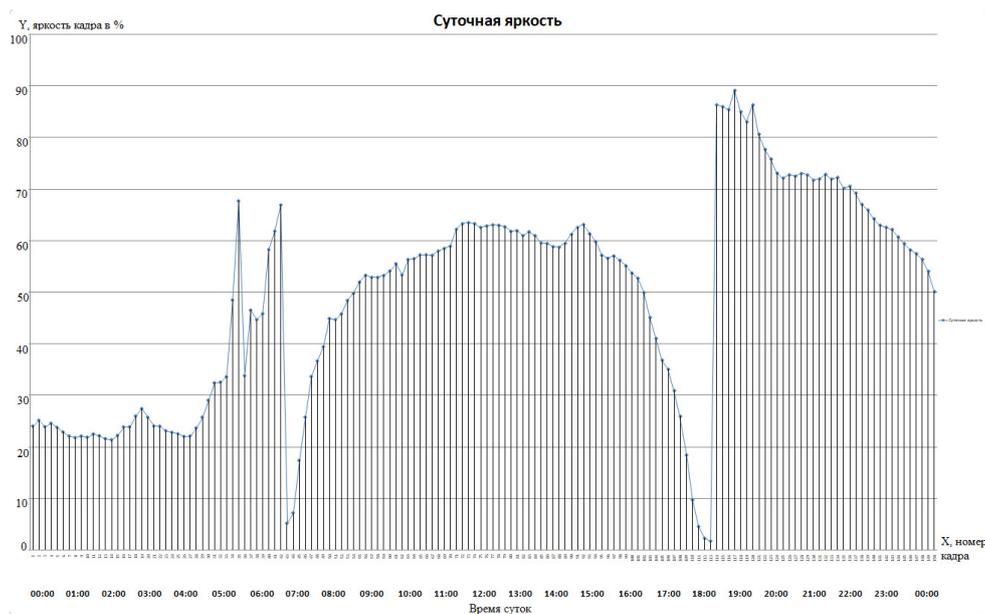
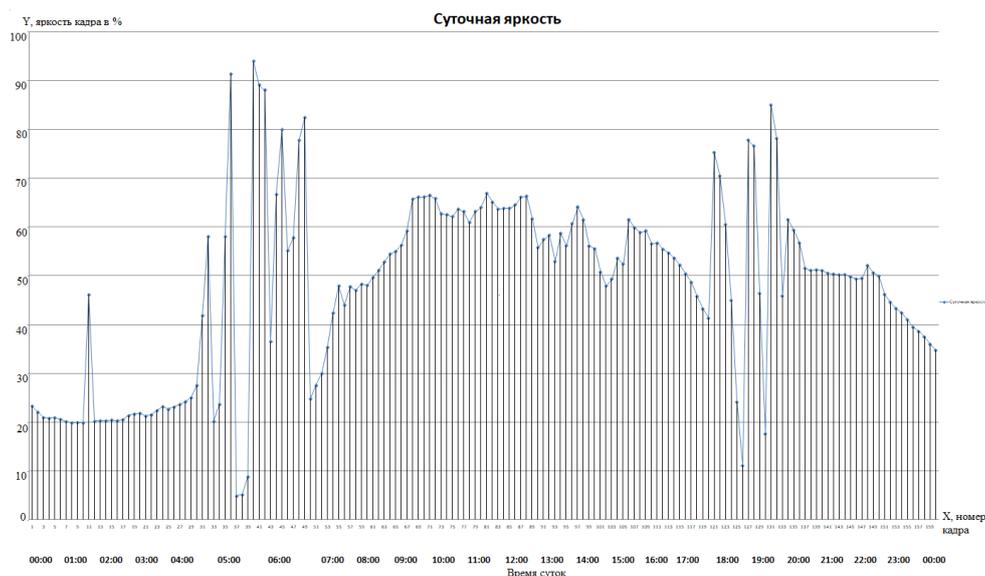


Рис. 1. График суточной яркости, первый метод



**Рис. 2.** График суточной яркости, второй метод

На рис. 1 приведен график изменения яркости изображений, полученных с периодичностью в 10 минут в течение суток камерой, направленной на БТА с площадки Zeiss-1000. С использованием первого метода изменения режима работы камеры изображения были получены 27.02.2023.

На рис. 2 приведен график изменения яркости изображений, полученных в тех же условиях, но с применением второго метода изменения режима работы камеры. Пик на кадре 11 – засветка фарами проезжавшего автомобиля, в промежутке между кадрами 33–48, а также между кадрами 120–130 периодичность составляла не 10, а 5 мин. Изображения получены 28.03.2023.

Применение первого метода имеет ряд недостатков: сложную реализацию привязки к изменяемому в течение года времени захода Солнца за горизонт, а также длинный промежуток в момент переключения режимов с недостаточной или излишней яркостью изображений. Исходя из графиков, видно, что второй метод дает суммарно за сутки в сумеречный период в 2–2.5 раза более короткий промежуток с недостаточной или излишней яркостью изображений.

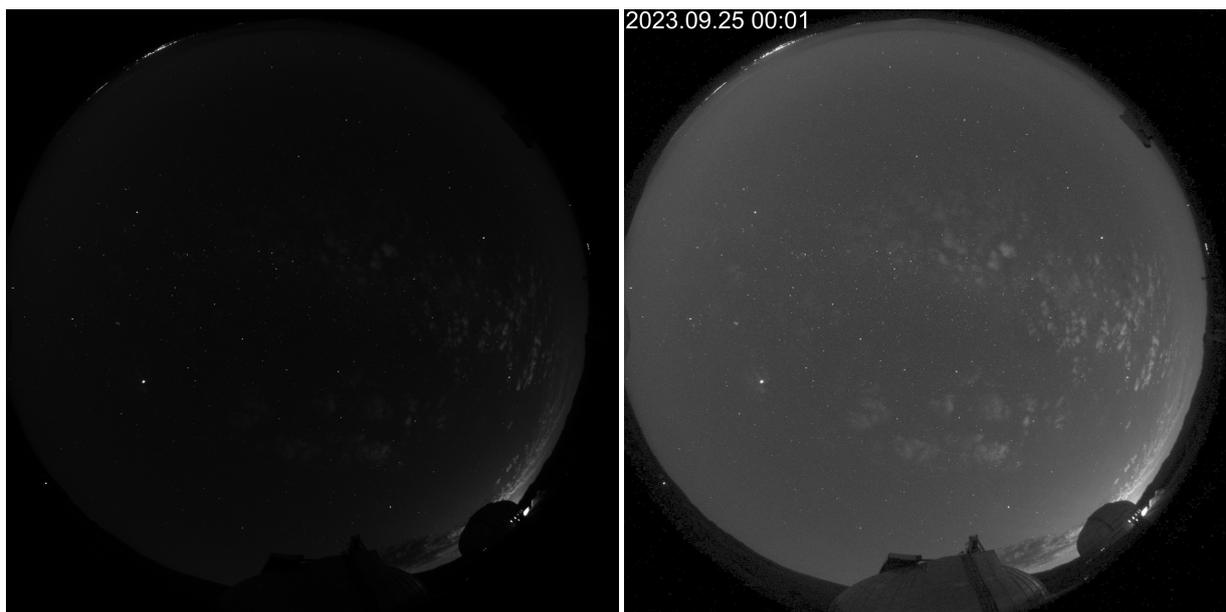


**Рис. 3.** Изображение подкупольного Zeiss-1000 без обработки ПО ImageMagick



**Рис. 4.** Изображение подкупольного Zeiss-1000 с обработкой ПО ImageMagick

Упрощенная версия метода привязки к рассчитанному уровню яркости последнего полученного изображения используется также в обработке изображения подкупольного помещения Zeiss-1000. Этот метод применяется в совокупности с использованием свободно распространяемого ПО ImageMagick для осветления кадров, полученных в условиях недостаточной освещенности. Данное ПО функционирует также в консоли операционной системы. Изображения подкупольного помещения Zeiss-1000 до и после обработки этим ПО показаны на рис. 3 и рис. 4 соответственно.



**Рис. 5.** Изображение системы обзора ночного неба компании Miratlas без обработки ПО ImageMagick

**Рис. 6.** Изображение системы обзора ночного неба компании Miratlas с обработкой ПО ImageMagick

Также это же свободно распространяемое ПО применяется для осветления кадров, получаемых современной системой обзора ночного неба от компании Miratlas на базе CMOS-матрицы Basler. Для выведения на получаемое изображение даты и времени его создания применяется данное ПО совместно со скриптом получения даты и времени создания файла, запускаемого bat-файлом. Изображения всего неба, получаемые данной системой до и после обработки, показаны на рис. 5 и рис. 6 соответственно.

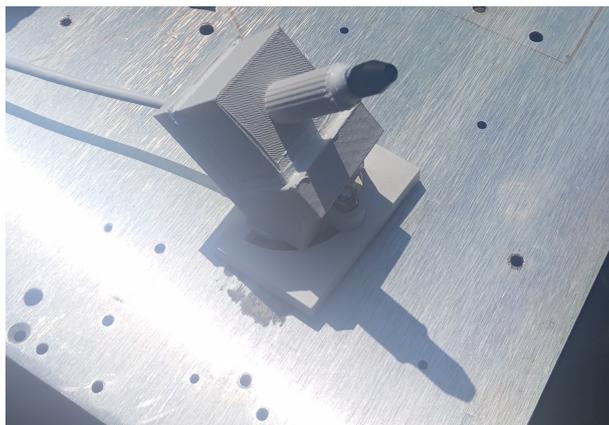
### 3 Метод вычисления качества изображения (seeing) по серии изображений полярной звезды

Имея возможность конвертации получаемых при помощи IP-камер изображений в формат .fits, мы открываем дополнительные методы исследования различных параметров изображения звезд. Так, была приобретена IP-камера с CMOS-матрицей Sony IMX335 с разрешением  $2592 \times 1944$  пикселей, форматом изображения 4/3 и объектив с фокусным расстоянием (FL) = 63.5 мм, с полем зрения  $H = 4.7^\circ$  и  $V = 3.5^\circ$ .

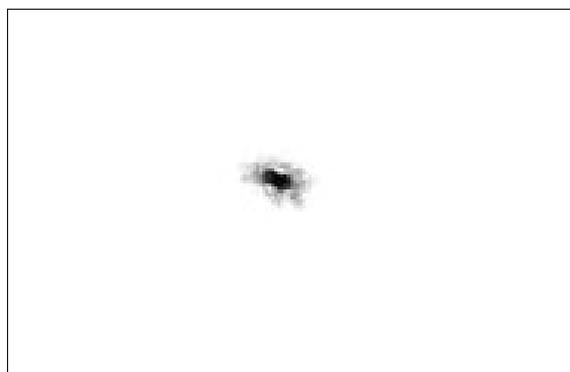
Расчеты показывают, что при использовании данных камеры и объектива в получаемом изображении 1 пиксель имеет угловой размер  $\approx 6.5''$ . Был смоделирован и исполнен в атмосферостойких материалах корпус для данной камеры, изображенный на рис. 7.

Используя библиотеки Python (numpy, scipy, matplotlib, os, pylab, astropy), по сконвертированным в формат .fits изображениям с этой камеры, направленной на Полярную звезду, были вычислены центр фигуры (центроид) звезды и значение полной ширины на половине максимума (FWHM) звезды. По полученным результатам вычислены значения астрономической видимости, обусловленной состоянием атмосферы (seeing) и радиуса Фрида ( $r_0$ ). Имея эти значения и зная широту, на которой установлена камера, не представляет сложности вычисление значений seeing и  $r_0$  в зените. В целях уменьшения влияния суточной абберации на получаемые значения до ничтожных величин, для их вычислений требуется серия снимков с короткими интервалами между ними и короткими экспозициями, которые позволяют получать камеры с CMOS-матрицами.

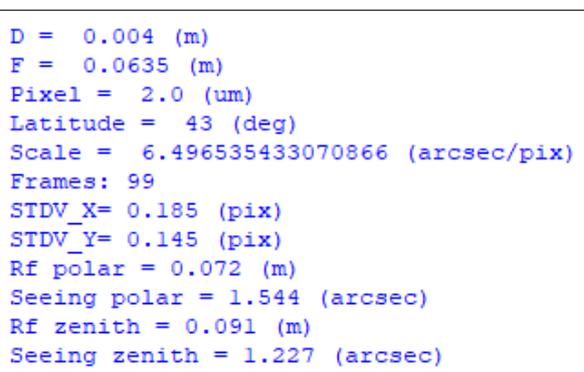
На рис. 8 показано в увеличении изображение Полярной звезды, полученное данной камерой. Растянутое изображение указывает, что это двойная звезда с расстоянием между компонентами  $\approx 2.5\text{--}3$  пикселя или  $\approx 18''$ .



**Рис. 7.** Корпус камеры, размеры не превышают  $10 \times 10 \times 10$  см



**Рис. 8.** Изображение Полярной звезды



**Рис. 9.** Результат исследования серии изображений

На рис. 9 получен результат на примере серии из 100 изображений с экспозицией 0.1428 с и задержками между изображениями в 4 с за дату 04.08.2023, камера установлена на крыше лабораторного корпуса САО РАН.

Полученные данные коррелируют с данными наблюдений за эту ночь, что позволяет использовать метод на практике.

Также следует отметить использование метода панорамирования для получения изображения всей небесной полусферы путем применения свободно распространяемого набора утилит и библиотек Panorama Tools, разработанного профессором физики и математики Гельмутом Дершем (Prof. Dr. H. Dersch – HFU Furtwangen). Данный метод применяется в обработке изображений системы 3D-мониторинга небесной полусферы и позволяет уменьшить искажения изображения относительно визуально наблюдаемой картины, а также увеличить качество изображения для используемой пары камера/объектив (Фокин и др., 2022).

## 4 Заключение

Технологии, используемые в производстве CMOS-матриц в последнее десятилетие, позволили создавать дешевые IP-камеры, имеющие приемлемые для работы в ночное время характеристики. Применение IP-камер позволяет использовать более унифицированные методы передачи информации, что упрощает топологию систем, а значит, имеет хороший потенциал. Методы и расчеты, описанные в данной статье, позволяют получать больше информации для мониторинга ночного неба вблизи ВПП САО РАН, а также имеют потенциал использования и в любительской астрономии, так как применимы к камерам массового производства и могут быть реализованы на базе широко используемой ОС Windows.

## Литература

- Комаров В.В., 2013. Материалы V Международной научной конференции “Системный синтез и прикладная синергетика”. Т. III. Пятигорск. С. 72. [Komarov V.V., 2013. Proceedings of the V International Scientific Conference “System Synthesis and Applied Synergetics”, vol. III, Pyatigorsk, pp. 72–77. (In Russ.)]
- Комаров В.В., Семенко Е.А., 2018. Известия ЮФУ. Технические науки. Т. 7. С. 32. [Komarov V.V., Semenko E.A., 2018. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, vol. 7. pp. 32–46. (In Russ.)]
- Комаров В.В., Емельянов Э.В., Шергин В.С., Фокин М.Ю., 2022. XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Труды конференции. Москва. С. 272. [Komarov V.V., Emel'yanov E.V., Shergin V.S., Fokin M.Yu., 2022. XXVI International Scientific and Technical Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices. Proceedings of the conference, Moscow, pp. 272–274. (In Russ.)]
- Фокин М.Ю., Комаров В.В., Шалдырван И.В., 2022. Сборник научных работ XI Всероссийской научной конференции. Ростов-на-Дону – Таганрог. С. 72. [Fokin M.Yu., Komarov V.V., Shaldyrvan I.V., 2022. Collection of scientific papers of the XI All-Russian Scientific Conference. Rostov-on-Don – Taganrog, pp. 72–76. (In Russ.)]
- Шалдырван И.В., Комаров В.В., Фокин М.Ю., 2022. Сборник научных работ XI Всероссийской научной конференции. Ростов-на-Дону – Таганрог. С. 77. [Shaldyrvan I.V., Komarov V.V., Fokin M.Yu., 2022. Collection of scientific papers of the XI All-Russian Scientific Conference. Rostov-on-Don – Taganrog, pp. 77–81. (In Russ.)]

## Methods and calculations applied to images of the new viewing systems of SAO RAS

*I. V. Shaldyrvan, V. V. Komarov, M. Yu. Fokin*

Special Astrophysical Observatory, Nizhnij Arkhyz 369167, Karachai-Cherkessian Republic, Russian Federation  
*Blackflamberg6@yandex.ru*

**Abstract.** The paper describes methods and calculations for processing images obtained from IP cameras based on CMOS matrices, which are used at SAO RAS Upper Observation Area. Two methods for automatically switching camera operating modes (day/night) are presented, and the most preferred one is selected. Methods for processing images obtained in low-light conditions are presented. A camera was built to obtain series of images of the Polar Star, and a method for calculating seeing from these series was described. The potential of using these image processing methods for the needs of SAO RAS was assessed.

**Key words:** CMOS sensor, IP camera, image processing method