

УДК 52-17

О повышении точности фотометрии рядов панорамных наблюдений

А. А. Шляпников

ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», Научный, Крым, 298409
aas@crao.crimea.ru

Поступила в редакцию 14 ноября 2017 г.

Аннотация. Описан метод повышения точности при выполнении фотометрии значительного числа объектов в изображении. Продемонстрированы ряды наблюдений звезд до и после использования предлагаемого метода. Представлены коэффициенты парной корреляции для выбора объектов поля, по которым выполняется фотометрическая редукция. Показано, что применение метода на конкретном примере повышает точность оценок блеска в 3.6 раза.

ABOUT INCREASING PHOTOMETRIC ACCURACY FOR SETS OF PANORAMIC OBSERVATIONS, *by A. A. Shlyapnikov*. A method for increasing accuracy in performing photometry of a significant number of objects in an image is described. Series of stellar observations before and after using the proposed method are demonstrated. We present coefficients of pair correlation for the selection of field objects for which photometric reduction is performed. The application of the method on a specific example was shown to increase the accuracy of brightness estimates by a factor of 3.6.

Ключевые слова: каталоги, фотометрия, анализ

1 Введение

Корректный учет изменяющихся условий наблюдений является основным критерием для получения высокоточных фотометрических измерений. Существуют различные способы для выбора звезд сравнения при исследовании переменных объектов. В данной статье представлен метод, основанный на корреляционном анализе фотометрических рядов, позволяющий значительно повысить точность оценок блеска. В основе метода лежит утверждение, что две звезды, разнесенные в поле регистрируемого изображения участка неба, как и удаленные одна от другой в пространстве, не могут синхронно изменять свой блеск, если эти изменения не обусловлены атмосферными и/или инструментальными факторами.

2 Корреляционный анализ фотометрических рядов и выбор звезд сравнения

Для анализа условий наблюдений, включающих: изменение прозрачности атмосферы, возможное экранирование куполом входного отверстия телескопа, ошибки ведения часового механизма, нестабильность регистрирующей аппаратуры и другие, были отобраны 12 звезд в диапазоне 11^m – 14^m .

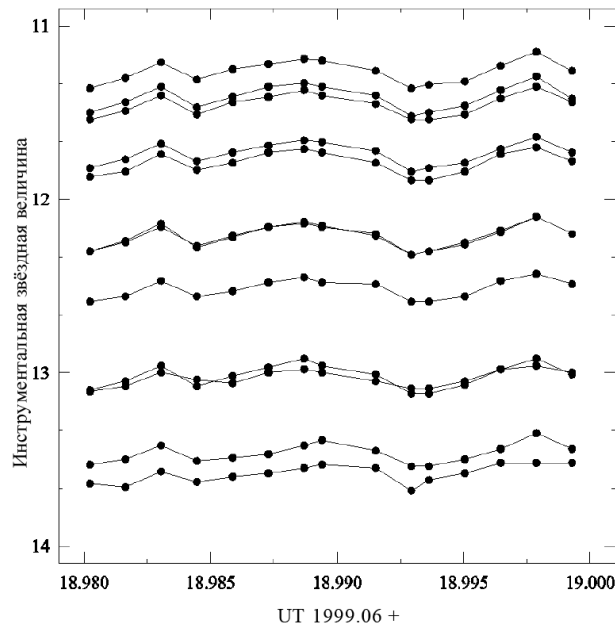


Рис. 1. Изменение блеска отобранных звезд с течением времени

По зависимости инструментальной звездной величины от времени получения изображений для отобранных объектов, представленной на рис. 1, видно, что условия наблюдений менялись, причем это сказывалось на всех анализируемых объектах в той или иной мере одинаково. С целью выбора объектов, по которым следует провести учет обнаруженных изменений блеска, были рассчитаны коэффициенты парной корреляции по всем 12 звездам.

Коэффициенты парной корреляции рассчитывались по следующим соотношениям:

$$a = \sum_{i=1}^n m_{1i}; b = \sum_{i=1}^n m_{2i}; c = \sum_{i=1}^n m_{1i}^2; d = \sum_{i=1}^n m_{2i}^2; e = \sum_{i=1}^n (m_{1i} \times m_{2i}). \quad (1)$$

По набору формул (1) определялось пять постоянных, вычисленных на основе значений инструментальных звездных величин, найденных после обработки полученного ряда наблюдений. Здесь: m_1 и m_2 – единичные определения звездных величин для первой и второй звезд ряда ($i = 1, i = 2, \dots, i = n$); a – сумма значений m_1 для первой звезды; b – сумма значений m_2 для второй звезды; c и d – соответственно суммы квадратов звездных величин, определенных по всему ряду наблюдений, и e – сумма произведений значений m_1 и m_2 для всего ряда. После определения значений a, b, c, d и e по формуле (2) рассчитывался коэффициент парной корреляции R между значениями инструментальных звездных величин для первой и второй звезд ряда. Затем определялся R для второй и третьей звезд, третьей и четвертой и т. д.

$$R = \frac{e - a \times b/n}{\sqrt{(c - \frac{a^2}{n}) \times (d - \frac{b^2}{n})}}. \quad (2)$$

Все данные по определению коэффициентов парной корреляции для 12 отобранных звезд представлены в таблице 1. Здесь в первой строке и первой колонке указаны номера (U0900 134+...) объектов по каталогу USNO-A2.0 (Монет, 1998), в остальных – соответствующие коэффициенты парной корреляции. По таблице видно, что связь между изменениями условий наблюдений для всех рассматриваемых объектов есть, и она близка к линейной зависимости. Для учета изменений были отобраны три объекта: № 22599, 27263 и 38619 с наибольшими коэффициентами парной корреляции (их значениями выделены в таблице жирным шрифтом).

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции для данных, представленных на рис. 1

№	22519	22599	24302	27263	28448	30337	31227	32598	33929	36221	38619	40163
22519	1.000	0.941	0.942	0.933	0.843	0.917	0.938	0.930	0.929	0.893	0.942	0.940
22599	0.941	1.000	0.991	0.990	0.822	0.984	0.994	0.991	0.988	0.916	0.992	0.972
24302	0.942	0.991	1.000	0.987	0.794	0.985	0.986	0.993	0.989	0.899	0.994	0.977
27263	0.933	0.990	0.987	1.000	0.779	0.984	0.981	0.989	0.989	0.903	0.995	0.975
28448	0.843	0.822	0.794	0.779	1.000	0.812	0.792	0.778	0.786	0.843	0.787	0.859
30337	0.917	0.984	0.985	0.984	0.812	1.000	0.969	0.983	0.988	0.934	0.981	0.975
31227	0.938	0.994	0.986	0.981	0.792	0.969	1.000	0.992	0.982	0.889	0.981	0.972
32598	0.930	0.991	0.993	0.989	0.778	0.983	0.992	1.000	0.988	0.899	0.992	0.970
33929	0.929	0.988	0.989	0.989	0.786	0.988	0.982	0.988	1.000	0.898	0.982	0.981
36221	0.893	0.916	0.899	0.903	0.843	0.934	0.889	0.899	0.898	1.000	0.904	0.941
38619	0.942	0.992	0.994	0.995	0.787	0.981	0.981	0.992	0.982	0.904	1.000	0.969
40163	0.940	0.972	0.977	0.975	0.859	0.975	0.972	0.970	0.981	0.941	0.969	1.000

С целью уменьшения влияния собственных ошибок измерений каждого из отобранных объектов их средние значения уклонений от среднего значения инструментальной звездной величины использовались для учета изменений условий наблюдений всех остальных объектов. Результаты фотометрической редукиции для 12 анализируемых объектов представлены на рис. 2.

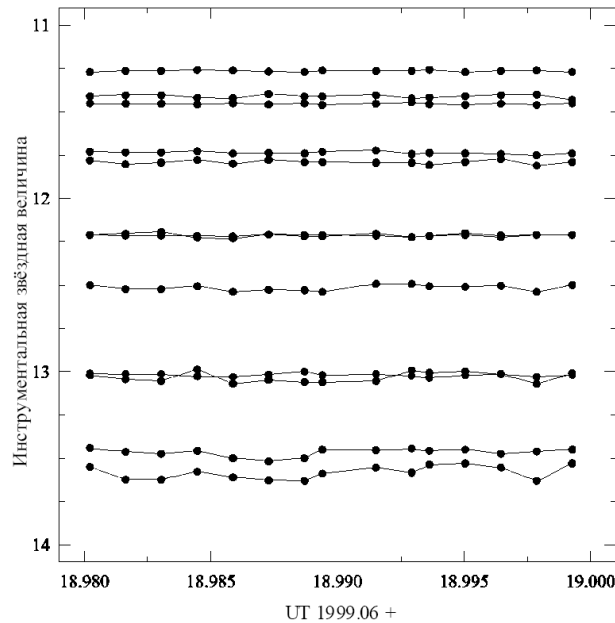


Рис. 2. Изменение блеска отобранных звезд после редукиции

Как видно из рисунка, учет изменений в условиях наблюдений привел к выравниванию “кривых блеска” рассматриваемых объектов. При этом выросла и внутренняя точность измерений объектов. Последнее проиллюстрировано в таблице 2. Здесь в первой строке, как и в таблице 1, указаны номера объектов. Звездочкой отмечены объекты, по которым выполнена редукиция. Δm , σ — нередуцированная средняя инструментальная звездная величина и соответствующая ей ошибка и $\Delta m_{ред}$, $\sigma_{ред}$ — редуцированная средняя инструментальная звездная величина и соответствующая ей ошибка.

Таблица 2. Сравнение данных анализируемых объектов до и после редукиции

№	22519	22599*	24302	27263*	28448	30337	31227	32598	33929	36221	38619*	40163
Δm	13.466	12.213	11.737	11.454	13.583	11.791	12.214	11.411	13.019	13.033	11.264	12.516
σ	0.057	0.067	0.064	0.064	0.053	0.065	0.068	0.070	0.068	0.047	0.065	0.055
$\Delta m_{ред}$	13.466	12.213	11.737	11.454	13.583	11.791	12.214	11.411	13.019	13.033	11.264	12.516
$\sigma_{ред}$	0.023	0.006	0.007	0.005	0.039	0.011	0.010	0.009	0.009	0.029	0.005	0.017

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что проведение редукиции не повлияло на среднее значение инструментальной звездной величины объектов. Это указывает на то, что использованный метод не ведет к появлению систематической ошибки. С другой стороны, выросла точность в определении среднего значения инструментальной звездной величины. Так, средняя точность в оценке инструментальных звездных величин для всех 12 рассмотренных объектов до редукиции (без учета ошибок для объектов, по которым проводилась редукиция) составляла $0^m.061$, а после редукиции составила $0^m.017$, т. е. выросла в 3.6 раза.

3 Заключение

Очевидно, что предложенный метод повышения точности не является универсальным. Подбор звезд сравнения для исследуемых переменных предполагает учет показателей цвета, близость к исследуемому объекту, соотношение звездных величин и другие критерии. Однако при обработке всех объектов в получаемых изображениях описанный метод позволяет выделить звезды с минимальными относительными изменениями блеска. Для всех остальных объектов, применяя редукицию, можно увеличить вероятность обнаружения новых переменных в наблюдаемых полях.

Для отработки метода использованы наблюдения области неба с астероидом 148 Gallia, выполненные на 702-мм телескопе с ПЗС-камерой ST-7 в обсерватории им. профессора Н.Д. Калининкова Николаевского государственного педагогического института в 1999 году, участником которых являлся автор (Гузий и др., 2000).

Отметим также, что предложенный метод сейчас применяется для обработки наблюдений транзитов экзопланет на телескопе МТМ-500 Крымской астрофизической обсерватории с ПЗС-камерой Арогее У6. При этом, учитывая малую долю изменения блеска звезды, удается производить анализ транзитного явления со средней точностью $0^m.005$.

Литература

- Гузий С.С., Панько Е.А., Хейфец И.М., Шляпников А.А. // Труды первой международной конференции КАМАК 99. / Ред. Чурюмов К.И. Винница. 2000. С. 227.
 Монет (Monet D.) // USNO-A2.0: A Catalog of Astrometric Standards. U.S. Naval Observatory Flagstaff Station. 1998.