

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА ПЛАТО НА КРИВЫХ БЛЕСКА ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

А. Д. Лаврухина¹, К. Л. Маланчев^{2,3}

¹*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет космических исследований,* ²*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,* ³*Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign*

Современные астрономические обзоры содержат информацию о сотнях миллионов кривых блеска переменных астрономических источников. Для эффективной работы с такими объемами данных требуются автоматические методы обработки. В данной работе мы представляем новый автоматический метод, предназначенный для выделения переменной части кривой блеска, основанный на алгоритме вычисления порога бинаризации Оцу. В качестве примера приводятся результаты применения этого алгоритма для кривых блеска разделенных затменных двойных и карликовых новых из каталогов проекта OGLE.

AUTOMATIC METHOD OF PLATEAU SEARCH ON LIGHT CURVES OF VARIABLE STARS

A. D. Lavrukina¹, K. L. Malanchev^{2,3}

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Space Research,* ²*Lomonosov Moscow State University, Sternberg astronomical institute,* ³*Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign*

Modern astronomical surveys contain information about a hundred million light curves of variable astronomical sources. It needs to have automatic methods to work with such an amount of information. In this paper, we present the new method to extract a variable part of a light curve, based on Otsu's binarization algorithm. We state the results of applying this method to the light curves of detached eclipsing binaries and dwarf novae from catalogues of the OGLE project as the illustration.

Астрономия входит в эпоху больших обзоров переменного неба, таких как Zwicky Transient Facility и грядущий Legacy Survey of Space and Time. Эти обзоры предназначены для мониторинга всей видимой части неба за несколько ночей. Для эффективной работы с такими объемами данных требуются методы автоматической обработки. Одним из методов является извлечение признаков из кривых блеска для дальнейшего их использования в задачах классификации и определения физических параметров переменных источников. В настоящее время уже разрабатываются библиотеки, предназначенные для извлечения таких признаков [1]. При этом важной задачей все еще остается разработка новых признаков, которые хорошо бы подошли для решения задачи обнаружения объектов конкретного типа. Одной из таких задач может быть поиск кривых блеска карликовых новых, демонстрирующих частые вспышки.

В рамках разрабатываемой библиотеки `light-curve` [2, 3] нами был рассмотрен ряд признаков, характеризующих кривые блеска вспыхивающих объектов наилучшим образом. Большинство используемых в подобных исследованиях признаков предназначены для описания распределения магнитуд (или потоков) наблюдений (например, моменты распределения, интерквартильный интервал и проч.) или формы кривой блеска [4, 5]. Однако

эти признаки обычно не чувствительны к асимметрии распределения магнитуд, то есть не способны отличить объекты с поярчениями от затменных систем, которые занимают значительную часть от всех известных переменных звезд [6]. Таким образом, было бы интересным использование признаков, описывающих различия между переменной и постоянной кривой блеска.

В данной работе нами рассматривается алгоритм Оцу [7], который используется в областях обработки изображений и компьютерного зрения в задачах обнаружения объектов. Основная идея алгоритма заключается в подборе такого порога яркости, по которому можно было бы отделить объект от фона. Этот алгоритм, примененный к выборке магнитуд кривой блеска, может позволить отделить переменную часть кривой блеска от постоянной.

Мы впервые предлагаем применение алгоритма Оцу к кривым блеска переменных звезд и демонстрируем результаты его работы для выборок карликовых новых и разделенных затменных двойных систем из каталогов проекта OGLE [8, 9].

Метод Оцу [7] используется в области компьютерного зрения для бинаризации изображения. Исходная выборка яркости пикселей разделяется на две подвыборки по пороговому значению яркости. Алгоритм основывается на идее минимизации внутриклассовой дисперсии σ_W^2 (1). Было показано [7], что выбор порога на основе минимизации дисперсии внутри подвыборок эквивалентен выбору на основе максимизации межклассовой дисперсии σ_B^2 (2):

$$\sigma_W^2 = w_0\sigma_0^2 + w_1\sigma_1^2, \quad (1)$$

$$\sigma_B^2 = w_0w_1(\mu_1 - \mu_0)^2, \quad (2)$$

где w_i — вероятность подвыборки (отношение количества объектов в подвыборке к общему числу объектов выборки); σ_i^2 — дисперсия подвыборки; μ_i — среднее подвыборки; $i = 0, 1$ — тусклая и яркая подвыборка. Наша идея заключается в том, что в результате работы алгоритма максимумы блеска карликовой новой окажутся в яркой подвыборке, а ее плато — в тусклой. Аналогично минимумы блеска затменной двойной окажутся в тусклой подвыборке, а ее плато — в яркой.

Кривые блеска в фильтре I карликовых новых и затменных двойных взяты из обзоров проекта OGLE [10, 11]. Для выборки затменных звезд нами было решено использовать только разделенные системы, так как их кривая блеска состоит из затмений и плато. Для их отбора была проведена предварительная фильтрация данных: выбирались объекты, классифицированные в каталоге OGLE как nonEC (разделенные затменные двойные) и с периодом больше чем один день.

На рис. 1 изображены несколько примеров работы алгоритма Оцу на нескольких кривых блеска. На левых панелях рисунка видно, что алгоритму удается хорошо отделять минимум кривой блеска от максимума в случае, когда поярчение (или потускнение) имеет достаточно большие амплитуду и общую продолжительность. Однако правые панели рисунка показывают, что при наличии значительной переменности вне всплеск (или затмений) сложно говорить о наличии плато, и качество работы алгоритма оставляет желать лучшего.

На рис. 2 изображены гистограммы признаков, извлеченных из тусклой и яркой частей кривой блеска. Верхняя левая панель показывает разницу средних магнитуд подвыборок ($\mu_0 - \mu_1$). Разница в распределениях для классов обуславливается различием в характерных амплитудах этих объектов. Верхняя правая панель показывает отношение числа наблюдений в яркой подвыборке к общему числу наблюдений w_1 . Видно, что в подвыборке, которая должна содержать плато, в среднем больше наблюдений, то есть в случае карликовых новых преобладает тусклая подвыборка, а для затменных двойных — яркая. На нижних панелях изображены распределения стандартного отклонения для яркой и тусклой

подвыборок. Можно заметить, что затменные двойные демонстрируют более узкое распределение для яркой подвыборки, что можно объяснить меньшей дисперсией подвыборки, содержащей плато.

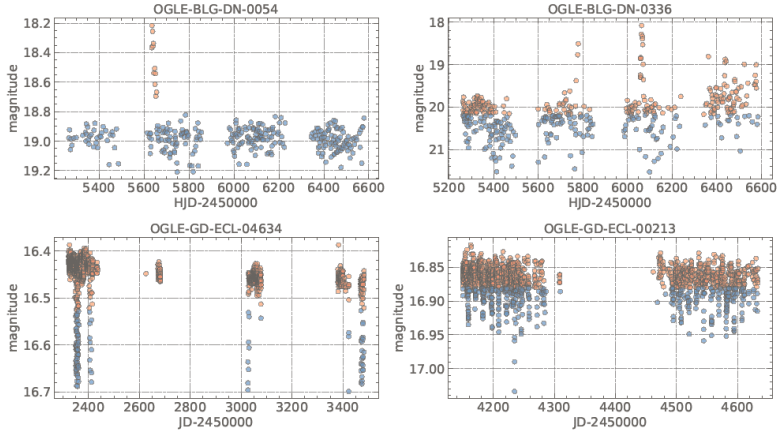


Рис. 1. Примеры работы алгоритма на кривых блеска карликовых новых (сверху) и разделенных затменных двойных (снизу). Синим цветом показана тусклая подвыборка, красным — яркая

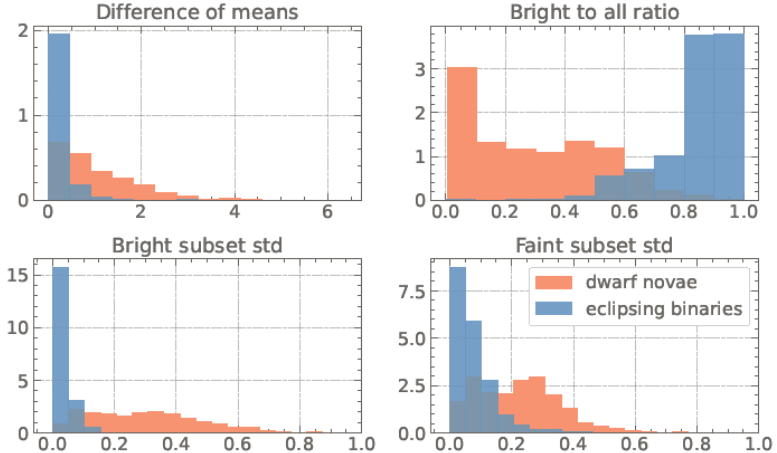


Рис. 2. Гистограммы распределения признаков, извлеченных из тусклой и яркой частей: разница средних магнитуд между яркой и тусклой подвыборками, отношение количества измерений в тусклой подвыборке к общему числу измерений, стандартные отклонения в яркой и тусклой подвыборках

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Национального центра научных исследований Франции в рамках научного проекта № 21-52-15024, а также при поддержке Меж-

Библиографические ссылки

- [1] *Cabral J. B., Sánchez B., Ramos F. et al.* From FATS to feets: Further improvements to an astronomical feature extraction tool based on machine learning // *Astronomy and Computing*. — 2018.
- [2] *Лавружина А. Д., Маланчев К. Л.* Извлечение признаков из кривых блеска астрономических источников // *Астрономия и исследование космического пространства*.—Екатеринбург, 2021. — 2021. — P. 133–136.
- [3] *Malanchev K. L., Pruzhinskaya M. V., Korolev V. S. et al.* Anomaly detection in the Zwicky Transient Facility DR3 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2021. — Vol. 502, № 4. — P. 5147–5175. 2012.01419.
- [4] *Kim D.-W., Protopapas P., Bailer-Jones C. A. L. et al.* The EPOCH Project - I. Periodic variable stars in the EROS-2 LMC database // *A&A*. — 2014. — Vol. 566. — P. A43.
- [5] *Stetson P. B.* On the Automatic Determination of Light-Curve Parameters for Cepheid Variables // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 1996. — Vol. 108. — P. 851.
- [6] *Watson C. L., Henden A. A., Price A.* The International Variable Star Index (VSX) // *Society for Astronomical Sciences Annual Symposium*. — 2006. — Vol. 25. — P. 47.
- [7] *Otsu N.* A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. — 1979. — Vol. 9, № 1. — P. 62–66.
- [8] *Udalski A., Szymański M. K., Soszynski I., Poleski R.* The Optical Gravitational Lensing Experiment. Final Reductions of the OGLE-III Data // *Acta Astronomica*. — 2008. — Vol. 58. — P. 69–87. 0807.3884.
- [9] *Udalski A., Szymański M. K., Szymański G.* OGLE-IV: Fourth Phase of the Optical Gravitational Lensing Experiment // *Acta Astronomica*. — 2015. — Vol. 65, № 1. — P. 1–38. 1504.05966.
- [10] *Mroz P., Udalski A., Poleski R. et al.* One Thousand New Dwarf Novae from the OGLE Survey. — 2016. 1601.02617.
- [11] *Pietrukowicz P., Mroz P., Soszynski I. et al.* Eclipsing Binary Stars in the OGLE-III Galactic Disk Fields. — 2013. 1306.6324.