

Анализ изображений маломассивных карликов по данным цифровых обзоров и пулковских наблюдений: поиск двойных и кратных систем

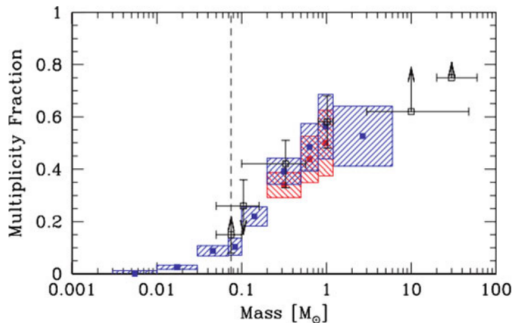
Ховричев М.Ю.¹, Куликова А.М.¹, Апетян А.А.²

¹Пулковская обсерватория, ²СПбГУ

4 октября 2018 г.

Что ищем и почему?

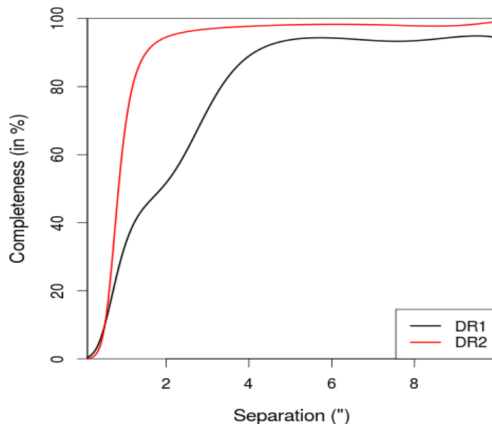
Наблюдательная проверка зависимости **масса - двойственность**.



Observed (black) versus simulated (blue and red) multiplicity of stars as a function of mass (Bate, 2009).

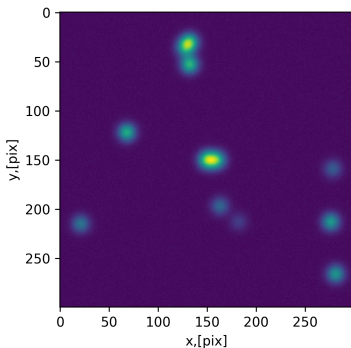
Что ищем и почему?

Верификация полноты релизов Gaia в контексте разделения тесных изображений.



Что ищем и почему?

Помимо вариаций собственного движения, двойственность может проявлять себя "вытянутостью" изображения двойной системы по сравнению со звездами фона.



Инструменты



Телескоп "Сатурн": $D=1\text{ m}$, $F=4\text{m}$,
 $\text{FOV}=30 \times 20\text{ arcmins}$,
 $\text{CCD-scale}=0.460\text{ arcsec/pix}$,
 $\text{mag}_{lim} = 20.0^m$

Sloan Digital Sky Survey(SDSS) - загрузка изображений с помощью скрипта.

```
import argparse
parser = argparse.ArgumentParser()
parser.add_argument("--ra", help="RA in deg J2000")
parser.add_argument("--dec", help="Dec in deg J2000")
parser.add_argument("--folder", help="folder to download")
args = parser.parse_args()

import requests

usdss = 'https://dr12.sdss.org/fields/raDec?ra='+args.ra+'&dec='+args.dec

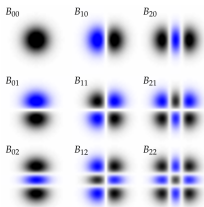
rsdss = requests.get(usdss).text.split('\n')

import os

for line in rsdss:
    if (line.__contains__('.fits.bz2')):
        os.popen('wget -P '+args.folder+
            ' http://dr12.sdss3.org'+line.split('"')[1])
    if (line.__contains__('find field covering')):
        print('field is empty')
```

Базовая идея

Шейплет-формализм позволяет получать оценку эллиптичности и асимметрии изображения на основе коэффициентов разложения.



$$\phi_n(\xi) = (2^n \sqrt{\pi} n!)^{-\frac{1}{2}} H_n(\xi) e^{-\frac{\xi^2}{2}}.$$

Здесь $H_n(\xi)$ - полином Эрмита порядка n (n - целое неотрицательное число), ξ - независимая вещественная переменная.

$$B_{n_1, n_2}(\beta, x, y, x_{ph}, y_{ph}) = \beta^{-1} \cdot \phi_{n_1} \left(\frac{x - x_{ph}}{\beta} \right) \cdot \phi_{n_2} \left(\frac{y - y_{ph}}{\beta} \right).$$

Здесь параметр β - характерный размер изображения.

Базовая идея

$$J(x, y) = J_{bgr} + \sum_{n_1+n_2 \leq n_{max}}^{n_1, n_2=0} f_{n_1, n_2} \cdot B_{n_1, n_2}(\beta, x, y, x_{ph}, y_{ph}),$$

где f_{n_1, n_2} коэффициенты шейплет-разложения соответствующих порядков n_1, n_2 . Ряд обрывают при условии $n_1 + n_2 = n_{max}$, так как при больших n_1, n_2 ошибка единицы веса становится меньше стандарта шума изображения.

Базовая идея

Поток вычисляется (F) в соответствие с:

$$F = \sqrt{\pi} \beta \sum_{n_1, n_2}^{\text{even}} \sqrt{2^{2-n_1-n_2} C_{n_1}^{\frac{n_1}{2}} C_{n_2}^{\frac{n_2}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

Здесь «even» означает, что суммирование выполняется только для четных индексов n_1, n_2 . C_q^p - биномиальные коэффициенты для соответствующих индексов.

Базовая идея

Квадрупольные моменты изображения вычисляются по формулам:

$$q_{xx} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{even}} (1 + 2n_1) \sqrt{2^{2-n_1-n_2} C_{n_1}^{\frac{n_1}{2}} C_{n_2}^{\frac{n_2}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

$$q_{yy} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{even}} (1 + 2n_2) \sqrt{2^{2-n_1-n_2} C_{n_1}^{\frac{n_1}{2}} C_{n_2}^{\frac{n_2}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

$$q_{xy} = F^{-1} \sqrt{\pi} \beta^3 \sum_{n_1, n_2}^{\text{odd}} \sqrt{(n_1 + 1)(n_2 + 1) 2^{2-n_1-n_2} C_{n_1+1}^{\frac{n_1+1}{2}} C_{n_2+1}^{\frac{n_2+1}{2}}} f_{n_1, n_2}$$

Здесь «odd» означает суммирование по нечетным индексам.

Базовая идея

Величины q_{xx} , q_{yy} , q_{xy} позволяют определить эллиптичность изображения e :

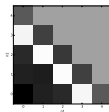
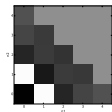
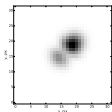
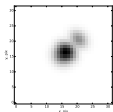
$$[e_1, e_2] = \left[\frac{q_{xx} - q_{yy}}{q_{xx} + q_{yy}}, \frac{q_{xy}}{q_{xx} + q_{yy}} \right], e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}.$$

Базовая идея

Индекс асимметрии:

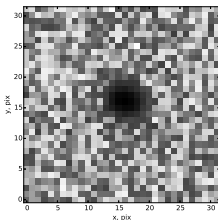
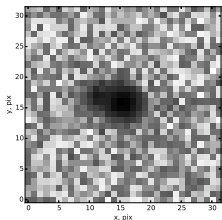
$$A = F^{-1} \cdot \sum_{pixels} |I(x, y) - I(x, y)^{180}|.$$

В пространстве декартовых шейплет-коэффициентов поворот на 180° осуществляется путем смены знаков для коэффициентов с нечетной суммой индексов $n_1 + n_2$.



Пример реальной звезды

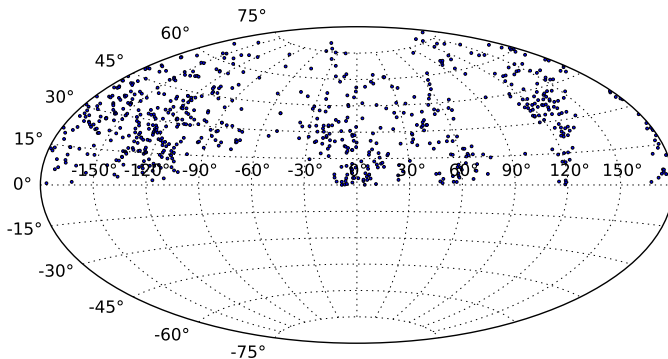
Слева - изображение звезды J0740+1706 (SDSS, фильтр u). Справа - PSF, построенная на основе медианных значений шейплет-коэффициентов звезд фона и оценки шума изображения.



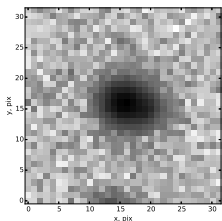
$e_t = 0.349 \pm 0.031$, а $A_t = 0.597 \pm 0.035$. Те же величины для PSF — $e_b = 0.084 \pm 0.060$, а $A_b = 0.122 \pm 0.032$. Это приводит к значениям критических величин $S_e = 3.9$ и $S_A = 10.0$

Наблюдения

Распределение звезд по небесной сфере (экваториальные координаты, 702 звезды).



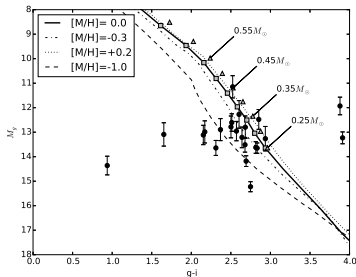
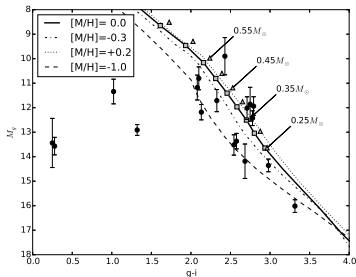
Кратная система



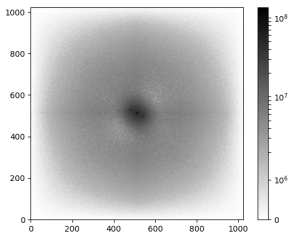
Компонент системы J1451+5147E (WDS14519+5147, $\rho = 7$ arcsec (≈ 18 pix)) (фильтр u). Второй компонент находится на границе области выборки. Явная высокая асимметрия изображения ($A_t = 0.320 \pm 0.007$, $S_A = 19.8$) говорят о возможности того, что WDS14519+5147 - тройная система.

Положение на CMD

Положения ряда потенциальных двойных систем на диаграмме цвет – абсолютная звездная величина. Слева – системы, детектированные по обоим признакам. Справа – объекты со значимой асимметрией изображений.



Выводы



- Разработан метод поиска двойных систем по эллиптичности и асимметрии изображений.
- Всего было выявлено 138 звезд-кандидатов в двойные системы.
- Показано, что изображения главных компонент сравнительно широких пар WDS14519+5147, WDS11371+6022 и WDS15404+2500 разделяются на компоненты, поэтому можно говорить об обнаружении тройных систем.
- Три ярких звезды подтверждены на БТА CAO РАН (на рисунке J1147+6050).

Спасибо за внимание!