



ISSN 1607–2855

Том 5 · № 1–2 · 2004 С. 259–263

УДК 523.68, 521.95, 520.82

Астрометрическая и фотометрическая точность измерений при цифровой обработке телевизионных широкоугольных снимков астрономических объектов

П.Н. Козак, А.А. Рожило

Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко

Проведен анализ методов астрометрической и фотометрической обработки изображений звезд при телевизионных наблюдениях с широкоугольными объективами. Рассмотрены классические методы, используемые при обработке ПЗС-изображений с функциями аппроксимации звездных контуров, а также нестандартные методы, которые включают как аппроксимацию несимметричных контуров звездоподобных объектов, так и аппроксимационные измерения. Исследованы итерационные методы отделения изображения звезды от фона в локальном месте кадра. Исследования проведены для объективов Юпитер-3 и Гелиос-40 и для видеоматричных фотоаппаратов типа VHS и S-VHS.

АСТРОМЕТРИЧНА ТА ФОТОМЕТРИЧНА ТОЧНІСТЬ ВИМІРІВ ПРИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБЦІ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ШИРОКОКУТНИХ ЗНІМКІВ АСТРОНОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ, Козак П.М., Рожило О.О. — Проведено аналіз методів астрометричної та фотометричної обробки зображень зірок при телевізійних спостереженнях із ширококутними об'єктивами. Розглянуто класичні методи, що використовуються при обробці ПЗЗ зображень та використовують функції апроксимації контурів зірок, а також нестандартні методи, які включають як апроксимацію несиметричних контурів зіркоподібних об'єктів функціями, так і не апроксимаційні виміри. Досліджено ітераційні методи відділення зображення зорі від фону в локальному місці кадру. Дослідження проведено для об'єктивів Юпітер-3 і Геліос-40 та для відеоматричних фотоапаратів типу VHS і S-VHS.

ASTROMETRIC AND PHOTOMETRIC PRECISION OF MEASUREMENTS AT DIGITAL PROCESSING OF TV WIDE-ANGLE IMAGES OF ASTRONOMICAL OBJECTS, by Kozak P.M., Rozhilo A.A. — The analysis of methods of astrometric and photometric processing of star images at TV observations with wide-angle lenses is carried out. Classic methods which are used at CCD-images processing and use fits of star image shapes and also non-standard methods, which include both fits of non-symmetric contours of star-like objects by functions and non-fit methods are considered. Iteration methods of star image and background separation in local place of a frame are examined. The investigation was carried out for TV tube of izokon type, photographic lenses Jupiter-3 and Helios-40, videotape recorders of VHS and Super-VHS types.

1. ВВЕДЕНИЕ

Использование регистрирующих систем с высокочувствительными телевизионными передающими трубками, обладающих высокой временной разрешающей способностью позволяет наблюдать, в сочетании с обычной фотографической питающей оптикой, достаточно слабые астрономические объекты. Например, при наблюдениях метеоров с телевизионной трубкой типа изокон и фотографическими объективами Юпитер-3 ($F = 50$ мм, $D : F = 1 : 1.5$, диагональ поля зрения в телевизионном кадре около 25°) и Гелиос-40 ($F = 85$ мм, $D : F = 1 : 1.5$, диагональ — 15°) и временной разрешающей способностью 0.04/0.02 сек (25 кадров/50 полукадров в секунду) предельная наблюдаемая звездная величина составляет $9^m.5$ и $11^m.5$ соответственно. Использование оцифровывающих устройств — захватчиков кадров — позволяет вводить телевизионные видеокadres в ЭВМ и обрабатывать их как покадрово, так и их интегральные изображения (методом суммирования кадров), аналогичные фотографическим. Оцифрованное изображение слабого телевизионного метеора в одиночном кадре и просуммированное по ряду кадров представлено на рис. 1. При использовании захватчика

кадра, с параметрами оцифровки $352 \times 288 \times 256$ для упомянутых выше объективов размер пикселя составляет примерно $4'$ и $2.2'$ соответственно.

При обработке большинства снимков астрономических объектов возникает проблема астрометрических и фотометрических измерений изображений звезд. При обработке метеоров измеренные и экваториальные координаты звезд используются через определенные редуцированные модели [1–3] для получения экваториальных координат метеора, с последующим определением параметров его траектории и элементов гелиоцентрической орбиты. Построенная по измеренным фотометрическим объемам изображений звезд калибровочная кривая используется для получения кривой блеска метеора. Очевидно, что точность астрометрических и фотометрических измерений звезд в кадре будет одним из решающих факторов, определяющим точность обработки метеорного изображения.

2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

При цифровой обработке ПЗС-изображений, полученных на телескопах, проблема астрометрических и фотометрических измерений решается при помощи аппроксимаций контуров звездных изображений трехмерными функциями. Данный подход можно реализовать и при цифровой обработке телевизионных изображений, но при этом возникает ряд трудностей, таких как неисключаемая неравномерность фона, различная в разных местах кадра, относительно большие флуктуации и т.п. [4]. Однако главной причиной является крайне малое количество пикселей, определяющих звезды в кадре, при довольно узкой и высокой форме звездного контура. На рис. 2 приведены фотометрические разрезы изображения звезды $5^m.4$ вдоль и поперек строки телевизионного кадра.

Как видно из рис. 1, вдоль телевизионной строки (ось X) изображение звезды состоит фактически из 6–7 пикселей, а вдоль оси Y — всего из 3-х пикселей. Поэтому возникает закономерный вопрос: можно ли при столь малой статистике проводить аппроксимацию звездных контуров, либо использовать более грубые, упрощенные, измерения координат x, y и фотометрических объемов изображений звезд V ? Для решения данной проблемы были проведены тестовые измерения.

3. ТЕСТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для не аппроксимативных измерений координат центра звезды в кадре использовался тот факт, что максимум изображения (в отсутствие перенасыщения) занимает всегда 1 пиксель. Принимая координаты пикселя за координаты центра звезды x_0, y_0 получим точность порядка ± 0.5 пикселя. Для определения объема изображения звезды использовалась формула приближенного

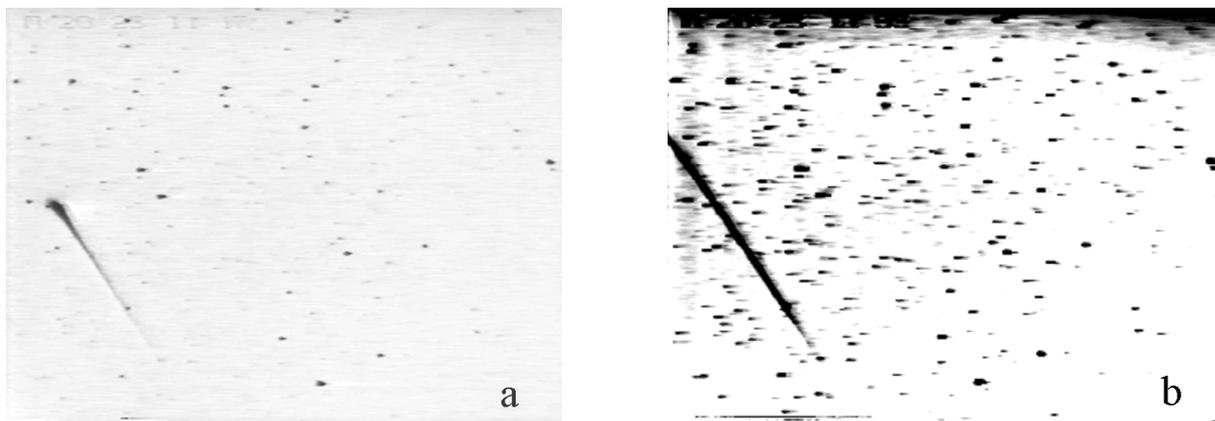


Рис. 1. Изображение оцифрованного телевизионного метеора в одиночном кадре (а) и просуммированное по 41 кадру (b) (изображения инвертированы — прим. ред.)

вычитания фона для локальной окрестности звезды:

$$V = V_{in} - S_{in} \frac{V_{out} - V_{in}}{S_{out} - S_{in}}$$

где V_{in} , S_{in} — объем и площадь части кадра, условно принадлежащего изображению звезды; V_{out} , S_{out} — то же для внешней, более широкой, области фона, включая изображение звезды.

Для аппроксимации звездных контуров использовались следующие функции, вид которых для общих параметров приведен на рис. 3:

$$Z = z_0 e^{-R^2} \quad \text{— гауссиана (рис. 3, кривая 1);}$$

$$Z = \frac{z_0}{[1 + (R^2)^m]^n} \quad \text{— лоренциана, (рис. 3, кривые 3, 4)}$$

Измерения проводились для трех пар параметров m и n — $(m = 1, n = 1)$, $(m = 2, n = 1)$, $(m = 1, n = 2)$ и функции вида

$$Z = z_0 \frac{\sin^2 R}{R^2} \quad \text{(рис. 3, кривая 5)}$$

где

$$R = \frac{(x - x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - y_0)^2}{\sigma_y^2}.$$

Для аппроксимации фона использовалась полиномиальная аппроксимация, причем было получено, что порядок полинома выше 2-й степени применять нецелесообразно.

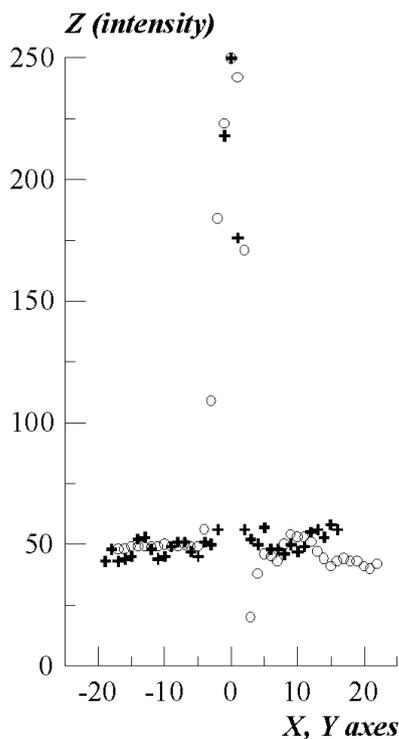


Рис. 2. Фотометрический разрез контура изображения звезды вдоль строки телевизионного кадра — кружки и поперек — “+”.

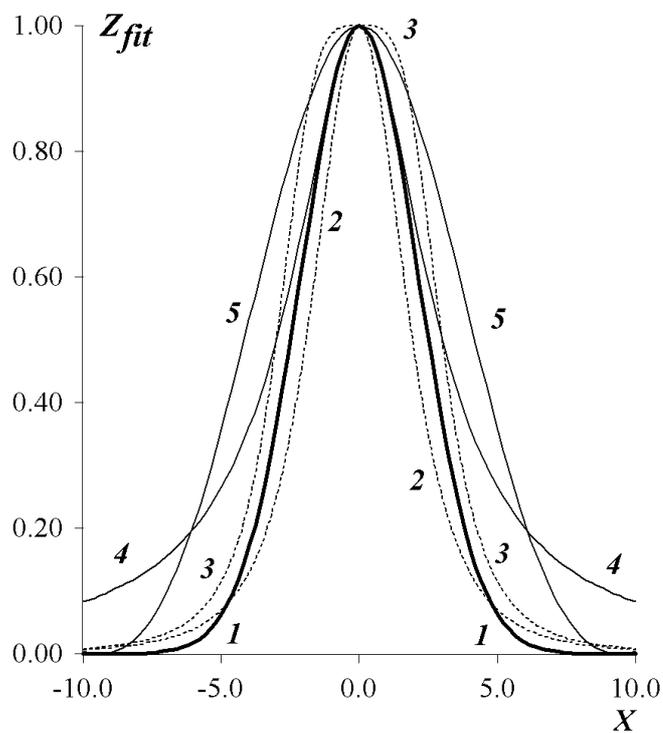


Рис. 3. Функции возможных аппроксимаций контура звезды: 1 — гауссиана, 2–4 — различные виды лоренцианы, 5 — тригонометрическая функция.

4. СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для сравнения точности астрометрических измерений проводилась обработка группы одних и тех же отождествленных звезд при помощи одной и той же редуцированной модели 6 постоянных, измеренных двумя вышеописанными способами. В качестве точности рассматривались $O-C$ (вычисленные минус каталожные) экваториальных координат тестовых звезд. Распределение плотности вероятности данной величины для варианта упрощенных и аппроксимативных измерений выглядят приблизительно одинаково, со средним значением $O-C$ около $5'$ и модой распределения на $2.5'$, с достаточно большой хвостовой частью распределения, что говорит о том, что погрешность вычислений измеренных координат не является определяющей при вычислении экваториальных координат объекта. Для выявления возможного различия были рассмотрены части распределения для $O-C$ меньше углового размера одного пикселя — $4'$, для которых влияние других погрешностей минимально. Из данного распределения $O-C < 4'$ (рис. 4) видно, что аппроксимация сдвигает моду распределения примерно на 1 минуту дуги влево, т.е. поднимает точность на четверть углового размера пикселя. Хвостовые части общего распределения можно устранить исключением влияния ошибок, не связанных с точностью измерения координат объекта, и поэтому, в конечном итоге, следует заключить, что применение аппроксимации себя оправдывает.

5. СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для сравнения точности фотометрических измерений проводился обмер некоторых тестовых звезд обоими методами на последовательности телевизионных кадров. При этом критерием точности выступают дисперсии вычисленных фотометрических объемов изображений звезд. Результаты вычислений для объектива Юпитер-3 и Гелиос-40 приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, аппроксимация звездных контуров существенно увеличивает точность измерений. Большая погрешность для звезды $8^m.2$ при использовании объектива Юпитер-3 является следствием того, что звезды $8^m.5 - 9^m.5$ для данного объектива являются предельно разрешаемыми. Для Гелиос-40 предельными являются звезды $10^m.5 - 11^m.5$.

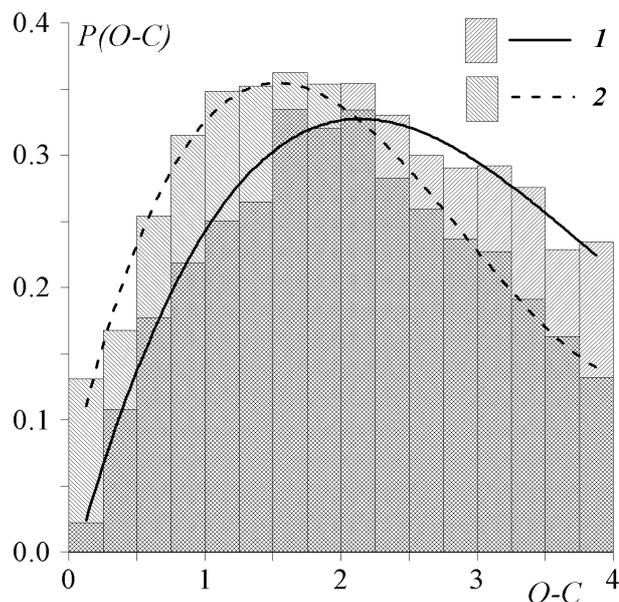


Рис. 4. Распределение плотности вероятности $P(O-C)$ экваториальных координат тестовых звезд для интервала $1' - 4'$. 1 — упрощенные измерения координат x, y ; 2 — аппроксимация гауссианой.

Таблица 1. Усредненные по 80 кадрам измеренные фотометрические объемы V изображений звезд (внутренние единицы измерения) и их абсолютные σ_V и относительные σ_V/V погрешности.

Объектив Юпитер-3						
	Аппроксимация			Упрощенные измерения		
m_V	V	σ_V	$\sigma_V/V, \%$	V	σ_V	$\sigma_V/V, \%$
2.2	3725.5	315.9	8.5	3406.0	374.8	11.0
3.8	1838.6	124.1	6.8	1656.9	154.7	9.3
4.8	1073.5	114.9	10.7	1031.0	154.5	14.9
5.3	699.1	68.0	9.7	670.1	115.4	17.2
8.2	70.4	69.2	98.3	24.6	59.2	240.7
Объектив Гелиос-3						
	Аппроксимация			Упрощенные измерения		
m_V	V	σ_V	$\sigma_V/V, \%$	V	σ_V	$\sigma_V/V, \%$
3.0	3753.6	272.2	7.2	3300.5	503.6	15.3
4.8	1859.5	98.8	5.3	1842.8	175.2	9.5
6.5	581.4	45.7	7.9	520.3	78.2	15.0
8.0	284.7	54.7	19.2	200.7	157.5	78.5

6. ВЫВОДЫ

Использование аппроксимации звездных контуров при обработке оцифрованных телевизионных изображений, полученных с широкоугольными объективами, повышает точность астрометрических и фотометрических измерений. Подытоживая результаты проведенных исследований, можно отметить:

- погрешность измеренных координат в телевизионном кадре не является определяющей при вычислении экваториальных координат объекта;
- применение аппроксимации повышает точность вычислений экваториальных координат объекта на 1 минуту дуги при угловом размере пикселя 4 минуты, т.е. на четверть размера пикселя;
- при фотометрических измерениях благодаря аппроксимации средняя дисперсия измерения фотометрического объема изображения звезды уменьшается с 8.9% до 6.8%;
- применение аппроксимации критически необходимо при фотометрических измерениях предельно разрешимых, слабых звезд.

1. Дейч А.Н. К вопросу о редукции фотографических положений при произвольном оптическом центре // *Астрономический журнал*. — 1965. — XLII, 5. — С. 1114–1116.
2. Киселев А.А. Векторная интерпретация основных методов фотографической астрометрии // *Астрон. журн.* — 1965. — XLII, вып. 2. — С. 452–463.
3. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии. — М.: Наука, 1989. — 260 с.
4. Козак П.Н. О внутренней точности цифровой фотометрии метеоров по телевизионным наблюдениям // *Кинематика и физика небес. тел.* — 1998. — 14. — № 6. — С. 553–563.

Поступила в редакцию 9.09.2004