

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ, СМАЗАННЫХ СОБСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Н. С. СОКОВИКОВА¹, В. Е. САВАНЕВИЧ^{1*}, А. Б. БРЮХОВЕЦКИЙ², М. М. БЕЗКРОВНЫЙ³

¹ Кафедра электронных вычислительных машин, Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² Харьковское представительство генерального заказчика Государственного космического агентства Украины, Харьков, УКРАИНА

³ Запорожский институт экономики и информационных технологий, Запорожье, УКРАИНА

* email: vadyum@savanevych.com

АННОТАЦИЯ Розроблено метод виділення зображень небесних об'єктів, змазаних власним рухом. Для цього перш за все досліджена множина можливих селективних ознак. Запропонований метод включає в себе три етапи, один з яких виконується під час внутрішньокадрової обробки, а два інших – під час міжкадрової обробки серій кадрів однієї ділянки зоряного неба. В роботі наведені результати експериментальних досліджень розподілу селективних ознак, що використовуються, та частот хибних виявлень на етапах роботи методу. Запропонований метод може бути використаний для виявлення об'єктів з високою швидкістю видимого руху в програмах астероїдних оглядів.

Ключові слова: протяжні зображення, стробовий метод, астероїди, ПЗС-кард

АННОТАЦИЯ Разработан метод выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением. Предложенный метод включает в себя три этапа, один из которых выполняется при внутрикадровой обработке, а два других - во время межкадровой обработки серии кадров участка звездного неба. В работе приведены результаты экспериментальных исследований распределения используемых селективных признаков и частот ложных обнаружений на этапах работы метода. Предложенный метод может быть использован для обнаружения объектов с высокой скоростью видимого движения в программах астероидных обзоров.

Ключевые слова: протяженные изображения, стробовый метод, астероиды, ПЗС-кард

DEVELOPMENT OF METHOD FOR IMAGE DETECTION OF CELESTIAL TRAILED OBJECTS GREASED BY OWN MOVEMENT

N. SOKOVIKOVA¹, V.SAVANEVYCH^{1*}, O. BRIUKHOVETSKYI², M. BEZKROVNIY³

¹ Department of electronic computers, Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv, UKRAINE

² Kharkiv general customer office of the State Space Agency of Ukraine, Kharkov, UKRAINE

³ Zaporozhye Institute of Economics and Information Technology, Zaporozhye, UKRAINE

* email: vadyum@savanevych.com

ABSTRACT Celestial objects with high visible speed can have an image which is smeared its own movement. Typically, these characteristics correspond to asteroids approaching the Earth. Observation and detection of such objects is of special interest due to the urgent problem of the asteroid hazard. The purpose of this article is to provide the method for selecting images of celestial objects, trailed its own movement. The proposed method consists of three phases, the first of which corresponds to intraframe processing, and the other two - interframe. In the first stage are selected the images that have trailed attributes. In the second stage from the set of trailed images selected in the first stage, are excluded those that include are at least two circular images of famous stars or star caught in the generated internal directory of the objects fixed on a series of frames. The third stage: trailed images are combined into a series of trailed images of a hypothetical object using the developed method of strobe class. After excluding from consideration of objects from internal directory, objects with zero apparent motion in the second stage of the method, of the total amount remained just 1% of the measurements corresponding to the trailed image which hypothetically may belong to objects with the speed of apparent movement sufficient for the image trail of the object due to its own movement. After using the 3 steps of the method, the false detection of objects with high visible speed of motion in the experimental investigations are not found. We present the results of experimental studies of the distribution of used selective characteristics and frequencies of false detections in the stages of the method. The proposed method can be used to detect objects with high rate of apparent motion in the programs for observation of asteroids.

Keywords: trailed object, strobe method, asteroid, CCD-frame

Введение

Объекты изображения, которых смазаны собственным движением, могут иметь весьма

разное происхождение. Примерами объектов со смазанными изображениями могут быть: самолеты, искусственные спутники Земли, пролетающие снаряды, беспилотные летательные

аппараты (дроны). Из естественных такими объектами могут быть: астероиды, сближающиеся с Землей, кометы, метеоры, птицы и т.д. Наблюдение и обнаружение (выделение) астероидов со смазанными изображениями, как правило, проводится при помощи телескопов со сравнительно небольшими апертурами. При наблюдении и изучении таких объектов указанными средствами наблюдения могут возникать некоторые сложности (из-за их размера, удаленности или скорости). Для их разрешения возникает необходимость в создании вычислительных методов и специализированного ПО обработки результатов их обнаружения и наблюдения.

Научное направление автоматической компьютеризированной обработки ПЗС-кадров [1] является достаточно новым и продолжает развиваться вместе с совершенствованием средств наблюдений на основе ПЗС. Методам обработки ПЗС кадров с изображениями объектов, смазанных собственным движением, посвящены следующие работы: Куприянов В. [2], Bauer Т. [3], Zhai С. [4], Vereš Р. [5]. Однако описанные методы определения параметров изображений протяженных объектов не всегда соответствуют выдвигаемым к ним требованиям. Поэтому актуальной является научно-техническая задача разработки эффективных вычислительных методов обработки цифровых изображений для выделения объектов, смазанных собственным движением.

Цель работы

Целью данной статьи является разработка метода выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением.

Разработка метода выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением

Постановка задачи. Исследуется наблюдение объектов с помощью оптического средства (телескопа), оснащенного ПЗС-матрицей. По результатам наблюдений одного участка небесной сферы формируется серия из N_{fr} цифровых ПЗС-кадров с временем привязки t -го кадра серии τ_n . Один из кадров серии называется базовым, а время его привязки считается равным τ_0 (как правило, время привязки среднего кадра серии, которое соответствует времени половины экспозиции указанного кадра).

Объекты с высокой угловой скоростью (большим видимым движением – 10 пикселей за время экспозиции) на ПЗС кадрах имеют

протяженное изображение, иными словами, изображение, смазанное собственным движением. Данными объектами могут быть либо астероид, сближающийся с Землей, либо метеор, либо другой небесный объект с большим видимым движением на серии кадров N_{fr} .

Предварительные исследования показывают, что на этапе обнаружения в качестве модели видимого движения объекта с высокой угловой скоростью, достаточно использовать линейную модель с независимым видимым движением объекта вдоль каждой координаты:

$$x_{jt} = x_{0j} + V_{xj}(\tau - \tau_0); \quad (1)$$

$$y_{jt} = y_{0j} + V_{yj}(\tau - \tau_0), \quad (2)$$

где τ – время;

τ_0 – время привязки базового кадра;

V_{xj}, V_{yj} – скорости объекта по координатам x и y соответственно;

x_{jt}, y_{jt} – координаты j -го изображения объекта на момент τ ;

x_{0j}, y_{0j} – положение протяженного объекта на время τ_0 привязки базового кадра.

Необходимо на исследуемой серии кадров выявить протяженные изображения (изображения объектов, смазанных собственным движением).

Суть метода выделения изображений объектов, смазанных собственным движением

К сожалению, решить данную задачу с приемлемым качеством обнаружения на этапе внутрикадровой обработки не удастся. В этой связи, в работе задача решается в три этапа, один из которых соответствует внутрикадровой обработке, а два других – межкадровой.

Этап 1. При внутрикадровой обработке выделяются изображения, обладающие признаками протяженных.

Этап 2. Из множества протяженных изображений, выделенных на первом этапе, исключаются те, которые включают в себя хотя бы два круговых изображения известных звезд или звезд, попавших в сформированный внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров.

Этап 3. Протяженные изображения (по одному на каждом кадре) объединяются в серию протяженных изображений одного гипотетического объекта с использованием метода из класса стробовых. В заключение, принимается решение о наличии изображений объектов, смазанных собственным движением.

Модель входных данных

На этапе внутрикадровой обработки описание (модель) изображения объекта, смазанного собственным движением, соответствует описанию, приведенному в подразделе 2.1.2.

В свою очередь, результаты внутрикадровой обработки по одному объекту одного кадра представляются в виде измерения Y_{in} (i -е измерение t -го кадра). Так как измерения по исследуемым изображениям объектов могут быть сформированы не на каждом кадре, то имеет место серия измерений (не более чем по одному с кадра) исследуемого протяженного объекта, гипотетически принадлежащих ему:

$$Y = (Y_{1(i,1)}, \dots, Y_{n(i,t)}, \dots, Y_{N_{mea}(i, N_{fr})}), \quad (3)$$

где $n(i,t) = n$ – номер измерения в серии измерений исследуемого объекта, которое является i -м измерением t -го кадра серии, гипотетически принадлежащим исследуемому объекту;

N_{mea} ($N_{mea} \leq N_{fr}$) – количество измерений положения объекта на N_{fr} кадрах.

В работе используется прямоугольная система координат (СК) ПЗС-кадра с центром в левом верхнем углу ПЗС-кадра.

В случае кругового (не протяженного) изображения, соответствующее ему i -е измерение t -го кадра содержит оценки: координат $\hat{x}_{jt}, \hat{y}_{jt}$ j -го изображения объекта на момент τ_0 привязки кадра; теоретической амплитуды \hat{A}_{jt} пика изображения j -го гипотетического объекта; параметра $\hat{\sigma}_{jt}$ формы изображения j -го гипотетического объекта на t -ом ПЗС-кадре. В качестве оценок положения $\hat{x}_{jt}, \hat{y}_{jt}$ могут использоваться оценки $\hat{x}_{jt}(\Theta_{noise}^{sub}), \hat{y}_{jt}(\Theta_{noise}^{sub})$, основанные на субпиксельной модели изображения объектов, метод получения которых описан в работе [6].

Для выделения изображений протяженных объектов к вышеописанным параметрам дополнительно оцениваются те, которые будут использованы для обнаружения протяженных объектов на этапе внутрикадровой обработки. К ним относятся оценки: угла ω_j между направлением движения j -го объекта и осью абсцисс в системе координат ПЗС-кадра; скорости $\hat{V}_{xj}, \hat{V}_{yj}$ видимого движения объекта по координатам x и y соответственно. Вместо оценок скоростей видимого движения или вместе с

ними может использоваться соответствующая им длина пути d_j (в пикселях), пройденного j -м объектом за время экспозиции, которая также является длиной изображения j -го объекта.

При оценке координат положения изображения объекта предполагается, что на кадре, согласно [1], проведена сегментация изображений – выделено множество пикселей Ω_j , отнесенных к изображению j -го объекта из N_{Ω_j} объектов на кадре. Причем сумма яркостей пикселей множества Ω_j является интегральной яркостью исследуемого изображения объекта (4):

$$A_{\Omega_j} = \sum_{i,k=0}^{\Omega_j} A_{ik}^*, \quad (4)$$

где A_{Ω_j} – интегральная яркость исследуемого объекта;

A_{ik}^* – экспериментальная яркость ik -го пикселя ПЗС-матрицы.

Селективные признаки изображения протяженных объектов на этапе внутрикадровой обработки

Изображения объектов небесных тел на ПЗС-кадре имеют различную форму. Для обнаружения небесных объектов с протяженными изображениями на дискретном изображении кадра в работе использована характеристика их вытянутости. В качестве степени вытянутости изображения в работе используется оценка его эксцентриситета $\hat{\epsilon}$. Значение эксцентриситета изменяется в диапазоне от 0 до 1. Он равен нулю, если изображения объекта имеет форму круга, и единице для изображения объекта в форме линии [7] (рис.1, табл.1).

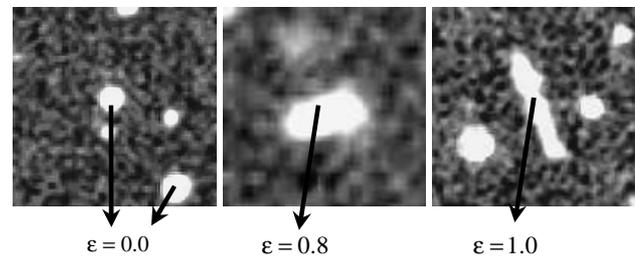


Рис. 1 – Примеры изображений объектов (от круговых до протяженных)

Таблица 1. Значение эксцентриситета изображений относительно соотношения длин их осей.

Отношение осей изображений	$\hat{\epsilon}$
10:10	0.0
12:10	0.47
14:10	0.61
16:10	0.69
18:10	0.75
20:10	0.79
25:10	0.85
30:10	0.88
35:10	0.91
40:10	0.93

Оценка вытянутости и ориентации изображения объекта

Оценку эксцентриситета изображения объекта в рассматриваемом случае удобно выражать через оценки центральных моментов второго порядка [7].

Для определения эксцентриситета изначально необходимо оценить моменты первого порядка [7]:

$$X_0 = \frac{\sum_{k,i} A_{ik}^* x_{it}}{\sum_{k,i} A_{ik}^*}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{k,i} A_{ik}^* y_{kt}}{\sum_{k,i} A_{ik}^*}, \quad (5)$$

где x_{it}, y_{kt} – координаты центра ik -го пикселя t -го кадра ПЗС-матрицы.

Кроме того, необходимо найти моменты второго порядка:

$$m_{20} = \sum_{k,i} A_{ik}^* (x_{it} - X_0)^2, \quad (6)$$

$$m_{02} = \sum_{k,i} A_{ik}^* (y_{kt} - Y_0)^2, \quad (7)$$

$$m_{11} = \sum_{i=1}^{\Omega_j} \sum_{k=1}^{\Omega_j} A_{ik}^* (x_{it} - X_0)(y_{kt} - Y_0). \quad (8)$$

На основании полученных данных можно вычислить оценку эксцентриситета [7]:

$$\hat{\epsilon}_j = \frac{m_{20} + m_{02} - \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}{m_{20} + m_{02} + \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}. \quad (9)$$

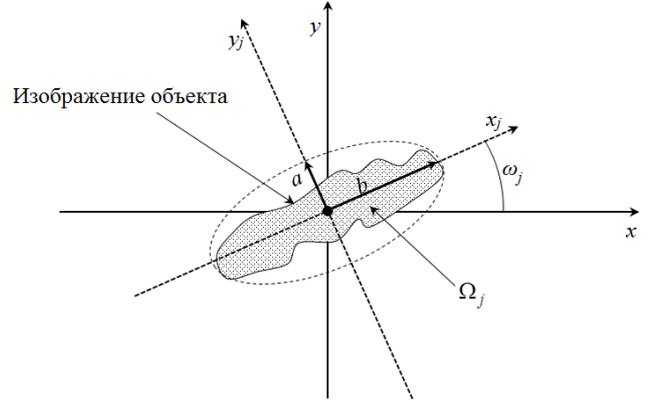


Рис. 2 – Направление осей вытянутости изображения объекта

Ориентация изображения объекта (рис.2) определяется углом ω_j между осью x и осью x_j , в направлении которой изображение объекта является наиболее вытянутым.

Согласно уравнению (10), данный угол ω_j отклонения оси x_j от оси x определяется соотношением [7]:

$$\omega_j = \frac{1}{2} \arctan \frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}. \quad (10)$$

Известно, что арктангенс определен на интервале $[-\pi/2, \pi/2]$. Для его определения на требуемом интервале $[0, \pi]$ необходимо принять ряд обычных для такого случая мер.

Выделение протяженных изображений на этапе внутрикадровой обработки

Изображение протяженного объекта не отличается от изображения нескольких объектов расположенных друг за другом на одном кадре. Поэтому безошибочное выделение искомым объектов с большим видимым движением по эксцентриситету не возможно.

Объекты искомого класса имеют протяженное изображение, то они, как правило, ближе расположены к наблюдателю, чем круговые объекты. Чаще всего это приводит к большому значению интегральной яркости их изображений. Интуитивно понятно, что протяженное изображение, соответствующее объекту, смазанному собственным движением, имеет значительный эксцентриситет и большую интегральную яркость (рисунок 3), а значит и отношение сигнал-шум (рисунок 6).

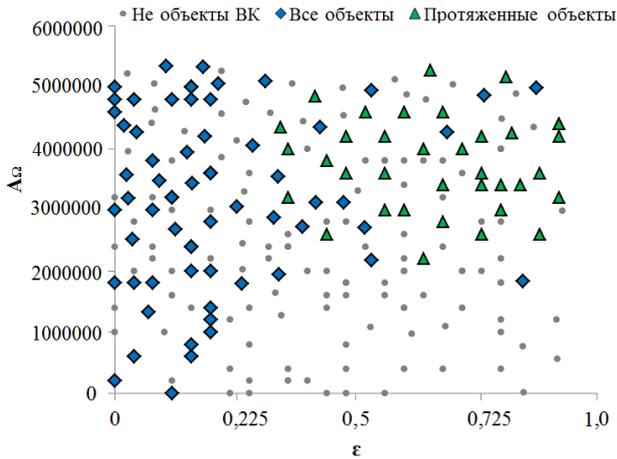
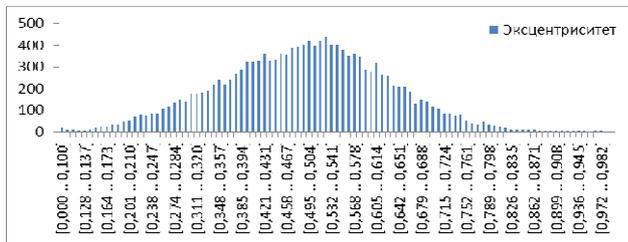
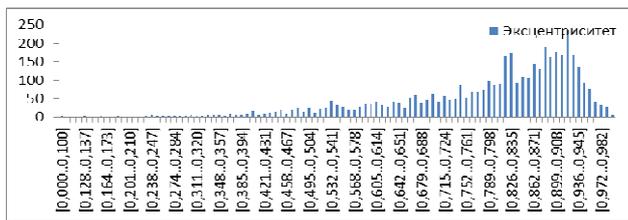


Рис. 3 – Зависимость яркости изображения объектов от значения эксцентриситета для объектов в форме круга и протяженных объектов

На рисунке 5 представлены эксцентриситеты изображений гипотетических объектов УСАС4 и изображений, соответствующих протяженным объектам. Сравнительный анализ рисунков 5а и 5б свидетельствует о селективности эксцентриситета изображения при выделении объектов с протяженными изображениями. С другой стороны данная селективность не настолько высока, чтобы признак эксцентриситета обеспечивал безошибочную различимость рассматриваемых гипотез.



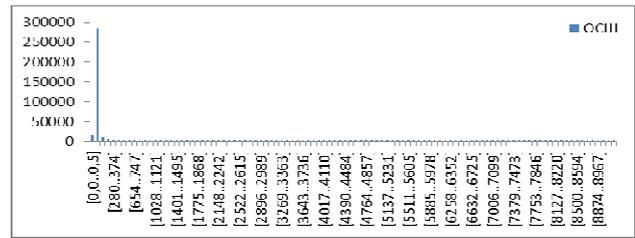
а)



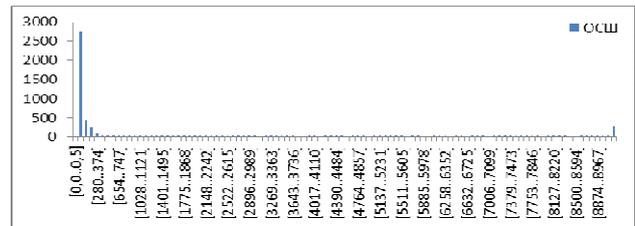
б)

Рис. 4 – Распределение измерений по диапазонам эксцентриситета: а) измерения, отождествленные с астрокаталогом УСАС4; б) измерения протяженных объектов

Анализ значений отношения сигнал-шум всех изображений и изображений, соответствующих протяженным объектам представлен на рисунках ба и бб соответственно.

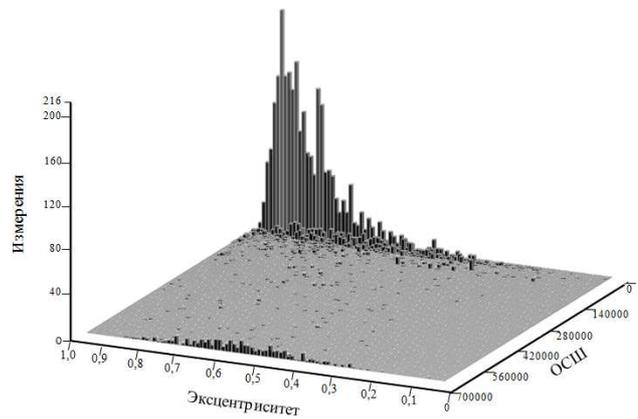


а)

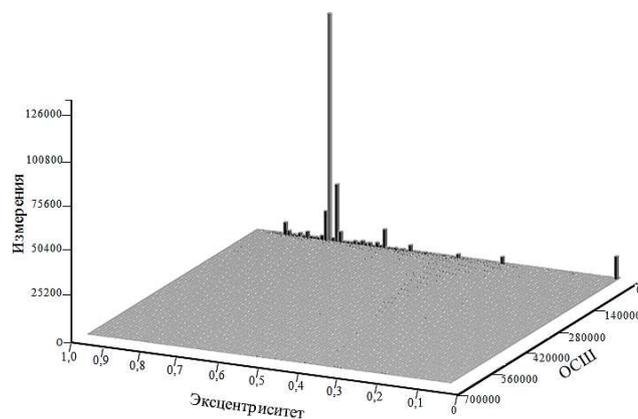


б)

Рис. 5 – Распределение измерений по диапазонам ОСШ: а) измерения всех объектов; б) измерения протяженных объектов



а)



б)

Рис. 6 – Распределение измерений объектов на плоскости ОСШ-Эксцентриситет: а) все измерения; б) протяженные измерения

На рисунке 6 представлено распределение измерений всех объектов (рисунок 6а) и измерений, соответствующих протяженным объектам (рисунок 6б), на плоскости ОСШ-Эксцентриситет.

Из рисунков 6а и 6б видно, что совместное использование эксцентриситета изображения и его ОСШ обладает большей селективностью, чем раздельное использование рассматриваемых признаков.

Исходя из изложенного выше на этапе внутрикадровой обработки изображение объекта считается протяженным, если выполняются условия:

$$\hat{\varepsilon}_j > \varepsilon_{kr}; \quad (11)$$

$$\hat{q}_j > q_{kr}, \quad (12)$$

где

$$\hat{q}_j = A_{xy} / \hat{\sigma}_{noise} \quad (13)$$

– оценка отношения сигнал-шум;

$\hat{\sigma}_{noise}$ – оценка СКО яркости фона.

Критические значения эксцентриситета ε_{kr} и отношения сигнал-шум q_{kr} выбираются из экспериментально полученных гистограмм, примеры которых приведены на рис. (4, 5, 6). В ходе проведения исследований разработанного метода выделения протяженных объектов использовались следующие значения указанных параметров: $\varepsilon_{kr} \geq 0.7$, $q_{kr} \geq 50$.

Проверка принадлежности протяженных изображений объектам внутреннего каталога с соответствующей отбраковкой (отбраковка изображений близких звезд)

На этапе внутрикадровой обработки были выделены протяженные изображения (изображения, предположительно соответствующие изображениям объектов, смазанных собственным движением). Для этого предполагалось, что объект является вытянутым ($\varepsilon_{kr} \geq 0.7$) и значение ОСШ $q_{kr} \geq 50$. ОСШ определялась согласно выражения (13), а вытянутость определялась эксцентриситетом (9).

На этапе межкадровой обработки отождествляются кадры серии с формулярами звездного каталога, и формируется внутренний каталог объектов, неподвижных на исследуемой серии кадров.

На базе пикселей отнесенных к протяженным изображениям на этапе внутрикадровой обработки также могут быть сформированы круговые изображения объектов,

которые не смазаны собственным движением. На одном кадре изображения «созвездий» из нескольких звезд, выстроившихся в линию (рис.7а, 7б), ничем не отличаются от изображений объектов, смазанных собственным движением (рис. 7в). По данным круговым изображениям формируется оценка положения предполагаемых объектов [8]. Совокупность всех сформированных на кадре измерений используется для формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на исследуемой серии кадров.

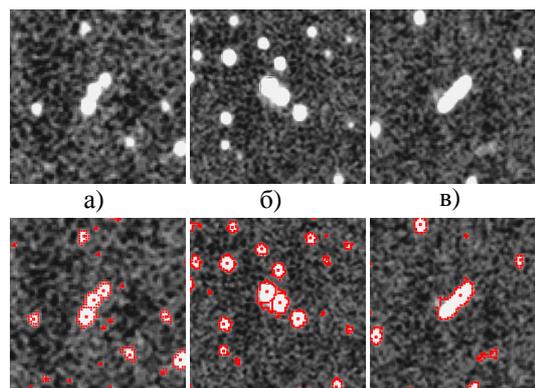


Рис. 7 – Изображение объектов, смазанных собственным движением

После этого из множества протяженных изображений исключаются те, которые включают в себя хотя бы два круговых изображения известных звезд или звезд, попавших в сформированный внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров. При этом, считается, что j-е протяженное изображение включает в себя круговое изображение 1-го объекта внутреннего каталога, объектов, неподвижных на серии кадров, если оценки координат x_i , y_i этого объекта принадлежат области исследуемого j-го протяжённого изображения $x_i \in \Omega_j$, $y_i \in \Omega_j$ (где 1 и j номера объектов на исследуемом кадре).

МНК-оценка параметров видимого движения объекта вдоль одной координаты

Видимое движение объекта вдоль каждой координаты считается независимым. Следовательно, задачу определения параметров видимого движения объекта вдоль двух координат можно свести к независимому определению параметров видимого движения вдоль каждой координаты.

Для объединения протяженных изображений в серию необходимо пересчитать координаты и ориентацию протяженных изображений с текущих кадров на базовый, кадр, в координатах которого

производятся операции межкадровой обработки. Для этого используются постоянные пластинки, получаемые на этапе отождествления измерений текущего кадра [3].

Совокупность оцениваемых параметров можно представить с помощью вектора оцениваемых параметров:

$$\hat{\Theta} = (\hat{\theta}_x, \hat{\theta}_y) = (\hat{x}_{0j}, \hat{V}_{xj}, \hat{y}_{0j}, \hat{V}_{yj}). \quad (14)$$

МНК-оценка (14) параметров видимого движения j -го объекта (координата \hat{x}_{0j} на базовом кадре и скорость \hat{V}_{xj}) вдоль координаты x имеет вид [9]:

$$\hat{x}_{0j} = \frac{D \cdot A_x - C \cdot B_x}{T \cdot D - C^2}; \quad (15)$$

$$\hat{V}_{xj} = \frac{T \cdot B_x - C \cdot A_x}{T \cdot D - C^2}, \quad (16)$$

где $A_x = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \hat{x}_{jt}$; $B_x = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \Delta_{gr} \hat{x}_{jt}$; $C = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \Delta_{gr}$; $D = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \Delta_{gr}^2$;

Δ_{gr} – время между текущим и базовым кадрами
 $\Delta_{gr} = (\tau_t - \tau_0)$.

Аналогично, для координаты y :

$$\hat{y}_{0j} = \frac{D \cdot A_y - C \cdot B_y}{T \cdot D - C^2}; \quad (17)$$

$$\hat{V}_{yj} = \frac{T \cdot B_y - C \cdot A_y}{T \cdot D - C^2}, \quad (18)$$

где $A_y = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \hat{y}_{jt}$; $B_y = \sum_{t=1}^{N_{meq}} \Delta_{gr} \hat{y}_{jt}$.

Обнаружение изображений объектов, смазанных собственным движением

После операций внутрикадровой и межкадровой обработки первого и второго этапов метода выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением, остается очень мало изображений, соответствующих истинным и ложным объектам. Это позволяет для указанного выше объединения использовать метод из класса стробовых.

Для реализации стробового метода (рис.8) объединения протяженных изображений в серию следует выполнить следующую последовательность операций.

1. Очередное протяженное изображение текущего кадра проверяется на принадлежность уже сформированным стробам объектов с

большим видимым движением.

1.1 Положения стробов (ожидаемое (экстраполированное) положение объекта) определяются в соответствии с линейной моделью видимого движения объекта:

$$\hat{x}_{et} = \hat{x}_{0j} + \hat{V}_{xj}(\tau - \tau_0); \quad (19)$$

$$\hat{y}_{et} = \hat{y}_{0j} + \hat{V}_{yj}(\tau - \tau_0), \quad (20)$$

где $\hat{\Theta} = (\hat{\theta}_{xj \max}, \hat{\theta}_{xj \min}, \hat{\theta}_{yj \max}, \hat{\theta}_{yj \min})$ – вектор параметров видимого движения.

Границы стробов определяются выражениями:

$$x_{\min t}^* (\hat{\theta}_{xj \min}) = \hat{x}_{0j} + \hat{V}_{\min xj} \Delta_{gr}; \quad (21)$$

$$x_{\max t}^* (\hat{\theta}_{xj \max}) = \hat{x}_{0j} + \hat{V}_{\max xj} \Delta_{gr}; \quad (22)$$

$$y_{\min t}^* (\hat{\theta}_{yj \min}) = \hat{y}_{0j} + \hat{V}_{\min yj} \Delta_{gr}; \quad (23)$$

$$y_{\max t}^* (\hat{\theta}_{yj \max}) = \hat{y}_{0j} + \hat{V}_{\max yj} \Delta_{gr}. \quad (24)$$

где $\hat{\theta}_{xj \max}$, $\hat{\theta}_{xj \min}$, $\hat{\theta}_{yj \max}$, $\hat{\theta}_{yj \min}$ – векторы параметров видимого движения объекта по каждой координате, соответствующие границам стробов;

$\hat{V}_{\min xj}$, $\hat{V}_{\max xj}$, $\hat{V}_{\min yj}$, $\hat{V}_{\max yj}$ – оценки минимальной и максимальной скорости протяженного объекта по координатам x и y соответственно:

$$\hat{V}_{\min j} = \frac{d_j - 10\sigma_{cont}}{\Delta_\tau}, \quad \hat{V}_{\max j} = \frac{d_j + 10\sigma_{cont}}{\Delta_\tau};$$

σ_{cont} – СКО координат границ изображения (СКО радиуса изображения);

d_j – длина пути (в пикселях), пройденного j -м объектом за время экспозиции, которая также является длиной изображения j -го объекта;

Δ_τ – время экспозиции.

Векторы $\hat{\theta}_{xj \max}$, $\hat{\theta}_{xj \min}$, $\hat{\theta}_{yj \max}$, $\hat{\theta}_{yj \min}$ включают в себя координаты \hat{x}_{jt} , \hat{y}_{jt} положения объекта и его скорости $\hat{V}_{\min xj}$, $\hat{V}_{\max xj}$, $\hat{V}_{\min yj}$, $\hat{V}_{\max yj}$ по каждой координате:

$$\hat{\theta}_{xj \max} = (\hat{x}_0, \hat{V}_{\max xj}); \quad \hat{\theta}_{xj \min} = (\hat{x}_0, \hat{V}_{\min xj}); \quad (25)$$

$$\hat{\theta}_{yj \max} = (\hat{y}_0, \hat{V}_{\max yj}); \quad \hat{\theta}_{yj \min} = (\hat{y}_0, \hat{V}_{\min yj}). \quad (26)$$

1.2. Считается, что изображение протяженного объекта попало в строб, если выполняется условие:

$$\begin{aligned} x_{\min et} < \hat{x}_{jt} < x_{\max et}; \\ y_{\min et} < \hat{y}_{jt} < y_{\max et}. \end{aligned} \quad (27)$$

1.3. Если данное изображение попадает в один из указанных стробов, параметры строба уточняются в соответствии с параметрами очередного протяженного изображения попавшего в строб согласно выражений (15)÷(17).

2. Для каждого изолированного протяженного изображения (протяженного изображения, не попавшего в стробы объектов с большим видимым движением, не включенного в серию протяженных изображений) формируется новый строб (рис. 8). Положение и ориентация строба определяется углом изображения и вытянутостью протяженного изображения. Для этого используются выражения (19), (20). Размеры строба определяются показателями качества работы процедуры оконтуривания изображения, показателями точности оценки параметров протяженного изображения и пересчета координат и ориентации протяженных изображений с текущих кадров на базовый.

3. Объектов с большим видимым движением считается обнаруженным (серия протяженных изображений одного объекта с большим видимым движением считается сформированной) если на N_{fr} кадрах в соответствующий строб попало m измерений, соответствующих протяженным изображениям объекта.

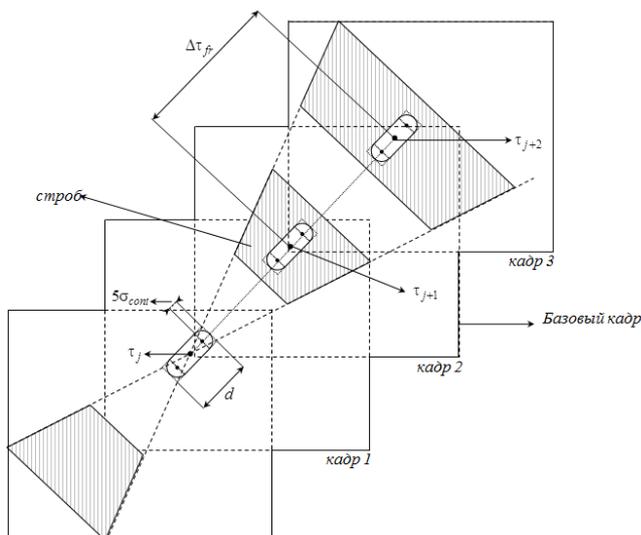


Рис. 8 – Серия кадров с протяженным изображением объекта

Вычислительный метод выделения (обнаружения) изображения небесных объектов, смазанных собственным движением

1) На первом этапе (соответствует внутрикадровой обработке) из множества изображений объектов на кадре выбираются те изображения, которые соответствуют селективным признакам протяженных изображений ($\epsilon_{kr} \geq 0.7$, $q_{kr} \geq 50$) (11),(12).

2) Исключение из множества протяженных измерений исследуемого кадра измерений соответствующих изображениям известных объектов (звезд) или звезд попавших в сформированный внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров.

3) Протяженные изображения (по одному на каждом кадре) объединяются в серию протяженных изображений одного гипотетического объекта

3.1 Проверка протяженных изображений текущего кадра на принадлежность уже сформированным стробам объектов с большим видимым движением (27). В случае попадания очередного изображения в один из указанных стробов – с использованием метода наименьших квадратов уточняются, согласно выражений (15) ÷ (17), параметры данного строба в соответствии с параметрами протяженного изображения попавшего в строб.

3.2 Для каждого изолированного протяженного изображения (не попавшего в уже существующие стробы объектов с большим видимым движением) формируется новый строб с параметрами (положением и размерами), определяемыми согласно выражений (19) ÷ (24).

3.3 Объект с большим видимым движением считается обнаруженным, если на N_{fr} кадрах в соответствующий строб попало m измерений, соответствующих протяженным изображениям.

Анализ показателей качества предложенного метода выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением

В таблице 2 представлены результаты обработки 8 кадров размера 3056x3056 пикселей. В среднем на каждом кадре было сформировано около 42 тысяч измерений. После первого этапа (таблица 2) предложенного в работе метода (выполняется при внутрикадровой обработке) из 42 тысяч измерений остается около 3,5 % измерений, которые гипотетически могут соответствовать протяженным изображениям. После исключения объектов внутреннего каталога из всего количества измерений кадра остается только 1% измерений, которые гипотетически

могут соответствовать протяженным изображениям.

Событие, заключающееся в ошибочном выделении объектов с большим видимым движением при исследованиях происходило не чаще чем 1 раз на несколько кадров. В этой связи количество исследуемых ошибочных выделений после 3 этапа метода выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением, в таблице 2 не приведено.

Таблица 2. – Пример распределения протяженных измерений на серии кадров до и после формирования внутреннего каталога (ВК)

№ кадра (размер)	Всего протяженных измерений на кадре	Протяженных измерений после 1 этапа метода	%	Протяженных измерений после 2 этапа метода	%
1 (3056x3056)	40852	1178	2,9%	339	0,8%
2 (3056x3056)	41458	1124	2,7%	375	0,9%
3 (3056x3056)	42805	1074	2,5%	340	0,8%
4 (3056x3056)	41732	1263	3,0%	340	0,8%
5 (3056x3056)	43211	2104	4,8%	554	1,2%
6 (3056x3056)	43259	1865	4,3%	461	1,0%
7 (3056x3056)	43818	1638	3,7%	314	0,7%
8 (3056x3056)	43691	1702	3,9%	443	1,0%

Выводы

Разработан метод выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением. Данный метод состоит из трех этапов.

1) На первом этапе (выполняется при внутрикадровой обработке серии кадров) из множества изображений объектов на кадре выбираются те, которые соответствуют селективным признакам протяженных изображений (11), (12).

2) Исключение из множества протяженных измерений исследуемой серии кадров измерений, соответствующих изображениям известных объектов (звезд) или звезд попавших в сформированный внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров.

3) Протяженные изображения (по одному на каждом кадре) объединяются в серию протяженных изображений одного гипотетического объекта.

3.1 Проверка протяженных изображений текущего кадра на принадлежность уже сформированным стробам объектов с большим видимым движением (27). В случае попадания очередного изображения в один из указанных стробов – с использованием метода наименьших квадратов уточняются, согласно выражений $(15) \div (17)$, параметры данного строба в соответствии с параметрами протяженного изображения попавшего в строб.

3.2 Для каждого изолированного протяженного изображения (не попавшего в уже существующие стробы объектов с большим видимым движением) формируется новый строб с параметрами (положением и размерами), определяемыми согласно выражений $(19) \div (24)$.

3.3 Объект с большим видимым движением считается обнаруженным, если на N_{fr} кадрах в соответствующий строб попало m измерений, соответствующих протяженным изображениям.

На первом этапе выделяются протяженные изображения. На втором этапе исключаются случайным образом образованные кластеры объектов с круговыми изображениями. Третий этап предназначен для проверки согласованности между собой оценок положения и скорости, соответствующих изображениям гипотетически одного и того же объекта на разных кадрах исследуемой серии.

Предложенный метод выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением, реализован в программе автоматического поиска астероидов на серии ПЗС-кадров CoLiTec [9, 10, 11]. Исследования проходили на восьми, предварительно обработанных программой CoLiTec, кадрах размера 3056x3056 пикселей. В среднем на каждом кадре было сформировано около 42 тысяч измерений. После первого этапа (таблица 2) предложенного в работе метода из 42 тысяч измерений остается около 3,5 % измерений, которые гипотетически могут соответствовать протяженным изображениям. После исключения объектов внутреннего каталога из всего количества измерений кадра остается только 1% измерений, которые гипотетически могут соответствовать протяженным изображениям. После использования 3 этапа метода ложных обнаружений объектов с высокой скоростью видимого движения при экспериментальных исследованиях найдено не было.

Разработанный метод выделения изображений небесных объектов, смазанных собственным движением, может быть использован в различных программных комплексах обработки цифровых изображений для выделения (обнаружения) небесных протяженных объектов, например в программах автоматизированного

обнаружения малых тел Солнечной системы (астероидов и комет) на серии цифровых кадров.

Список литературы

- 1 **George, E. Smith** The invention and early history of the CCD [Text] / **E. Smith George** // *Rev. Mod. Phys.* – 2010. – V. 3, № 82. – P. 2307-2312.
- 2 **Kouprianov, V.** Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects / **V. Kouprianov** // *Advances in Space Research.* – 2008. – T. 41(7). – С. 1029-1038.
- 3 **Bauer, T.** Improving the Accuracy of Position Detection of Point Light Sources on Digital Images / **T. Bauer** // *Proceedings of the IADIS Multiconference, Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing, Algarve, Portugal.* – June 20-22 2009. – P. 3-15.
- 4 **Zhai, C.** et al. Detection of a Faint Fast-moving Near-Earth Asteroid Using the Synthetic Tracking Technique // *The Astrophysical Journal.* – 2014. – T. 792. – №. 1. – 60 с.
- 5 **Vereš, P.** et al. Improved asteroid astrometry and photometry with trail fitting // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific.* – 2012. – T. 124. – №. 921. – С. 1197-1207.
- 6 **Безкровный, М. М.** Оценка местоположения объекта на ПЗС-кадре при среднем времени экспозиции / **М. М. Безкровный, А. М. Кожухов, В. Е. Саваневич, А. Б. Анненков, Н. С. Соковикова** // *Системи обробки інформації: Зб. наук. пр.* – Харків: ХУПС – 2012. – Вып. 7(105). – С. 44 - 50.
- 7 **Яне, Б.** Цифровая обработка изображений / Б. Яне пер. с англ. - М: Техносфера, 2005. – 584с
- 8 **Саваневич, В. Е.** Оценка координат астероида на дискрет-ном изображении / **В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, Е. Н. Диков** // *Радиотехника.* –2010. – Вып. 162. – С. 78-86.
- 9 **Savanevych, V. E.** A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / **V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, N. Sokovikova** // *MNRAS.* – 2015. – T. 451 (3). – С. 3287-3298.
- 10 **Vavilova, I. B.** UkrVO Joint Digitized Archive and Scientific Prospects / **I. B. Vavilova, L. K. Pakuliak, Yu. I. Protsyuk,** et al. // *Baltic Astronomy.* – 2012. – vol. 21. – P. 356-365.
- 11 Свід. про реєстр. авт. права № 47290. Україна. Комп'ютерна програма «Програма автоматизованого відкриття астероїдів та комет на серії ПЗС-кадрів CoLiTec» / **В. Є. Саваневич, О. Б. Брюховецький, О.М. Кожухов, Є.М. Діков, В.П. Власенко, Л.В. Єленін, М.М. Безкровний, О.Б. Анненков, О.В. Герасименко** — прийнято 21. 01. 13.

Bibliography (transliterated)

- 1 **George, E. Smith** The invention and early history of the CCD [Text] / *Rev. Mod. Phys.* – 2010. – V. 3, № 82. – P. 2307-2312.
- 2 **Kouprianov, V.** Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects / *Advances in Space Research.* – 2008. – T. 41(7). – С. 1029-1038.
- 3 **Bauer, T.** Improving the Accuracy of Position Detection of Point Light Sources on Digital Images / *Proceedings of the IADIS Multiconference, Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing, Algarve, Portugal.* – June 20-22 2009. – P. 3-15.
- 4 **Zhai C.** et al. Detection of a Faint Fast-moving Near-Earth Asteroid Using the Synthetic Tracking Technique / *The Astrophysical Journal.* – 2014. – T. 792. – №. 1. – 60 p.
- 5 **Vereš P.** et al. Improved asteroid astrometry and photometry with trail fitting / *Publications of the Astronomical Society of the Pacific.* – 2012. – T. 124. – №. 921. – P. 1197-1207.
- 6 **Bezkrorny, M. M., Kozhukhov, A. M., Savanevich, V. E., Annenkov, A. B., Sokovikova, N. S.** Otsenka mestopolozheniya ob'ekta na PZS-kadre pri srednem vremeni ekspozitsii / *Sistemi obrobki informatsii: Zb. nauk. pr.* – Kharkiv: KhUPS – 2012. – Vyp. 7(105). – S. 44 - 50.
- 7 **Yane, B.** Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / B. Yane per. s angl. - M: Tekhnosfera, 2005. – 584s.
- 8 **Savanevich, V. E., Bryukhovetskiy, A. B., Kozhukhov, A. M., Dikov, E. N.** Otsenka koordinat asteroida na diskret-nom izobrazhenii / *Radiotekhnika.* – 2010. – Vyp. 162. – S. 78-86.
- 9 **Savanevych, V. E., Briukhovetskiy, O. B., Sokovikova, N.,** et al. A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / *MNRAS.* – 2015. – T. 451 (3). – P. 3287-3298.
- 10 **Vavilova, I. B., Pakuliak, L. K., Protsyuk, Yu. I.,** et al. UkrVO Joint Digitized Archive and Scientific Prospects / *Baltic Astronomy.* – 2012. – vol. 21. – P. 356–365.
- 11 Svid. pro reestr. avt. prava № 47290. Ukraina. Komp'yuterna programa «Programa avtomatizovanogo vidkrittya asteroidiv ta komet na serii PZS-kadriv CoLiTec» / **V. E. Savanevich, O. B. Briukhovetskiy, O. M. Kozhukhov, E. M. Dikov, V. P. Vlasenko, L. V. Elenin, M. M. Bezkrorny, O. B. Annenkov, O. V. Gerasimenko** — priynyato 21. 01. 13.

Поступила (received) 20.06.2015