

УДК 004.932

В.Е. Саваневич¹, Я.С. Мовсесян², Н.Ю. Дихтяр²¹ Ужгородский национальный университет, Ужгород² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО КАТАЛОГА ОБЪЕКТОВ, НЕПОДВИЖНЫХ НА СЕРИИ КАДРОВ

Разработаны вычислительные методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Разработка вычислительных методов основана на методах взаимного отождествления и рекуррентного отождествления серии кадров, на начальном этапе работы которых использован метод формирования групп близких объектов. Разработанные в статье методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, используются для повышения селективных возможностей и снижения времени реализации вычислительных методов обработки кадров астероидных обзоров.

Ключевые слова: измерение кадра, серия кадров, внутренний каталог объектов неподвижных на серии кадров, отождествление кадров.

Введение

В настоящее время продолжает расти осознание человечеством астероидно-кометной опасности [1 – 4]. Вместе с этим растет интерес к методам автоматической обработки кадров астероидных обзоров [5 – 8]. Большая часть измерений, сформированным на указанных кадрах, соответствует звездам. Очевидно, что видимое положение звезд на небесной сфере практически остается неизменным за тот короткий промежуток времени, который соответствует исследуемым сериям кадров астероидных обзоров. Астероиды наоборот, имеют ненулевое видимое движение и перемещаются от кадра к кадру серии.

Целью данной статьи является разработка вычислительных методов формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, которые могут быть использованы для повышения селективных возможностей и снижения вычислительных затрат на обработку кадров астероидных обзоров.

Постановка задачи

Для повышения селективных возможностей и снижения времени реализации вычислительных методов обработки кадров астероидных обзоров целесообразно предварительно все измерения каждого кадра разделить на два множества. Первое множество – множество объектов с практически нулевым видимым движением, которое в рамках проекта CoLiTeс названо внутренним каталогом объектов, неподвижных на серии кадров.

Второе множество измерений кадра дополняет внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, до множества всех измерений кадра. Иными словами, это множество измерений, которое можно назвать кандидатами на измерения от асте-

роидов, комет, искусственных спутников земли (ИСЗ) и т.д. Однако, в большей степени, второе множество включает в себя измерения от «ложных» объектов, измерения от которых сформированы на шумовых выбросах, космических лучах или ряде артефактов изображений.

Процедуре формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, предшествуют процедуры отождествления [9 – 12] измерений (звезд кадра) и формуляров каталога (звезд каталога). В их результате формируются постоянные пластинки [13 – 16] и с использованием последних координаты объектов в системе координат (СК) любого ПЗС-кадра могут быть пересчитаны в СК любого другого ПЗС-кадра серии. При формировании внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, целесообразно все измерения серии кадров пересчитывать в СК одного кадра, который можно назвать базовым кадром.

Множество измерений n_{fr} -го кадра обозначается Ω_{nfr} и состоит из

$$\Omega_{nfr} = \{Y_{1nfr}, \dots, Y_{infr}, \dots, Y_{Qnfr}\}$$

измерений.

При этом каждое измерение

$$Y_{infr} = \{x_{in}; y_{in}; A_{in}\} = \{Y_{Kin}; A_{in}\}$$

содержит оценки положения $Y_{Kin} = \{x_{in}; y_{in}\}$ и блеска A_{in} небесных объектов. Множество измерений серии кадров Ω_{set} состоит из множеств измерений кадров Ω_{nfr} рассматриваемой серии $\Omega_{set} = \{\Omega_{1fr}, \dots, \Omega_{nfr}, \dots, \Omega_{Nfr}\}$.

На каждом кадре имеют место измерения, как от неподвижных объектов, так и от ложных и подвижных объектов (объектов с ненулевым видимым

движением). На одном кадре от одного небесного объекта не может быть более одного измерения. Ошибки координат i -го измерения положения и блеска небесного объекта на n_{fr} -м кадре имеют распределение с нулевым средним и известной диагональной корреляционной матрицей Σ_{fitn} . Данные ошибки можно считать независимыми как от измерения к измерению, так и от параметра к параметру в одном измерении. Координаты измерений ложных и подвижных объектов распределены равномерно и взаимно независимы. Из некоординатной информации используется только оценка блеска небесных объектов, содержащихся в измерениях.

Анализ литературы

Вопросы разработки и анализа методов межкадровой обработки астероидных обзоров начали получать свое отражение в научной периодике совсем недавно [9, 11, 13, 17, 18]. Формировать внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, для повышения селективных возможностей астероидных обзоров было предложено, например, в работе [18]. Однако до сих пор отсутствует описание метода формирования указанного каталога.

Одной из основных операций исследуемого в статье метода будет операция отождествления измерений кадров астероидных обзоров и формуляров астрометрических каталогов. Методам реализации данной операции посвящена обширная литература [9 – 12].

Очевидным является использование относительного метода [15, 16] оценки положений объектов и связанные с этим задачи выбора опорных звезд [13] и нахождения постоянных пластинок [13 – 16] с использованием метода наименьших квадратов. Методы определения сглаженных оценок положения соседних объектов при ненулевой вероятности формирования измерений на кадрах по статистически зависимым изображениям будут описаны авторами позже.

Основной материал

Критерий отнесения совокупности измерений к одному объекту внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Считается, что измерения одного «неподвижного» объекта (небесного объекта с нулевым видимым движением на серии кадров) имеют малые взаимные флуктуации оценок положения. Формализуется это тем, что считается, что любые два измерения (по одному с кадра) положения одного объекта отличаются друг от друга не более чем на радиус неподвижности R_{static} .

Также вводится требование к мощности объекта внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Под мощностью объекта понимается

количество N_{VKj} измерений, ему соответствующих.

Для попадания объекта во внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, количество его измерений должно быть не меньше наперед заданной константы N_{VKmin} . Связано это с тем, что можно считать целесообразным предположение, что во внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, могут попасть только объекты, которые устойчиво обнаруживаются на кадрах исследуемой серии. Минимальное количество N_{VKmin} измерений объекта внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, зависит от количества кадров и задается в одном из следующих форматов:

k/m – в m кадрах должно быть не менее k измерений объектов; например, 3/3, 4/4 и т.д.;

$k/(m \div \ell)$ – в серии от m до ℓ кадров должно быть не менее k измерений объектов; например, 5/(7÷9), 6/(10÷13) и т.д.;

$\chi_{VK} / > m$ – в серии от m кадров должно быть не менее $\chi_{VK} \cdot N_{fr}$ измерений объектов, где N_{fr} – количество кадров в серии; например, 0.5/>14 и т.д.

В работе для формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, разработано два вычислительных метода. Данные методы названы метод взаимного отождествления кадров серии и метод рекуррентного отождествления кадров серии. При использовании любого из указанных методов на первом шаге формируются группы близких объектов каждого кадра. Вычислительный метод формирования данных групп изложен в статье [19].

Пересчет координат измерений кадра в СК базового кадра.

Отождествление кадров или кадров и каталогов можно произвести, если их измерения или измерения и формуляры находятся в одной системе координат. При формировании внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, целесообразно ввести систему координат базового кадра, а координаты всех измерений всех кадров пересчитать в эту систему координат. Для этого используются полученные ранее постоянные пластинок [15]. Естественно базовым кадром считать средний кадр серии или кадр, которому соответствует наибольшее количество измерений.

Данный пересчет осуществляется в два этапа. На первом этапе, на основе прямоугольных координат положения объекта в СК его кадра определяются идеальные (тангенциальные) координаты объекта согласно выражений [13]:

$$\begin{cases} \xi = a_{p11} \cdot x + b_{p11} \cdot y + c_{p11}; \\ \eta = a_{p12} \cdot x + b_{p12} \cdot y + c_{p12}, \end{cases} \quad (1)$$

где ξ и η – идеальные (тангенциальные) координаты опорных звезд;

a_{p11} , b_{p11} , c_{p11} и a_{p12} , b_{p12} , c_{p12} – постоянные пластинки линейной модели редукции

x , y – измеренные координаты опорных звезд в системе координат ПЗС-кадра.

Наличие постоянных пластинок линейной модели редукции, позволяет получить оценки экваториальных координат $\alpha_{i\text{nf}r}$, $\delta_{i\text{nf}r}$ объектов кадра, в соответствии с выражением [13 – 15]:

$$\begin{cases} \alpha_{i\text{nf}r} = \alpha_{00} + \arctg\left(\frac{-\xi}{\cos \delta_{00} - \eta \sin \delta_{00}}\right); \\ \delta_{i\text{nf}r} = \arcsin \frac{\eta \cos \delta_{00} + \sin \delta_{00}}{\sqrt{1 + \xi^2 + \eta^2}}. \end{cases} \quad (2)$$

где α_{00} , δ_{00} – экваториальные координаты оптического базового центра ПЗС-кадра серии;

На втором этапе пересчета координат измерений кадра в СК базового кадра определяются прямоугольные координаты x и y объекта в СК базового кадра.

Данные координаты определяются из системы нелинейных уравнений (2).

$$\begin{aligned} \xi_{i\text{nf}r} = & a_{BF1}x + a_{BF2}y + a_{BF3} + \\ & + a_{BF4}xy + a_{BF5}x^2 + a_{BF6}y^2 + a_{BF7}x^3 + \\ & + a_{BF8}y^3 + a_{BF9}xy^2 + a_{BF10}x^2y; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \eta_{i\text{nf}r} = & b_{BF1}x + b_{BF2}y + b_{BF3} + \\ & + b_{BF4}xy + b_{BF5}x^2 + b_{BF6}y^2 + b_{BF7}x^3 + \\ & + b_{BF8}y^3 + b_{BF9}xy^2 + b_{BF10}x^2y, \end{aligned} \quad (4)$$

где a_{BF1} , a_{BF2} , a_{BF3} , a_{BF4} , a_{BF5} , a_{BF6} , a_{BF7} , a_{BF8} , a_{BF9} , a_{BF10} , b_{BF1} , b_{BF2} , b_{BF3} , b_{BF4} , b_{BF5} , b_{BF6} , b_{BF7} , b_{BF8} , b_{BF9} , b_{BF10} – постоянные пластинки кубической модели редукции базового кадра, определяющие связь между тангенциальной (идеальной) системой координат и СК базового кадра.

Данная система уравнений получается из указанных выше систем уравнений (1), (2). При практической реализации метода для решения системы нелинейных уравнений использовался метод Ньютона [20].

Поиск решения системы (2) считается завершенным, если разница между значениями каждой координаты объекта на текущей и предыдущей итерациях становится меньше r_{iterBF} пикселя. Если в процессе решения системы (2) произведено N_{iterBF} итераций метода Ньютона, решение приостанавливается, а значения прямоугольных координат x и y объекта в СК базового кадра считаются равными

соответствующей их оценке на десятой N_{iterBF} итерации. Опыт практического решения системы уравнений (2) свидетельствует о том, что чаще всего для ее решения достаточно 3-4 итерации.

Формирование внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, методом взаимного отождествления кадров. При использовании данного метода измерения каждого кадра серии отождествляются с измерениями всех остальных кадров серии. Для отождествления измерений двух кадров решается задача о наилучшем паросочетании между собой измерений разных кадров [9]. Задача решается венгерским методом [9]. При этом два измерения разных кадров могут быть признаны принадлежащими одному объекту, если расстояние между ними не превышает радиус неподвижности R_{static} . Если измерение базового кадра или какого-либо другого кадра имеет количество пар в других кадрах, превышающее минимально необходимое $N_{\text{VKmin}} - 1$ и самое большее расстояние между измерениями объекта не превышает радиус неподвижности R_{static} , то соответствующий ему объект признается объектом внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Так например, объект включается во внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, если i_1 -ое измерение первого кадра серии идентифицировано с i_2 -м измерением второго кадра серии и i_3 -м измерением третьего кадра серии, а также i_2 -ое измерение второго кадра серии идентифицировано с i_3 -м измерением третьего кадра серии. При этом, объект внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, будет состоять из i_1 , i_2 , i_3 -х измерений первого, второго и третьего кадров соответственно.

Для реализации вычислительного метода формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, взаимным отождествлением кадров необходимо выполнить следующую последовательность операций.

1. Для множества измерений каждого кадра серии производится следующая последовательность операций.

1.1 Отождествление измерений кадра с формулярами используемого звездного каталога с определением постоянных пластинок кадра [9, 13 – 15, 19].

1.2. Формирование на множестве измерений кадра серии групп близких объектов [19].

1.3 Пересчет координат измерений кадра из СК кадра формирования измерений в СК базового кадра с использованием коэффициентов постоянных пластинок обоих кадров [13 – 15].

1.4. Попарное отождествление измерений каждого кадра серии с измерениями всех остальных кадров серии в СК базового кадра с помощью венгерского метода [9, 19].

2. Для каждого измерения базового кадра (желательно кадра с наибольшим количеством измерений) выполняется следующая последовательность операций.

2.1. Производится подсчет количества пар, сформированных с участием рассматриваемого измерения базового кадра (желательно кадра с наибольшим количеством измерений).

2.2. Принимается решение о наличии неподвижного объекта, если количество сформированных пар, соответствующее рассматриваемому измерению базового кадра, превышает наперед заданную константу вычислительного метода $N_{VK\ min}$ и самое большое расстояние между измерениями предполагаемого объекта не превышает радиус неподвижности R_{static} .

При этом данное измерение базового кадра и соответствующие ему «парные» измерения других кадров объединяются в группу измерений (не более чем по одному с каждого кадра) объекта внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров.

Особенности формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, методом рекуррентного отождествления кадров. При использовании данного метода не производится отождествление множества измерений каждого кадра серии со всеми множествами измерений других кадров серии.

Вместо этого после отождествления первых двух, в общем случае любых, кадров серии формируется множество (каталог) представителей объектов. В дальнейшем производится отождествление очередного исследуемого кадра серии кадров с множеством представителей объектов. Множество представителей объектов содержит в себе оценки положений объектов в СК базового кадра. Эти оценки получают путем сглаживания оценок положений объектов, полученных на отдельных кадрах.

При получении ненулевой вероятности формирования измерений на кадрах по статистически зависимым изображениям для этого целесообразно использовать метод с расщеплением измерений [19].

Для максимизации показателей качества формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, целесообразно кадры серии исследовать в порядке, соответствующем снижению количества измерений, сформированных на них.

Для реализации вычислительного метода формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, рекуррентным отождествлением кадров, необходимо выполнить следующую последовательность операций.

1. Множество измерений первого исследуемого кадра серии считается множеством (каталогом) представителей объектов.

2. Для множества измерений каждого очередного исследуемого кадра серии производится следующая последовательность операций.

2.1 Отождествление измерений исследуемого кадра с формулярами используемого звездного каталога с определением постоянных пластинок кадра [9, 13 – 15].

2.2. Формирование на множестве измерений кадра серии групп близких объектов [19].

2.3 Пересчет координат измерений кадра из СК кадра формирования измерений в СК базового кадра с использованием коэффициентов постоянных пластинок обоих кадров.

2.4. Отождествление множества измерений исследуемого кадра серии с множеством (каталогом) представителей объектов в СК базового кадра с помощью венгерского метода [9, 19].

2.5 Уточнение количества и параметров представителей объектов.

2.5.1. Если представитель имеет измерений (не более одного с каждого кадра) менее чем наперед заданной величины, то он ликвидируется, а его измерения могут быть расписаны по соседним объектам.

2.5.2. Если измерение не попало ни к одному представителю, то формируется новый представитель с оценкой положения, соответствующей данному измерению.

2.5.2. Если на очередном исследуемом кадре представитель получил очередное измерение, то параметры положения представителя уточняются либо простым усреднением соответствующих координат для одиночных объектов либо методом оценки положения близких объектов с расщеплением измерений [19].

Особенности формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров без использования звездного каталога.

В ряде случаев формирование внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, может отождествляться без предварительного отождествления измерений кадров и формуляров звездного каталога. При этом измерения всех кадров отождествляются с измерениями базового кадра (см. пункты 1.1, 2.1 первого и второго вычислительных методов соответственно).

А задача формирования постоянных пластинок ставится как задача минимизации суммы квадратов отклонений между координатами выбранных опорных звезд текущего кадра в системе координат базового кадра и измерений соответствующих звезд базового кадра (см. пункты 1.3, 2.3 первого и второго вычислительных методов соответственно). Одним

из примеров необходимости использования подобного случая можно считать обработку данных метеорного патруля [21].

При проведении исследований предполагались следующие значения констант вычислительного метода. Радиус неподвижности $R_{\text{static}} = 2$ пикселя. Максимально допустимое количество итераций метода Ньютона для решения нелинейной системы уравнений (2) $N_{\text{iterBF}} = 10$. Разница между значениями оценок соответствующих координат объекта на текущей и предыдущей итерациях, при которой система уравнений (2) считается решенной $r_{\text{iterBF}} = 0.1$ пикселя.

Результаты/дискуссия

Предложенные в статье вычислительные методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, использованы в программном обеспечении автоматического поиска астероидов и комет на серии ПЗС-кадров CoLiTec [17, 18].

ПО CoLiTec является первой на территории СНГ программой автоматизированного обнаружения астероидов. С помощью CoLiTec впервые в СНГ и Балтии были открыты астероид и комета в автоматизированном режиме.

С использованием CoLiTec в 2012(2011) году сделано 80 (86)% наблюдений и 74 (75)% открытий астероидов в указанных странах.

Обсерватории-пользователи CoLiTec неоднократно входили в ТОП-30 самых продуктивных обсерваторий мира по количеству измерений астероидов [17, 18].

С использованием CoLiTec было открыто 4 кометы из 8, открытых в СНГ и Балтии более чем за 20 последних лет. 10 декабря 2010 года с использованием программы CoLiTec была открыта комета C/2010 X1 (Elenin), которая стала первой кометой, открытой астрономом СНГ за последние 20 лет. Всего при помощи программы CoLiTec открыто более 1560 астероидов. Среди них 4 объекта сближающихся с Землей из 16 открытых за всю историю советской и постсоветской астрономии СНГ и Балтии, 21 троянский астероид Юпитера и 1 кентавр из двух, открытых в СНГ и Балтии. Еще 3 астероидам были посвящены отдельные электронные циркуляры MPC [17, 18].

В 2014 году программное обеспечение CoLiTec было рекомендовано для членов сети Gaia-FUN-SSO [5] в качестве программного инструмента для выявления астероидов с тусклым изображением на ПЗС-кадрах.

Внедрение в ПО CoLiTec разработанных методов формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, на порядки

сократило время реализации вычислительных методов обработки кадров астероидных обзоров, а так же значительно повысило показатели качества обнаружения малых тел Солнечной системы в ПО CoLiTec.

Выводы

В статье разработаны вычислительные методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Разработанные вычислительные методы основываются на взаимном отождествлении кадров серии и рекуррентном отождествлении кадров.

На начальном этапе работы, данные методы используют метод формирования групп близких объектов [19]. При использовании метода взаимного отождествления, измерения каждого кадра серии отождествляются с измерениями всех остальных кадров серии. В свою очередь, метод рекуррентного отождествления кадров вместо отождествления множества измерений каждого кадра серии со всеми множествами измерений других кадров серии, использует множество представителей объектов. Данное множество формируется после отождествления первых двух кадров и содержит оценки положений объектов в СК базового кадра. Эти оценки формируются путем сглаживания оценок положения объектов, полученных на отдельных кадрах.

Для отождествления измерений оба метода используют задачу о назначениях, которая в свою очередь решается венгерским методом [9].

Методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, использованы для повышения селективных возможностей и снижения времени обработки кадров астероидных обзоров.

Разработанные в статье методы внедрены и успешно используются в ПО автоматического поиска астероидов и комет на серии цифровых кадров CoLiTec [17, 18].

Результаты ПО CoLiTec подтверждают достоверность и надежность работы разработанных вычислительных методов. Разработанные вычислительные методы формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, и соответствующее программное обеспечение могут быть использованы в различных обсерваториях мира.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на исследовании статистических свойств оценок параметров объектов, включаемых в каталог объектов, неподвижных на серии кадров.

Список литературы

1. Rivkin, A.S. *Asteroids, Comets And Dwarf Planets* / A.S. Rivkin. – Greenwood Press, 2009. – 206 p.

2. Kortencamp S. Asteroids, Comets, and Meteoroids / S. Kortencamp. – Mankato, MN: Capstone Press, 2012. – 242 p.
3. Ericson J. Asteroids, comets, and meteorites. Cosmic Invaders of the Earth / J. Ericson. – New York: Fact on File, 2003. – 368 p.
4. David, P.S. Defending Against Asteroids and Comets / P.S. David Dearborn, Paul L. Miller // Springer International Publishing. Handbook of Cosmic Hazards and Planetary Defense – 2014. – P. 1-18.
5. Gaia Follow-Up Network for Solar System Objects [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://gaiafunso.imcce.fr>. – Загл. с экрана.
6. The Large Synoptic Survey Telescope [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://www.lsst.org/>.
7. Ory, M. THE MOROCCO OUKAIMEDEN SKY SURVEY, THE MOSS TELESCOPE [Текст] / M. Ory, A. Daassou, F. Colas, et.al. // Asteroids, Comets, Meteors – 2012. – P. 45-51.
8. Spacewatch Project Telescopes on Kitt Peak [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://spacewatch.lpl.arizona.edu/>.
9. Метод отождествления астрономических измерений CCD-кадра с формулярами звездного каталога [Текст] / Н.Ю. Дихтяр, Я.С. Мовсесян, В.Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Вып. 67. – X., 2015. – С. 197-215
10. Automated Astrometry / D.W. Hogg, M. Blanton, D. Lang et al. // Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII, R. W. Argyle, P. S. Bunclark, and J. R. Lewis, eds., ASP Conference Series 394. – 2008. – P. 27-34.
11. Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images / D. Lang, D.W. Hogg, K. Mierle et. al. // Astron. J. 139:1782, 2010 – P. 46.
12. Measuring the undetectable: Proper motions and parallaxes of very faint sources / D. Lang, D.W. Hogg, S. Jester et. al. // The Astronomical Journal. – 2009. – Vol. 137, issue 5. – P. 4400-4411.
13. Оценка экваториальных координат астероида по оценкам его координат на ПЗС-кадре / В.Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий, А.М. Кожухов, Е.Н. Диков // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС, 2010. – Вип. 6 (87). – С. 172 – 179.
14. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии / А.А. Киселев. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит, 1989. – 264 с.
15. Дума Д.П. Загляна астрометрія. Навчальний посібник / Д.П. Дума – К.: Наукова думка, 2007. – 600 с.
16. Kallenberg O. Foundations of Modern Probability // [Текст] / O. Kallenberg. – Springer, 1997. – 535 с.
17. A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V.E. Savanevych, O.B. Briukhovetskyi, N.S. Sokovikova, M.M. Bezkravny, I.B. Vavilova, Yu.M. Ivashchenko, L.V. Elenin, S.V. Khlamov, Ia.S. Movsesian, A.M. Dashkova, A. V. Pogorelov // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – T. 451 (3). – С. 32.87-32.98.
18. Сравнительный анализ показателей точности позиционных ПЗС-измерений малых тел солнечной системы программными обеспечениями CoLiTeс и Astrometrica / В.Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий, Ю.Н. Иващенко, И.Б. Вавилова, М.М. Безкровный, Е.Н. Диков, В.П. Власенко, Н.С. Соковикова, Я.С. Мовсесян, Н.Ю. Дихтяр, Л.В. Еленин, А.В. Погорелов, С.В. Хламов // Кинематика и физика небесных тел – 2015. – 31, № 6. – С. 55-69.
19. Декомпозиция общей задачи отождествления астрономических кадров со звездными каталогами на совокупность частных задач / Н.Ю. Дихтяр, Я.С. Мовсесян, В.Е. Саваневич, Е.Н. Диков // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС, 2015. – Вип. 9(134). – С. 24-29.
20. Kelley C.T. Solving Nonlinear Equations with Newton's Method / C.T. Kelley – SIAM, 2003. – 288 p.
21. Методика и статистика телевизионных наблюдений телескопических метеоров / Ю.М. Горбанев, А.В. Голубаев, В.В. Жуков, Е.Ф. Князькова, С.Р. Кимаковский, И.И. Кимаковская, С.В. Подлесняк, Л.А. Сарест, И.А. Стогнева, В.А. Шестопалов // Астрономический вестник – 2006. – №5 (40) – С. 449-464.

Поступила в редколлегию 11.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО КАТАЛОГА ОБ'ЄКТІВ, НЕРУХОМИХ НА СЕРІЇ КАДРІВ

В.Є. Саваневич, Я.С. Мовсесян, М.Ю. Діхтяр

У статті розроблено обчислювальні методи формування внутрішнього каталогу об'єктів, нерухомих на серії кадрів. Розробка обчислювальних методів заснована на методах взаємного ототожнення і рекурентного ототожнення серії кадрів, на початковому етапі роботи яких використаний метод формування груп близьких об'єктів. Розроблені в статті методи формування внутрішнього каталогу об'єктів, нерухомих на серії кадрів, використовуються для підвищення селективних можливостей і зниження часу реалізації обчислювальних методів обробки кадрів астероїдних оглядів.

Ключові слова: вимірювання кадру, серія кадрів, внутрішній каталог об'єктів нерухомих на серії кадрів, ототожнення об'єктів

METHOD OF FORMATION INTERNAL CATALOG OF IMMOBILE OBJECT ON A SERIES OF THE FRAMES

V.Ye. Savanevych, Ya.S. Movsesian, M.Yu. Dikhtyar

The article developed computational methods for the formation of an internal catalog of objects, immovable on a series of the frames. The development of computational methods are based on the methods of mutual identification and recurrent identification of series of the frames, at the initial stage of which use the method of forming groups of close objects. Developed in the article methods for the formation of an internal catalog of objects, immovable on a series of the frames, used to enhance selective opportunities and reducing implementation time computing methods of processing frame of the asteroid surveys.

Keywords: measurement of the frame, series of frames, internal catalog of the immobile object on a series of the frames, identification of the frame.