

УДК 629.1:543.42

В.Е. Саваневич¹, А.М. Кожухов², А.Б. Брюховецкий², В.П. Власенко²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков²Национальный Центр управления и испытаний космических средств, Евпатория**ОЦЕНКА БЛЕСКА АСТЕРОИДА ПО АМПЛИТУДЕ ЕГО СИГНАЛА НА ПЗС-КАДРЕ**

Разработан метод оценки блеска астероида по амплитуде его сигнала на ПЗС-кадре, в основе которого лежит использование двудиаметной кусочно-линейной модели фотометрического пересчета. Путем экспериментальных исследований на натурных данных подтверждена работоспособность метода, определены его предварительные точностные характеристики. Метод использован авторами в разрабатываемой системе оперативного автоматизированного обнаружения новых и известных астероидов.

Ключевые слова: астероид, оценка блеска, фотометрия, ПЗС-кадр.

Введение

Постановка проблемы. При проведении автоматизированного поиска астероидов на этапе межкадровой обработки для принятия решения о наличии траектории необходимо использовать некую энергетическую статистику сигналов от одного и того же объекта на разных кадрах серии. Однако применять для этого непосредственно амплитуды нецелесообразно, так как, исходя из условий наблюдения, амплитуды сигнала от одного и того же астероида на разных кадрах одной серии могут отличаться между собой в разы [1 – 3]. Поэтому представляется актуальной разработка метода оценки какого-либо инвариантного энергетического показателя сигнала, значение которого для одного и того же астероида не зависело бы (или зависело бы слабо) от изменений условий наблюдения от кадра к кадру одной серии наблюдений. В качестве такого показателя можно использовать видимый блеск астероида. При этом следует учесть, что области малых амплитуд наблюдаются наибольшие ошибки при использовании известных методов оценки видимого блеска. Так как данная область является наиболее важной для обнаружения астероидов, разрабатываемый метод должен учитывать возможное падение точности оценки амплитуды в области малых амплитуд.

Анализ литературы. Оценка видимого блеска небесных объектов в настоящее время проводится сравнением яркости их изображений с яркостью изображений звезд с известным видимым блеском. Оценка производится согласно закона Погсона [1]:

$$m_{1t} = m_{2t} - 2,5 \lg \frac{A_{1t}}{A_{2t}}, \quad (1)$$

где m_{1t} , m_{2t} – оценки видимого блеска в звездных величинах двух источников на t -м кадре; A_{1t} , A_{2t} – амплитуды сигналов данных источников на ПЗС-кадре.

Таким образом, при известном видимом блеске одного источника на ПЗС-кадре можно определить видимый блеск других источников на том же кадре.

Для повышения точности оценки видимого блеска целесообразно использовать относительную оценку, основанную на сравнении амплитуды сигнала объекта с оценками амплитуд нескольких объектов с известным видимым блеском на том же ПЗС-кадре. Такая оценка в астрономии называется дифференциальной фотометрической редукцией [5].

Для получения яркости изображений небесных объектов на ПЗС-кадре используют два основных метода [1]: метод апертурной фотометрии и метод PSF-фотометрии. В методе апертурной фотометрии для получения значения яркости проводят суммирование отсчетов от всех пикселей, в которые попали фотоны от интересующего объекта с последующим вычитанием суммарного фона для этих же пикселей. К недостаткам метода следует отнести невозможность высокоточного определения яркости, особенно при малых отношениях «сигнал-шум». В методе PSF-фотометрии за яркость изображения небесного объекта на ПЗС-кадре принимают амплитуду функции рассеяния точки (ФРТ, англ. point spread function, PSF), которая аппроксимирует данное выражение. В качестве такой функции используют, например, симметричное двумерное гауссово распределение [1, 4, 5]. PSF-фотометрия позволяет получить прецизионные оценки блеска даже в случае налагающихся изображений двойных звезд или большого количества рядом находящихся изображений небесных объектов. Однако в литературе практически не указывается, как проводится собственно дифференциальная фоторедукция, особенно в случае наличия на кадре большого количества объектов с разным уровнем видимого блеска.

В работе [5] описано проведение дифференциальной фоторедукции с использованием полиномиальной фотометрической модели. Вместе с тем в данной работе не был рассмотрен вопрос оценки точности полиномиальной модели для разных диапазонов яркостей сигналов объектов. Однако, согласно проведенных исследований, увеличение степени полинома в модели зависимости видимого

блеска объектов на ПЗС-кадре от амплитуд сигналов данных объектов на ПЗС-кадре не приводит к улучшению точностных характеристик. Это связано, в первую очередь, с тем, что уровень яркости сигнала от небесных объектов (звезд или астероидов) на входе ПЗС-камеры и уровень потенциалов, зарегистрированных на выходе соответствующих пикселей ПЗС-камеры, связаны друг с другом линейной зависимостью [1, 6].

При этом точность однодиапазонной линейной модели значительно падает в области малых амплитуд сигналов, что связано с меньшей точностью оценки амплитуд в данной области. Меньшая точность оценки амплитуды в данной области объясняется, в первую очередь, ошибками используемого метода оценки координат и амплитуды [7] при расщеплении фотонов на шумовую и сигнальную составляющие. В области малых амплитуд (малого отношения «сигнал-шум»), из-за того, что общее количество сигнальных фотонов становится сравнимо с количеством шумовых, данные ошибки приводят к изменению параметров зависимости между входными и выходными сигналами ПЗС-камеры при сохранении линейного характера данной зависимости. В связи с этим представляется целесообразным применение кусочно-линейной модели фотометрического пересчета, например, для двух диапазонов амплитуд.

Целью статьи является разработка метода оценки блеска астероида по оценке яркости его сигнала на ПЗС-кадре. В качестве оценки яркости будет использоваться оценка амплитуды сигнала астероида на ПЗС-кадре [7].

Постановка задачи. Изображение астероида формируется в фокальной плоскости телескопа на ПЗС-матрице, при этом условия наблюдения таковы, что изображения звезд и астероидов на кадре ничем не отличаются одно от другого, следовательно, зависимость видимого блеска астероида от амплитуды его оптического сигнала, зарегистрированного на ПЗС-изображении, аналогична такой же зависимости для звезд. Считается, что процесс обнаружения-измерения оптических сигналов на отдельном ПЗС-кадре произведен и для каждого обнаруженного сигнала сформирована отметка с координатами в системе координат ПЗС-матрицы (оцененные координаты) и амплитудой [7]. На ПЗС-кадре к моменту оценки видимого блеска небесного объекта имеется достаточное количество отметок, отождествленных со звездами опорного каталога с известными значениями видимого блеска в звездных величинах из каталога.

Необходимо на основе данных о видимом блеске опорных звезд и амплитуд отождествленных с данными звездами сигналов на ПЗС-кадре, разработать метод оценки блеска астероида по яркости его отображения на ПЗС-кадре.

Основной материал

Однодиапазонная линейная модель фотометрического пересчета. После получения МНК-оценки коэффициентов модели постоянных пластинок производится отождествление оптических сигналов от объектов на ПЗС-изображении с опорным фотометрическим каталогом. Это может быть как опорный каталог, использовавшийся в астрометрических целях для получения постоянных пластинок, так и какой-либо другой. После этого производится оценка коэффициентов фотометрического пересчета вида:

$$\hat{m}_{it} = m_{0t} + k_{\text{фот}1t} A_{\ell\text{git}}, \quad (2)$$

где $A_{\ell\text{git}} = -2,5 \lg A_{it}$ – измеренный видимый блеск опорной звезды (звезды из звездного каталога с известной оценкой видимого блеска); A_{it} – амплитуда сигнала на ПЗС-кадре, соответствующего оптическому сигналу от i -й опорной звезды; \hat{m}_{it} – оценка звездной величины i -го сигнала на t -ом кадре; m_{0t} – фотометрический нуль-пункт (видимый блеск звезды, оптический сигнал от которой при данных условиях наблюдения соответствует отметке с единичной амплитудой); $k_{\text{фот}1t}$ – коэффициент пересчета [5].

Для повышения точности оценки параметров фотометрической модели используется большое количество опорных звезд. Для ее решения при оценке параметров фотометрического пересчета в работе используется метод наименьших квадратов (МНК). При этом МНК - оценкой параметров является вектор [8]:

$$\hat{\theta}_{\text{фот}} = \arg \min_{\theta_{\text{фот}}} \tilde{Y}_{\text{фот}} - F\theta_{\text{фот}} \quad \text{T} \quad \tilde{Y}_{\text{фот}} - F\theta_{\text{фот}}, \quad (3)$$

где $\hat{\theta}_{\text{фот}} = (m_{0t}, k_{\text{фот}1t})$ – вектор оценок параметров фотометрического пересчета; $\tilde{Y}_{\text{фот}} = (m'_{1(t)}, \dots, m'_{k(it)}, \dots, m'_{N_{\text{звт}}(N_{\text{фот}t})})$ – совокупность каталожных оценок видимого блеска звезд, отождествленных с отметками t -го кадра; $m'_{k(it)}$ – оценка видимого блеска k -й опорной звезды звездного каталога, отождествленной с i -й отметкой t -го кадра; $N_{\text{звт}}$ – количество опорных звезд, отождествленных с сигналами, используемыми для определения коэффициентов фотометрического пересчета; $N_{\text{фот}t}$ – количество сигналов, отождествленных с опорными звездами, и используемых для определения коэффициентов фотометрического пересчета ($N_{\text{фот}t} = N_{\text{звт}}$).

Функционал, подлежащий минимизации, в скалярной форме с учетом выражения (2) имеет вид:

$$\Phi(m_{0t}, k_{\text{фот}1t}) = \sum_{i=1}^{N_{\text{звт}}} (m_{0t} + A_{\ell\text{git}} k_{\text{фот}1t} - m'_{k(it)})^2. \quad (4)$$

При этом, матрица плана [8] имеет вид:

$$F_t^T = \left\| \begin{matrix} 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ A_{\ell_{g1t}} & \dots & A_{\ell_{git}} & \dots & A_{\ell_{gN_{3bt}t}} \end{matrix} \right\|. \quad (5)$$

Решением системы уравнений (3) (МНК-оценкой параметров фотометрического пересчета) является вектор [8]:

$$\hat{\theta}_{\text{фот}} = (F_t^T F_t)^{-1} F_t^T \tilde{Y}_{\text{фот}}. \quad (6)$$

Для исключения влияния мешающих выбросов на данную оценку параметров используется многопроходовая (двухпроходовая) МНК-оценка. На следующий проход МНК оценки (4), (6) отправляются только те взаимосоответствующие пары «отметка-звезда», для которых значение каталожной оценки видимого блеска $m'_{k(it)}$ удовлетворяет условию:

$$|m'_{k(it)} - \hat{m}_{it}| \leq k_{\phi} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_{3bt}} (m'_{k(it)} - \hat{m}_{it})^2 / (N_{3bt} - 1) \right)}, \quad (7)$$

где k_{ϕ} – пороговый коэффициент отбрасывания;

$$\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_{3bt}} (m'_{k(it)} - \hat{m}_{it})^2 / (N_{3bt} - 1) \right)} - \text{оценка СКО}$$

оценки видимого блеска отметки; $\hat{m}_{it} = m_{0t} + k_{\text{фот}1t} A_{\ell_{git}}$ – оценка видимого блеска i -й отметки, отождествленной с k -й звездой на t -м кадре.

При этом количество отметок N_{3bt} , формирующих вектор $\tilde{Y}_{\text{фот}}$, уменьшается на количество отметок, для которых условие (7) не выполняется. Процесс повторяется до тех пор, пока модуль разности двух последовательно полученных значений СКО не станет меньше наперед заданной величины.

Кусочно-линейная двухдиапазонная модель фотометрического пересчета. На качество оценки видимого блеска астероида большое влияние оказывает количество опорных звезд и диапазон значений их звездных величин. Чем больше количество звезд и чем шире указанный диапазон, тем с большей точностью и в большем диапазоне яркостей будет проводиться оценка видимого блеска.

Согласно предварительным экспериментальным исследованиям использование единой оценки для видимого блеска для всего диапазона звездных величин может привести к дополнительным ошибкам оценивания. Поэтому представляется целесообразным проводить оценку видимого блеска отдельно для звезд с большим блеском и отдельно для звезд с малым блеском. В этом случае можно использовать кусочно-линейную модель фотометрического пересчета с двумя диапазонами:

$$\begin{cases} \hat{m}_{it} = m_{0t} + k_{\text{фот}1t} A_{\ell_{git}}, \text{ при } A_{it} \geq A_{\text{кпт}}; \\ \hat{m}_{it} = m'_{1t} + k_{\text{фот}2t} (A_{\ell_{git}} - \bar{A}_{\ell_{g1t}}), \text{ при } A_{it} < A_{\text{кпт}}, \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{A}_{\ell_{g1t}} = -2,5 \lg A_{\text{кпт}}$; $A_{\text{кпт}}$ – критическое значение амплитуды сигнала, для амплитуд меньше кото-

рого однодиапазонная МНК-оценка отражает соотношение между данными параметрами с ошибками, превышающими предварительно заданное значение; m'_{1t} – оценка видимого блеска, соответствующая критическому значению амплитуды.

Второе уравнение (8) представляет собой уравнение пучка прямых, проходящих через точку с координатами $(\bar{A}_{\ell_{g1t}}, m'_{1t})$ [9].

Для получения значения $\bar{A}_{\ell_{g1t}}$ можно использовать следующее выражение:

$$\bar{A}_{\ell_{g1t}} = \frac{m'_{1t} - m_{0t}}{k_{\text{фот}1t}}. \quad (9)$$

Выражение (9) получено подстановкой m'_{1t} в левую часть формулы (2). Отсюда пороговое значение амплитуды определяется выражением:

$$A_{\text{кпт}} = 10^{\frac{\bar{A}_{\ell_{g1t}}}{-2,5}}. \quad (10)$$

Единственным искомым параметром во втором уравнении (8) является значение коэффициента пропорциональности $k_{\text{фот}2t}$, который, как и параметры фотометрического пересчета в (2) находится как МНК-оценка в соответствии с выражениями (4), (6), (7).

Последовательность действий для оценки параметров кусочно-линейной двухдиапазонной модели фотометрического пересчета следующая. Для всего диапазона значений блеска объектов каталога проводится МНК-оценка видимого блеска. Находится критическое значение амплитуды сигнала $A_{\text{кпт}}$. Затем, по отметкам со значениями амплитуд не ниже $A_{\text{кпт}}$, определяются МНК-оценки параметров фотометрического пересчета для диапазона высоких амплитуд. После этого – определяется $\bar{A}_{\ell_{g1t}}$ – измеренный видимый блеск такой гипотетической опорной звезды, амплитуда сигнала от которой на данном ПЗС-кадре была бы равна $A_{\text{кпт}}$. В дальнейшем рассчитываются параметры фотометрического пересчета для диапазона амплитуд, меньших, чем $A_{\text{кпт}}$.

Для диапазона высоких амплитуд отметок (отметки с амплитудой большей или равной $A_{\text{кпт}}$) матрица плана будет аналогична (5). При этом будет использоваться N_{3bt} отметок, с амплитудой не меньшей, чем значение $A_{\text{кпт}}$, отождествленных с каталожными звездами.

Для диапазона малых амплитуд сигналов (отметки с амплитудой меньшей $A_{\text{кпт}}$) матрица плана вырождается в вектор:

$$F_{2t}^T = \left\| \begin{matrix} (A_{\ell_{g1t}} - \bar{A}_{\ell_{g1t}}) \dots (A_{\ell_{git}} - \bar{A}_{\ell_{g1t}}) \dots \\ \dots (A_{\ell_{gN_{3b2}t}} - \bar{A}_{\ell_{g1t}}) \end{matrix} \right\|, \quad (11)$$

где $N_{зв2t}$ – количество звезд, с которыми были отождествлены отметки с амплитудой меньшей, чем значение $A_{крт}$.

Вычислительный метод оценки видимого блеска астероида. Вычислительный метод оценки видимого блеска астероида представляет собой следующую последовательность операций.

1. Многопроходовая МНК-оценка коэффициентов фотометрического пересчета m_{0t} , $k_{фот1t}$ для всего диапазона амплитуд отметок в соответствии с выражениями (4)-(7) на основе амплитуд отметок и каталожных оценок видимого блеска отождествленных с ними звезд.

2. Определение значения видимого блеска m'_{1t} , соответствующее пороговому значению амплитуды $A_{крт}$ путем оценки невязок между каталожными и расчетными оценками видимого блеска звезд, отождествленных с отметками. Расчетные оценки видимого блеска получают по формуле (2) согласно полученным в п. 1 параметрам фотометрического пересчета.

3. Определение значений \bar{A}_{lg1t} и $A_{крт}$ в соответствии с выражениями (9),(10).

4. Многопроходовая МНК-оценка коэффициентов фотометрического пересчета m_{01t} , $k_{фот1t}$ и $k_{фот2t}$ для двух диапазонов амплитуд отметок на основе амплитуд отметок и каталожных оценок видимого блеска отождествленных с ними звезд. Отметки разбиты на два диапазона относительно величины $A_{крт}$ с количеством звезд в диапазонах, равным $N_{зв1t}$ и $N_{зв2t}$.

4.1. Уточнение коэффициентов фотометрического пересчета для диапазона больших амплитуд m_{01t} , $k_{фот1t}$. МНК-оценка производится аналогично п.1. Матрица частных производных имеет вид (5) для $N_{зв1t}$ отметок.

4.2. Получение нового порогового значения видимого блеска m'_{1t} , соответствующего величине пороговой амплитуды $A_{крт}$. Расчет проводится для коэффициентов фотометрического пересчета, полученных в п.4.1., по формулам (9)-(10).

4.3. Определение коэффициента фотометрического пересчета $k_{фот2t}$ для диапазона малых амплитуд сигналов. МНК-оценка производится аналогично п.1. Матрица частных производных имеет вид (11) для $N_{зв2t}$ отметок.

5. По формуле (8) определяется видимый блеск всех отметок, сформированных на ПЗС-изображении.

Результаты экспериментов. Экспериментальное сравнение однодиапазонного и двухдиапазонного фотометрического пересчета проводилось для кадров, сделанных с экспозицией 30 с в Андрушевской астрономической обсерватории телескопом Zeiss-

600 с диаметром зеркала 60 см., оснащенном ПЗС-камерой FLI PL09000 (размер кадра при съемке с одинарным бинированием 1528×1528 пикселей). Результаты эксперимента показаны на рис. 1, 2.

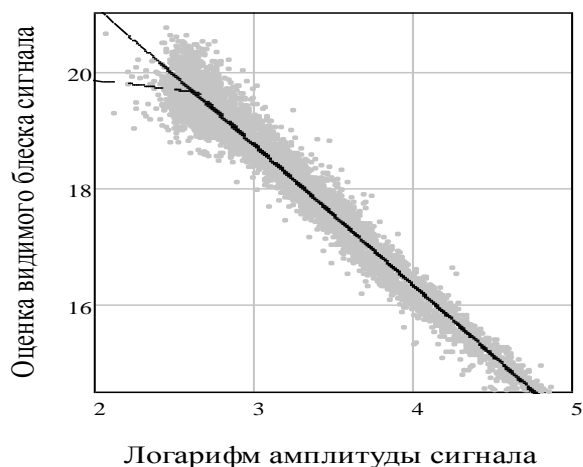


Рис. 1. Зависимость оценки видимого блеска от амплитуды сигнала

По оси абсцисс отложен десятичный логарифм амплитуды отметки, по оси ординат – оценка видимого блеска в звездных величинах. Точками показаны взаимосоответствующие пары «отметка (амплитуда) – звезда (каталожная оценка видимого блеска)», участвующие в фотометрическом пересчете. Сплошной линией показана оценка зависимости оценки видимого блеска от десятичного логарифма амплитуды отметки, полученная в результате проведения однодиапазонного фотометрического пересчета, пунктирной линией – аналогичная оценка, полученная в результате проведения двухдиапазонного фотометрического пересчета. В качестве опорного звездного каталога использовался каталог USNO B1.0. [10]).

Очевидно, что в области слабых амплитуд (рис. 2) оценка, полученная в результате двухдиапазонного фотометрического пересчета, лучше описывает характер зависимости «амплитуда – оценка видимого блеска» взаимосоответствующих пар «сигнал-звезда».

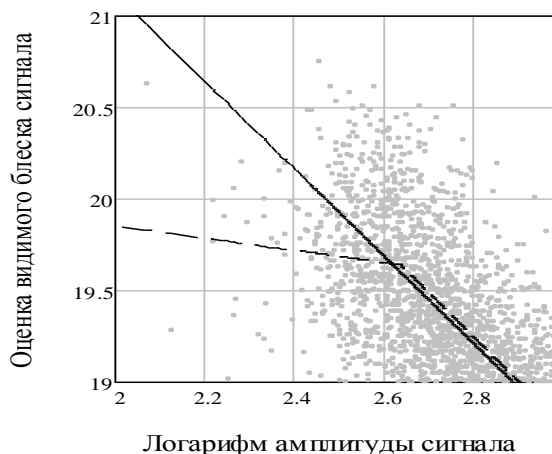


Рис. 2. Зависимость оценки видимого блеска от амплитуды сигнала (область малых амплитуд)

Для случая, изображенного на рис. 1, 2, критическое значение амплитуды сигнала составило 432, что соответствовало оценке видимого блеска объекта 19,6 звездных величин. При этом сумма квадратов невязок каталожного и оценочного значений видимого блеска для однодиапазонного фотометрического пересчета составила 493, а для двухдиапазонного фотометрического пересчета при данном значении $A_{\text{кр}}$ – 459.

Для области амплитуд, меньших, чем $A_{\text{кр}}$ (рис. 2), эти значения составили 110 и 80 соответственно. Таким образом, общий выигрыш по критерию минимума суммы квадратов невязок каталожного и оценочного значений видимого блеска при использовании двухдиапазонного фотометрического пересчета составил 7% по отношению к случаю однодиапазонного фотометрического пересчета, в том числе выигрыш по тому же критерию в области малых амплитуд – 27%.

Выводы

В статье предложена новая двухдиапазонная кусочно-линейная модель зависимости значения видимого блеска астероида от амплитуды его сигнала на ПЗС-кадре. Введение данной модели связано с тем, что использование линейной однодиапазонной модели фотометрического пересчета для большого диапазона значений амплитуд, приводит к снижению точности оценки видимого блеска в области малых амплитуд, соответствующей значениям амплитуд сигналов от астероидов, а применение квадратичной однодиапазонной модели фотометрического пересчета не приводит к повышению точности по причине линейной зависимости между входным и выходными сигналами в ПЗС-камере. Разработан метод получения наилучших коэффициентов данной модели, основанный на их МНК-оценке. Путем экспериментальных исследований на натуральных данных подтверждена работоспособность метода, определены его предварительные точностные характеристики при сравнении каталожных и оценочных значений видимого блеска отождествленных на ПЗС-кадре каталожных звезд. Наибольший выигрыш при использовании двухдиапазонной кусочно-линейной модели фотометрического пересчета достигается в области малых значений амплитуд сигналов.

Практическая значимость метода заключается в возможности его использования в системах оперативного автоматизированного обнаружения астероидов, а также в других системах обработки ПЗС-кадров, использующих оценки видимого блеска объектов, например, в системах поиска новых и сверхновых звезд.

Дальнейшие исследования целесообразно сконцентрировать на разработке методов высокоточной оценки амплитуды сигналов на ПЗС-кадре.

Список литературы

1. Миронов А.В. Основы астрофотометрии. Практические основы высокоточной фотометрии и астрофотометрии звезд / А.В. Миронов. – М.: Физматлит, 2008. – 260 с.
2. Дума Д.П. Загальна астрометрія: навчальний посібник / Д.П. Дума. – К.: Наукова думка, 2007. – 600 с.
3. Тимофеев Ю.М. Теоретические основы атмосферной оптики / Ю.М. Тимофеев, А.В. Васильев. – СПб.: Наука, 2003. – 474 с.
4. Starck J.-L. Astronomical Image and Data Analysis / J.-L. Starck, F. Murtagh. – Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.
5. Kouprianov V. Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects [Электронный ресурс] / V. Kouprianov // Advances in Space Research. – 2008. – Vol. 41, Issue 7. – P. 1029-1038, – Режим доступа к ресурсу: <http://fvn.astronomer.ru/report/0000021/p000021.htm>.
6. McLean I.S. Electronic and Computer-aided Astronomy: From Eyes to Electronic Sensors / I.S. McLean. – Chichester: Ellis Horwood Ltd., 1989. – 297 p.
7. Оценка координат астероида на дискретном изображении / В.Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий, А.М. Кожухов, Е.Н. Диков // Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 162. – С. 134-141.
8. Ермаков С.М. Математическая теория оптического эксперимента / С.М. Ермаков, А.А. Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
9. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн. – СПб.: Лань, 2003. – 831 с.
10. Catalog Information and Recommendations [Электронный ресурс] / N. Zacharias, R. Gaume, B. Dorland, S.E. Urban. – U.S. Naval Observatory. – Режим доступа к ресурсу: http://ad.usno.navy.mil/star/star_cats_rec.shtml.

Поступила в редколлегию 27.08.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Деденок, ГП НИПИ "Союз", НКА Украины, Харьков.

ОЦІНКА ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ АСТЕРОЇДА ПО ОЦІНКАМ ЙОГО КООРДИНАТ НА ПЗС-КАДРІ

В.Є. Саваневич, О.М. Кожухов, О.Б. Брюховецький, В.П. Власенко

Розроблено метод оцінки блиску астероїда по амплітуді його сигналу на ПЗС-кадрі, який базується на використанні двудиапазонної кусочно-лінійної моделі фотометричного перерахування. Шляхом експериментальних досліджень на натуральних даних підтверджена працездатність метода, визначені його точнісні характеристики. Метод використано авторами в розробленій системі оперативного автоматизованого виявлення нових та супроводу відомих астероїдів.

Ключові слова: астероїд, оцінка блиску, фотометрія, ПЗС-кадр.

ESTIMATION OF EQUATORIAL COORDINATES OF ASTEROID ON ACCOUNT OF ESTIMATE OF HIS COORDINATES ON CCD-FRAME

V.E. Savanevich, A.B. Bryukhovetskiy, A.M. Kozhukhov, V.P. Vlasenko

The method of estimation of asteroid's visual brightness by amplitude of his signal on CCD-frame is worked out. This method is based on using of two-ranges piecewise linear model of photometric solution. By experimental researches on the natural data availability of a method is confirmed precision of the method is defined. The method has used by authors in developed system of automatic online new asteroids detection and known asteroids tracking.

Keywords: asteroid, equatorial coordinates, CCD-frame.