

УДК 004.932: 523.44: 621.383.7

В. Е. Саваневич¹, А. Б. Брюховецкий², А. М. Кожухов², Е. Н. Диков³, В. П. Власенко²

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки МОНМС України, Харків

² Національний центр управління та випробувань космічних засобів

Державного космічного агентства України, Євпаторія

³ Науково-дослідний проектно-конструкторський інститут мікрографії, Харків

ПРОГРАММА CoLiTec АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ СО СЛАБЫМ БЛЕСКОМ

Представлено короткий опис програми для автоматизованого виявлення астероїдів на серії ПЗ-кадрів. Програма складається з окремих модулів, які описані у роботі. Наведено обчислювальні методи, які були використані при створенні програми, результати застосування програми у обсерваторіях, де спостерігаються астероїди.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение программ автоматизированного обнаружения астероидов позволяет значительно повысить эффективность работы обсерваторий, наблюдающих астероиды. Данные сайта Центра малых планет (Minor Planet Center, MPC) Международного астрономического союза [<http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/CountObsByYear.txt>] говорят о том, что обсерватории, оснащенные подобным программным обеспечением, получают большую часть измерений астероидов, поступающих в MPC. При этом в открытом доступе подобных программ практически нет, а имеющиеся обладают низкими показателями качества обнаружения [1]. На момент начала исследований в Украине и в других странах СНГ не было ни одной действующей программы автоматизированного обнаружения астероидов и комет. Это обстоятельство приводило к весьма низкой эффективности наблюдений малых тел Солнечной системы в обсерваториях этих стран. Такая программа была разработана авторами в 2009 — 2010 гг. и названа CoLiTec.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа CoLiTec организационно состоит из независимых модулей (рис. 1). В качестве исходных данных в программе используется серия ПЗС-кадров с изображением участка небесной сферы, а также опорный звездный каталог.

В модуле внутрикадровой (первичной) обработки серии кадров сначала учитываются дефектные («битые» и «горячие») пиксели ПЗС-матрицы и исключаются крупноструктурные составляющие изображения, обычно соответствующие фону.

После этого методом [7], разработанным авторами, складываются кадры с накоплением сигнала от движущегося объекта (СКДО) с получением суперкадров. При этом для оценки взаимного смещения кадров проводится взаимное отождествление отметок, отождествленных со звездным каталогом, на базовом и складываемом кадрах. Учет дробности взаимного сдвига складываемых кадров и направления движения астероида проводится с применением «площадного» похода. Суть «площадного» подхода заключается в сложении в суммарный пиксель (суперпиксель) долей яркости исходных пикселей, пропорциональных долям площадей исходных пикселей, попадающим в площадь текущего суперпикселя (рис. 2).

© В. Е. САВАНЕВИЧ, А. Б. БРЮХОВЕЦКИЙ, А. М. КОЖУХОВ, Е. Н. ДИКОВ, В. П. ВЛАСЕНКО, 2012

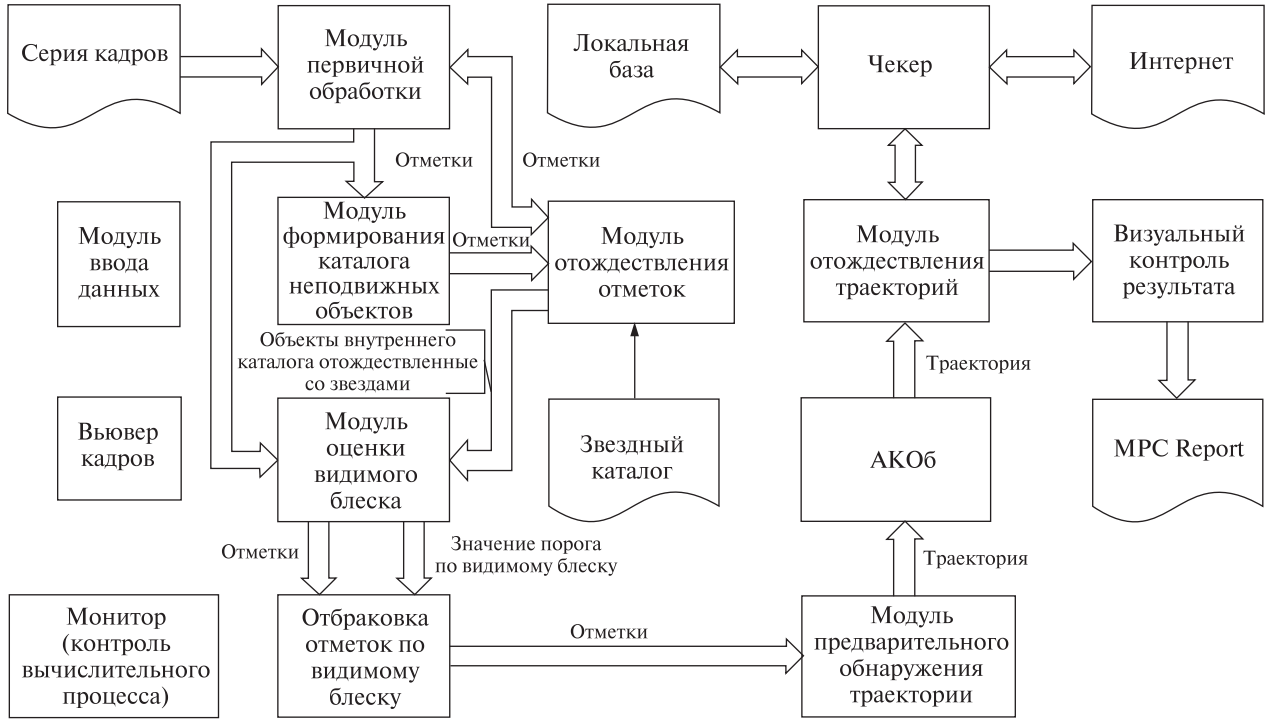


Рис. 1. Функциональная схема программы CoLiTec

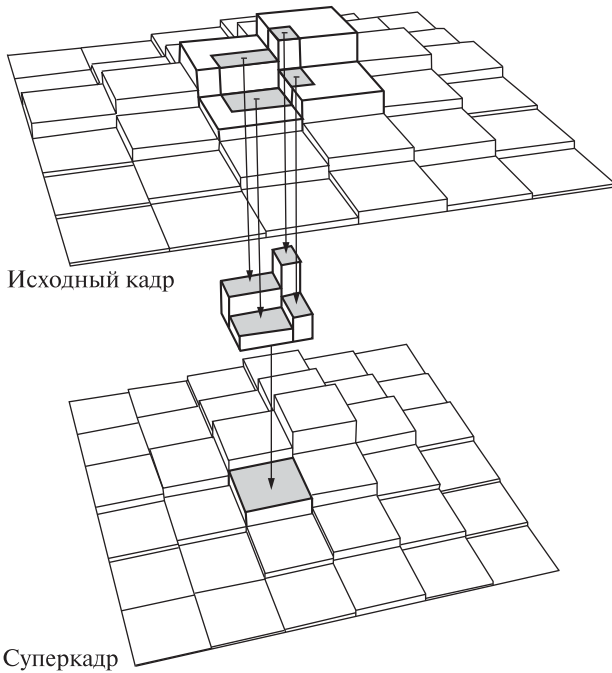


Рис. 2. «Площадной» подход в СКДО

Для повышения эффективности накопления амплитуды сигнала от астероида в условиях наличия остаточных ошибок оценок взаимного смещения складываемых кадров используется матрица размытия (цифровой сглаживающий фильтр низких частот). Определение оптимальных значений элементов матрицы размытия производится методом имитационного моделирования на экспериментальных данных.

С учетом описанных особенностей выражение для определения суммарной амплитуды пикселя суперкадра $A_{\Sigma ik}$ будет иметь вид

$$A_{\Sigma ik} = \sum_{t=t_1}^{t_1+N_{\text{СКДО}}-1} \sum_{e=0}^1 \sum_{g=0}^1 \sum_{j_p=0}^{2n} \sum_{i_p=-n}^n [\gamma_{\text{egt}} \cdot M_{p|_p(i_p+n)} \times A_{(i+i_p+\Delta N_{xt}+e \cdot j_{xt}), (k-j_p+1+\Delta N_{yt}+g \cdot j_{yt})t}], \quad (1)$$

где $A_{(i+\Delta N_{xt}), (k+\Delta N_{yt})t}$ — амплитуда смещаемого пикселя ПЗС-матрицы с координатами $i + \Delta N_{xt}$, $k + \Delta N_{yt}$ на t -м (текущем) кадре, $\Delta N_{xt} = E(\Delta x_t)$, $\Delta N_{yt} = E(\Delta y_t)$ — приращения номеров пикселей

итогового кадра относительно текущего кадра по соответствующим координатам, t_1 — первый кадр подсерии, для которой проводится СКДО, $N_{\text{СКДО}}$ — количество кадров подсерии, участвующих в СКДО, $\gamma_{00r} = (1 - |d\Delta x_r|)(1 - |d\Delta y_r|)$, $\gamma_{10r} = |d\Delta x_r|(1 - |d\Delta y_r|)$, $\gamma_{01r} = (1 - |d\Delta x_r|)|d\Delta y_r|$, $\gamma_{11r} = |d\Delta x_r||d\Delta y_r|$ — веса пикселя, определяемые «площадным подходом», $d\Delta x_r = \Delta x_r - E(\Delta x_r)$, $d\Delta y_r = \Delta y_r - E(\Delta y_r)$, $\Delta x_r = \hat{V}_x(\tau_r - \tau_0) + \hat{d}x_r$, $\Delta y_r = \hat{V}_y(\tau_r - \tau_0) + \hat{d}y_r$ — значения сдвигов текущего кадра относительно базового по соответствующим координатам,

$$\hat{d}x_r = \frac{1}{N'_{\text{пер}}} \sum_{i=1}^{i=N'_{\text{пер}}} \sum_{j=1}^{j=N'_{\text{пер}}} (x_{ji} - x_{i0}); \hat{d}y_r = \frac{1}{N'_{\text{пер}}} \sum_{i=1}^{i=N'_{\text{пер}}} \sum_{j=1}^{j=N'_{\text{пер}}} (y_{ji} - y_{i0})$$

— используемые оценки смещения координат центра текущего кадра относительно координат центра базового кадра, x_{i0} , y_{i0} — координаты i -й отметки базового кадра, x_{jr} , y_{jr} — координаты j -й отметки текущего кадра, отождествленной с i -й отметкой базового кадра, $N'_{\text{пер}}$ — количество взаимосоответствующих пар отметок на текущем и базовом кадре, \hat{V}_x, \hat{V}_y — используемые оценки скоростей видимого движения астероида в картинной плоскости телескопа с ПЗС-камерой по соответствующим координатам, τ_0 — временная привязка кадра, принятого за базовый, τ_r — временная привязка текущего складываемого кадра, $E(\cdot)$ — операция выделения целой части,

$$j_{xr} = \begin{cases} -1, & \Delta x_r < 0, \\ 1, & \Delta x_r \geq 0, \end{cases} \quad j_{yr} = \begin{cases} -1, & \Delta y_r < 0, \\ 1, & \Delta y_r \geq 0 \end{cases}$$

— коэффициенты, определяющие выбор смещаемых пикселей, амплитуда которых записывается в очередной пиксель суперкадра, в зависимости от направления (знака) сдвига складываемого кадра относительно базового по каждой координате, M_p — элемент матрицы размытия.

Согласно (1) в ik -й пиксель суперкадра записываются амплитуды всех пикселей текущего кадра, расположенные в пределах размера матрицы размытия от основного пикселя текущего кадра. Вес записываемой амплитуды от каждого пикселя определяется весом соответствующего элемента матрицы размытия, а также весом основного пикселя, определяемого долей его площади, попадающей в площадь текущего суперпикселя.

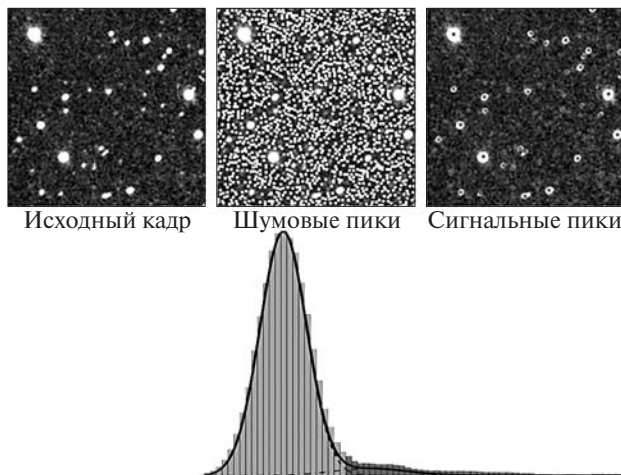


Рис. 3. Решающее правило обнаружения сигналов от небесных объектов

На полученных после СКДО суперкадрах проводится предварительная селекция сигналов от небесных объектов, основанная на сравнении с порогом значений пространственной свертки между принятым излучением, в окрестности пика изображения, и маской, соответствующей форме ожидаемого сигнала.

При этом считается, что сигналы от небесных объектов формируются в окрестностях пиков изображения, а значения пространственной свертки для «фоновых» пиков изображения на кадре распределены по нормальному закону (рис. 3). Решающее правило предварительной селекции сигналов от небесных объектов в этом случае принимает вид

$$A_{it} = \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОС}}} v_{ikt} A_{ikt} > \Pi_1,$$

где A_{it} — амплитуда сигнала, подлежащего обнаружению, соответствующая пространственной свертке между принятым излучением в окрестности пика изображения и маской, соответствующей форме ожидаемого сигнала.

При этом пороговое значение Π_1 для каждого кадра равно

$$\Pi_1 = \bar{A}_t + k_{\text{от}} \hat{\sigma}_{At},$$

где \bar{A}_t — среднее значение пространственной свертки, соответствующее шуму, $\hat{\sigma}_{At}$ — СКО шумовых значений свертки, $k_{\text{от}}$ — коэффициент

пропорциональности, определяемый для каждого телескопа с ПЗС-камерой экспериментально и находящийся обычно в пределах между 2 и 3.

Для определения порога отбраковки пиков изображения, в окрестностях которых отсутствуют сигналы от небесных объектов, производится приближенное выделение нормальной («фоновой») составляющей смеси распределений значений пространственной свертки. Это делается по итерационной вычислительной схеме, основанной на свойстве равенства значений медианы и среднего для нормально распределенных случайных величин.

Далее, в модуле внутрикадровой обработки оцениваются координаты и амплитуды сигналов на суперкадрах (формирование отметок) методом, уточненным в работе [4]. Используемый метод учитывает факт оценки непрерывных параметров (положение объекта) по дискретному пространству наблюдений (значения потенциалов пикселей ПЗС-матрицы). Данный учет стал возможен благодаря использованию математического аппарата группированных выборок для описания потенциалов пикселей, соответствующих координатам падения сигнальных и шумовых фотонов. Метод впервые в рамках технологии группированных выборок расширяет модель координат падения шумовых фотонов до плоской шумовой подложки с параметрами, постоянными в пределах исследуемого строба.

В рамках метода [4] оценка координат производится решением системы трансцендентных уравнений, которые решаются методом последовательных приближений:

$$\begin{aligned} \hat{x}_t &= \frac{\sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt} m_{x_i}^{\text{пок}}}{\sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt}}, \\ \hat{y}_t &= \frac{\sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt} m_{y_k}^{\text{пок}}}{\sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt}}, \\ v_{ikt}^* &= A_{ikt} / \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} A_{ikt}, \\ \lambda_{ikt} &= \frac{\hat{p}_1 F_{y_k}(y_t; \sigma_\Phi^2) F_{x_i}(x_t; \sigma_\Phi^2)}{v_{ikt}(\Theta)}, \\ m_{x_i}^{\text{пок}} &= m_x + \frac{\sigma^2}{F_{x_i}(m_x; \sigma^2)} (N_{x_{ij}}(m_x; \sigma^2) - N_{x_{iw}}(m_x; \sigma^2)), \end{aligned} \quad (2)$$

$$F_{z_i}(m_z; \sigma^2) = \int_{z_{ji}}^{z_{ji}^*} N_z(m_z; \sigma^2) dx,$$

$$N_z(m_z; \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(z - m_z)^2\right],$$

$$\hat{p}_1 = \frac{1}{N_{\text{СВКОс}}} \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} \lambda_{ikt},$$

где $N_{\text{СВКОс}}$ — количество пикселей в исследуемом стробе внутрикадровой обработки, в которых предполагается наличие сигнала (СВКОс), v_{ikt}^* — опытная относительная частота попадания фотонов в ik -й пиксель ПЗС-матрицы в t -м кадре, A_{ikt} — амплитуда ik -го пикселя t -го ПЗС-кадра, \hat{x}_t — оценка координаты x астероида на t -м ПЗС-кадре, $m_{x_i}^{\text{пок}}$ — локальное математическое ожидание случайной величины на интервале $[x_{ni}, x_{ki}]$ [3], \hat{p}_1 — оценка относительного веса сигнальных фотонов в СВКОс.

Перед решением системы уравнений (2) производится вычитание наклонной плоской шумовой подложки из данного сигнала в пределах СВКО:

$$v_{ikt}^* = v_{ikt}^* - (\hat{A}_{\text{ш}}^{\text{int}} x_{itc} + \hat{B}_{\text{ш}}^{\text{int}} y_{kte} + \hat{C}_{\text{ш}}^{\text{int}}),$$

где v_{ikt}^* — опытная частота попадания фотонов в ik -й пиксель ПЗС-матрицы, принадлежащий области предполагаемого наличия сигнала от астероида, x_{itc}, y_{kte} — прямоугольные координаты привязки ik -го пикселя ПЗС-матрицы, принадлежащего области предполагаемого наличия сигнала от астероида; $\hat{A}_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 A_{\text{ш}}$, $\hat{B}_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 B_{\text{ш}}$, $\hat{C}_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 C_{\text{ш}}$ — интегральные параметры плоской шумовой подложки, определяемые использованием процедуры МНК-оценки.

По полученным оценкам координат сигнала от небесных объектов в системе координат ПЗС-кадра проводится оценка их экваториальных координат [5].

Полученные в результате работы модуля внутрикадровой обработки данные представляются в виде совокупности отметок. Отметки содержат оценки амплитуд и экваториальные координаты предполагаемых небесных объектов, а также оценки координат данных объектов в системе координат ПЗС-матрицы базового кадра.

В модуле формирования внутреннего каталога неподвижных объектов (внутренний каталог)

производится отбор и отбраковка объектов, неподвижных на серии кадров.

В модуле отождествления отметок проводится отождествление отметок от неподвижных объектов со звездами опорного звездного каталога решением венгерским методом задачи о назначениях на двудольном графе, одна доля которого представляет отметки кадра, а вторая — объекты звездного каталога. В результате формируются взаимосоответствующие пары «звезда — отождествленная со звездой отметка», которые используются в модуле внутрикадровой (первичной) обработки и в модуле оценки видимого блеска.

В модуле оценки видимого блеска объектов определяются коэффициенты разработанной в работе [8] двухдиапазонной кусочно-линейной модели зависимости значения видимого блеска астероида от амплитуды его сигнала на ПЗС-кадре (модели фотометрического пересчета):

$$\begin{cases} \hat{m}_{it} = m_{0it} + k_{\text{фот}1t} A_{\text{lg}it}, \text{ при } A_{it} \geq A_{\text{кр}t}; \\ \hat{m}_{it} = \hat{m}_{it} + k_{\text{фот}2t} (A_{\text{lg}it} - \bar{A}_{\text{lg}1t}), \text{ при } A_{it} < A_{\text{кр}t}, \end{cases}$$

где A_{it} — амплитуда сигнала на ПЗС-кадре, соответствующего оптическому сигналу от i -й опорной звезды, \hat{m}_{it} — оценка звездной величины сигнала от i -й опорной звезды на t -м кадре, m_{0it} — фотометрический нуль-пункт (видимый блеск звезды, оптический сигнал от которой при данных условиях наблюдения соответствует отметке с единичной амплитудой), $k_{\text{фот}1t}$, $k_{\text{фот}2t}$ — коэффициенты пересчета, $\bar{A}_{\text{lg}1t} = -2.5 \lg A_{\text{кр}t}$, $A_{\text{кр}t}$ — критическое значение амплитуды сигнала, для амплитуд меньше которого однодиапазонная МНК-оценка отражает соотношение между данными параметрами с ошибками, превышающими предварительно заданное значение, m'_{it} — оценка видимого блеска, соответствующая критическому значению амплитуды.

Коэффициенты m_{0it} , $k_{\text{фот}1t}$, $k_{\text{фот}2t}$ определяются при помощи МНК по совокупности объектов внутреннего каталога, отождествленных со звездами. Критическое значение амплитуды определяется решением методом Фибоначчи оптимизационной задачи по критерию минимума суммы квадратов невязок между каталожным и

оценочным значением видимого блеска звезд [6]. Затем по полученным коэффициентам модели фотометрического пересчета оценивается видимый блеск объектов, принадлежащих данной серии ПЗС-кадров, и формируется порог отбраковки по видимому блеску.

Подобный подход связан 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. А именно в области малых амплитуд находится большая часть сигналов от астероидов, что приводит к падению точности оценки блеска большинства астероидов. Применение квадратичной однодиапазонной модели фотометрического пересчета не приводит к повышению точности оценки из-за линейной зависимости между входным и выходными сигналами в ПЗС-камере [11]. Указанные обстоятельства привели к введению двухдиапазонной кусочно-линейной модели фотометрического пересчета.

В модуле предварительного обнаружения траекторий производится предварительное обнаружение объектов на основе накопления статистик, пропорциональных энергии сигналов, вдоль возможных траекторий движения объекта (методом собирания света) [9]. Данное накопление сигналов реализуется за счет использования многозначного преобразования координат объектов, допускающего многоэтапную реализацию. Многозначное преобразование позволяет накопить сигналы вдоль всех возможных траекторий движения небесных тел.

Физически наблюдаемая область пространства, в соответствии с принятой моделью движения, разбивается на пересекающиеся пространственно-временные стробы (пространственные стробы, перемещающиеся от кадра к кадру) так, чтобы из одного из них объект за время обнаружения не вышел [2]. Каждому стробу отводится накопитель, а сигналы от небесных объектов накапливаются во всех накопителях стробов, которым они принадлежат. При реализации метода в качестве модели видимого движения объекта используется модель прямолинейного и равномерного движения объекта на плоскости.

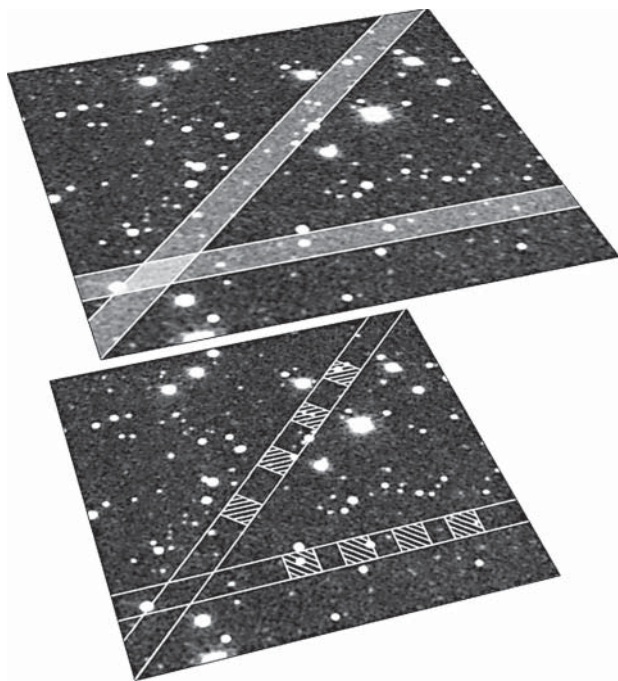


Рис. 4. Двухэтапность метода предварительного обнаружения астероида

На первом этапе (рис. 4) отдельные траектории объединяются в классы (в один класс входят все траектории соответствующие одной прямой) и исследуются соответствующие пространственные области. При принятии решения о возможном наличии небесного тела на одной из исследуемых прямых используется второй этап – исследование пространственно-временных областей, принадлежащих выделенной прямой. В качестве энергетической статистики используется оценка видимого блеска объекта. В методе обеспечивается возможность попадания отметки от сигнала в два или три строка по траверсной дальности и начальному положению (рис. 5). Данная возможность необходима для реализации полного покрытия зоны обзора при использовании оценок координат объектов с ошибками.

В модуле амплитудно-координатного обнаружения производится МНК-оценка параметров движения предварительно обнаруженных объектов, а также принятие решения о наличии среди них астероидов (принятие решения об обнаружении астероида). Решающее правило (РП)

для случая ненулевой вероятности пропуска отметки от астероида на отдельных кадрах серии имеет вид [10]:

$$\sum_{t=1}^K \gamma_{tjx} (x_{kt(j)} - \hat{x}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^K \gamma_{tjy} (y_{kt(j)} - \hat{y}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^K \gamma_{ja} (A_{kt(j)} - A_{\theta_jcp})^2 \geq \Pi'_{tre}(K), \quad (3)$$

$$\Pi'_{tre}(K) = \Pi_{tre} - \sum_{t=K+1}^T \ln \frac{1 - D_{\theta t(j)}}{1 - F_t},$$

где $\Pi'_{tre}(K)$ – порог обнаружения астероида при условии формирования отметок от астероида на K из T кадров, Π_{tre} – порог обнаружения астероида, определяемый экспериментально, $\gamma_{tjx} = 1/\sigma_{tjx}^2$, $\gamma_{tjy} = 1/\sigma_{tjy}^2$ – весовые коэффициенты, прямо пропорциональные точности оценки координат объекта, $\gamma_{ja} = 1/\sigma_{ja}^2$ – весовой коэффициент, зависящий от точности оценки амплитуды сигналов.

РП обнаружения астероида (3) предписывает на каждом кадре выбирать «лучшую» отметку для продолжения траектории исследуемого объекта. «Лучшая» отметка должна иметь не очень большие отклонения от траектории астероида (кинематическая составляющая), а значение амплитуды «лучшей» отметки (соответствующая оценка видимого блеска) должно не очень сильно отличаться от амплитуды других отметок, сформированных сигналами от данного объекта (энергетическая составляющая). Применение в РП подобной энергетической составляющей связано с большим разбросом (в разы) амплитуд сигналов от астероидов при резких изменениях условий наблюдения за время длительных серий наблюдений.

В модуле отождествления траекторий производится отождествление обнаруженных астероидов, с известными астероидами, которые находились на исследуемом участке небесной сферы. Данные об известных астероидах получают из локальной базы параметров орбит астероидов или из сервера MPC при помощи модуля чекера. Модуль чекера также дает возможность получить NEOCP-рейтинг вновь открытых астероидов с сайта MPC [http://www.minorplanetcenter.net/iau/NEO/PossNEO.html].

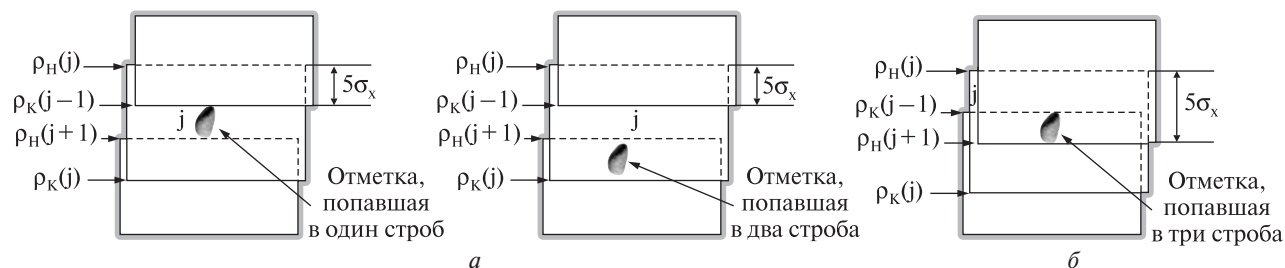


Рис. 5. Обеспечение возможности попадания отметки от сигнала в несколько стробов на примере стробов по поперечной дальности: *а* — обеспечение возможности попадания отметки в один или два строба, *б* — обеспечение возможности попадания отметки в три строба

В модуле визуального контроля результата наблюдателю предоставляется возможность окончательного принятия решения об обнаружении астероидов. Контроль результатов осуществляется путем визуального наблюдения участка ПЗС-кадров серии, в котором обнаружен объект, методом бликования. По окончании работы модуля совокупность объектов, по которым было принято решение об их принадлежности астероидам, преобразуется в отчет о наблюдениях в формате, принятом в MPC (MPC-report). Полученный отчет с измерениями отправляется наблюдателем на сервер MPC посредством электронной почты.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

На сегодняшний день программа успешно эксплуатируется в Андрушевской астрономической обсерватории (ААО) (телескоп Цейса с диаметром зеркала 60 см, оснащенный ПЗС-камерой FLI PL09000). За время использования программы с мая 2010 г. по сентябрь 2011 г. ААО было открыто 66 астероидов [http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive_TBL.html]. В мае 2010 г. в ААО было сделано первое открытие астероида в автоматизированном режиме на территории СНГ. С 27 ноября 2010 г. программа эксплуатируется в российской дистанционно управляемой обсерваторией ISON-NM, расположенной в штате Нью-Мексико (США) (астрограф Astroworks Centurion-18 с диаметром зеркала 45 см, оснащенный ПЗС-камерой FLI ML09000-65). При этом в период с 27 ноября 2010 г. по сентябрь 2011 г. были открыты 471 астероид и две кометы. 10 декабря

2010 г. с использованием программы CoLiTec была открыта комета C/2010 X1 (Elenin) [http://www.minorplanetcenter.net/mpec/K10/K10XA1.html], которая стала первой кометой, открытой российским астрономом за последние 20 лет. Всего при помощи программы CoLiTec послано в MPC 158 015 измерений, открыто 539 объектов. Среди них две кометы (C/2010 X1 (Elenin) и P/2011 NO1 [http://www.minorplanetcenter.net/mpec/K11/K11O10.html]), два троянских астероида Юпитера (2011 QJ9, 2011 QQ47) и один AC3 (2011 QY37). Еще двум астероидам были посвящены отдельные электронные циркуляры MPC (2011 HY52, AAO, и 2011 QD23, обсерватория ISON-NM).

ВЫВОДЫ

Программа CoLiTec является первой на территории СНГ программой автоматизированного обнаружения астероидов. Программа успешно используется для обнаружения новых астероидов и комет в двух обсерваториях, наблюдающих малые тела Солнечной системы, что подтверждается более чем 500 открытиями с ее помощью объектами и может быть использована и в других астрономических обсерваториях Украины и мира, занимающихся наблюдениями астероидов.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на повышении эффективности используемых в программе методов (уменьшение вычислительных затрат, повышение точности оценки местоположения сигналов от объектов, снижении уровня ложных обнаружений астероидов).

1. Новичонок А. О. С/2010 X1 (Elenin): первая комета в новейшей истории России // Открытие. Исследования. Наблюдения. — Тула: Фрешбук, 2011. — 78 с.
2. Пат. України на корисну модель № 58937. Спосіб виявлення рухомих об'єктів / Саваневич В. Є., Кожухов О. М., Брюховецький О. Б., Діков Є. М., Власенко В. П. // ДП «Український інститут промислової власності», бюл. № 8, 26.04.2011 р.
3. Саваневич В. Е. Определение координат статистически зависимых объектов на дискретном изображении // Радиотехника и информатика. — 1999. — № 1. — С. 4—8.
4. Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка координат астероида на дискретном изображении // Радиотехника. — 2010. — Вып. 162. — С. 78—86.
5. Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка экваториальных координат астероида по оценкам его координат на ПЗС-кадре // Системы обработки информации: 36. науч. пр. — Харьков: ХУПС, 2010. — Вып. 6 (87). — С. 172—179.
6. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б. и др. Определение оптимального критического значения амплитуды для двудиапазонного фотометрического пересчета // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 4/9 (52). — С. 4—7.
7. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров // Системы озброєння та військова техніка. — Харьков: ХУПС, 2010. — Вып. 3 (23). — С. 154—159.
8. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П. Оценка блеска астероида по амплитуде его сигнала на ПЗС-кадре // Системы управління навігації та зв'язку: 36. науч. пр. — Київ: ЦНДІ НіУ, 2010. — Вып. 3 (15). — С. 46—50.
9. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Диков Е. Н. Метод обнаружения астероидов, основанный на накоплении сигналов вдоль траекторий с неизвестными параметрами // Системы обработки информации: 36. науч. пр. — Харьков: ХУПС, 2011. — Вып. 2 (92). — С. 137—144.
10. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Диков Е. Н. Обнаружение и оценка параметров траектории астероида // Радиотехника и информатика. — 2011. — Вып. 1 (52). — С. 15—21.
11. McLean I. S. Electronic Imaging in Astronomy. Detectors and Instrumentation (Second Edition). — Berlin: Springer-Praxis, 2008. — 552 p.

Надійшла до редакції 01.10.11

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

THE PROGRAM COLITEC FOR AUTOMATED DETECTION OF FAINT CELESTIAL BODIES

A short description of the software program CoLiTec (CLT) for the automated detection of asteroids with the use of CCD frame series is given. The program consists of several separate modules. The computational procedures used for the software elaboration are described. Some results of the software application for the detection of small bodies of the solar system are presented.