

УДК 004.932: 523.44: 621.383.7

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ COLITEC (CLT)

В. Е. Саваневич, В. Н. Ткачѳв

Харьковский Национальный Университет радиоэлектроники
просп. Ленина-14, 61166, г. Харьков, Украина. E-mail: domsv1@rambler.ru

А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, В. П. Власенко

Национальный Центр управления и испытаний космических средств, г. Евпатория
97419, г. Евпатория-19, АР Крым, Украина. E-mail: skinny2@rambler.ru

Е. Н. Диков

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт микрографии
бульв. Пархоменко 1/60, 61046, г. Харьков, Украина. E-mail: FellerScS@yandex.ru

Представлено описание вычислительных методов обработки серий ПЗС-кадров, применяемых в разработанном программном комплексе для автоматизированного обнаружения астероидов CoLiTec (CLT). Приведены результаты применения программного комплекса для обнаружения малых тел Солнечной системы.

Ключевые слова: обработка серий ПЗС-кадров, астероиды – методы автоматизированного обнаружения.

COMPUTATIONAL METHODS OF AUTOMATED ASTEROID DETECTION APPLYING IN COLITEC PROGRAM

V. Savanevich, V. Tkachov

Kharkiv National University of Radioelectronics
prosp. Lenin-14, 61166, Kharkiv, Ukraine. E-mail: domsv1@rambler.ru

A. Bryukhovetskiy, A. Kozhukhov, V. Vlasenko

National Centre of Space Devices Control and Test, Evpatoria
97419, Evpatoria-19, AR Crimea, Ukraine. E-mail: skinny2@rambler.ru

E. Dikov

Research and Design Institute of Micrography
bulv. Parkhomenko, 1/60, 61046, Kharkiv, Ukraine. E-mail: FellerScS@yandex.ru

The description of computational methods for the series of CCD-frames processing used for the automated asteroids detection software system CoLiTec (CLT), developed by the authors, is represented. The results of software application for the detection of Solar System's small bodies are shown.

Key words: series of CCD-frames processing, asteroids – methods of automated detection.

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ АСТЕРОЇДІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ПРОГРАМІ COLITEC (CLT)

В. Є. Саваневич, В. М. Ткачов

Харківський Національний Університет радіоелектроніки
просп. Леніна-14, 61166, м. Харків, Україна. E-mail: domsv1@rambler.ru

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

Національний Центр управління та випробувань космічних засобів
97419, м. Євпаторія-19, АР Крим, Україна. E-mail: skinny2@rambler.ru

Є. М. Діков

Науково-дослідний, проектно-конструкторський інститут макрографії
бульв. Пархоменко 1/60, 61046, м. Харків, Україна. E-mail: FellerScS@yandex.ru

Представлений опис обчислювальних методів обробки серий ПЗС-кадрів, які застосовуються у розробленому програмному комплексі для автоматизованого виявлення астероїдів Colitec (CLT). Приведені результати використання програмного комплексу для виявлення малих тіл Сонячної системи.

Ключові слова: обробка серий ПЗС-кадрів, астероїди – методи автоматизованого виявлення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Современные системы поиска астероидов формируют за ночь снимки настолько значительных участков неба, что человек блинкованием не может их качественно просмотреть за требуемый отрезок времени. Особенно серьезные трудности в обработке полученных кадров возникают в случае использования светосильных широкопольных астрографов, в поле зрения которых может находиться одновременно несколько десятков астероидов со слабым видимым блеском.

Одним из решений этой проблемы является внедрение автоматизированного обнаружения астероидов с последующей визуальной проверкой полученных результатов. Данные с сайта Центра малых планет (Minor Planet Center, MPC) Международного астрономического союза [1] 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 [2]. На момент начала исследований, представленных в статье, в Украине и в других странах СНГ не было ни одной действующей программы автоматического (автоматизированного) обнаружения астероидов и комет. Это обстоятельство приводило к весьма низкой эффективности наблюдений малых тел Солнечной системы в обсерваториях этих стран. Поэтому можно считать актуальной задачу разработки вычислительных методов внутрикадровой и межкадровой обработки данных для автоматизированного обнаружения астероидов.

Наблюдение астероидов осуществляется с помощью телескопа, оснащенного ПЗС-матрицей.

Астероид движется на фоне звезд в картинной плоскости прямолинейно и равномерно, по каждой координате независимо.

По результатам наблюдений астероидов на одном участке небесной сферы формируется серия цифровых ПЗС-кадров. Серия в общем случае может быть разбита на подсерии, время между проведением подсерий значительно больше длительности самих подсерий. Экваториальные координаты участков небесной сферы, соответствующих центрам кадров серии, взаимно смещены из-за ошибок системы наведения и управления телескопом.

Изображение астероида на отдельном кадре серии ничем не отличается от изображения звезд, находящихся на данном участке неба. На кадрах присутствует неравномерно распределенный фон, форма распределения которого может меняться даже в пределах одной серии кадров. Возможны большие отличия (в разы) амплитуд сигнала от одного и того же астероида на одной серии кадров.

Целью работы является разработка совокупности вычислительных методов внутрикадровой и межкадровой обработки данных для создания программного комплекса автоматизированного обнаружения астероидов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Функциональная схема программы CoLiTec представлена на рис. 1.

Входными данными программы являются серия ПЗС-кадров с изображением участка небесной сферы, а также звездный каталог. В модуле внутрикадровой обработки (рис. 2) производятся: учет дефектных пикселей ПЗС-матрицы; разбиение кадров на подсерии с определением базового кадра; сложение кадров подсерий с накоплением сигнала от движущегося объекта с получением суперкадров, и согласно метода, в основу которого положен «площадной» подход (рис. 3) [3], описанного в подразделе 1.1.; предварительная селекция сигналов от небесных объектов на суперкадрах, основанная на сравнении с порогом значений пространственной свертки между принятым излучением, в окрестности пика изображения, и формой ожидаемого сигнала.

Затем, в данном модуле производится оценка координат и амплитуд сигналов на суперкадрах (формирование отметок) итерационным методом, описанным в [4], который в рамках технологии группированных выборок использует модель координат падения шумо-

вых фотонов в виде наклонной плоской шумовой подложки. Их высота и наклон являются дополнительными параметрами, подлежащими оценке в пределах исследуемого строка. Объединение суперкадров одной подсерии проводится согласно [3].

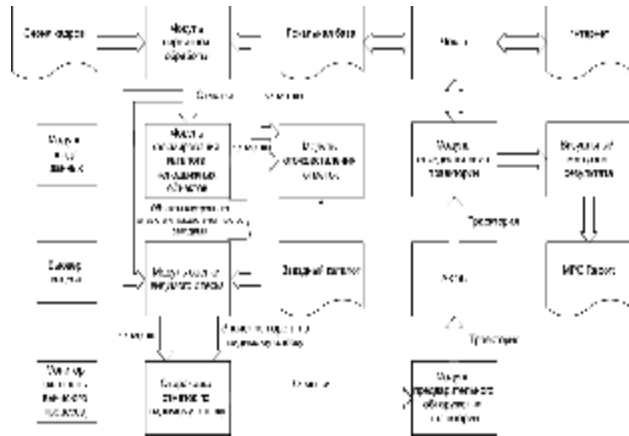


Рисунок 1 – Функциональная схема программы CoLiTec

Предварительная (внутрикадровая) обработка для обнаружения астероидов на кадрах ПЗС-матрицы при применении СКДО

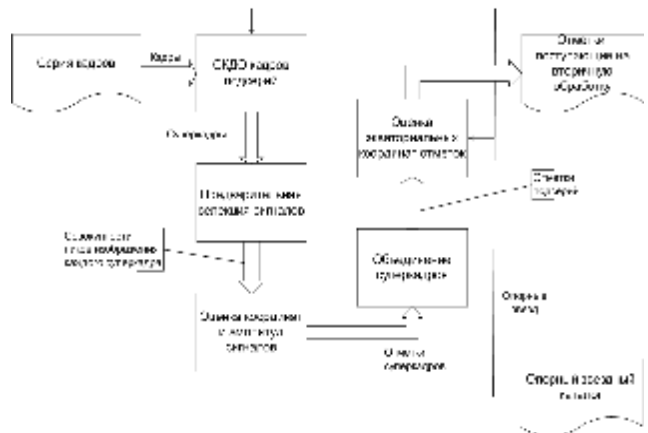


Рисунок 2 – Модуль внутрикадровой обработки программы CoLiTec

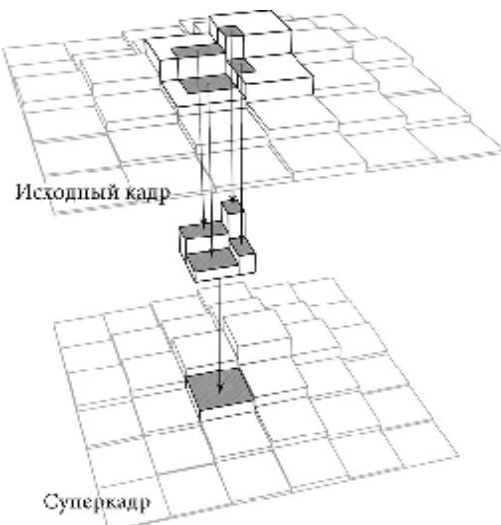


Рисунок 3 – «Площадной» подход в СКДО

Оценка экваториальных координат объектов осуществляется методом, описанным в [5], в котором формирование матрицы весов ошибок измерений обобщенного МНК проводится с учетом зависимости значения ошибок оценки экваториальных координат от значения видимого блеска объектов, а также организован равномерный выбор опорных звезд для кадров с большими полями зрения.

Полученные данные представляются в виде совокупности отметок, которые содержат оценки амплитуд и экваториальные координаты предполагаемых небесных объектов, а также оценки координат данных объектов в СК ПЗС–матрицы базового кадра.

В модуле формирования внутреннего каталога неподвижных объектов (внутренний каталог) зона обнаружения делится на большое количество неподвижных стробов предполагаемого нахождения объекта, размеры которых определяются погрешностями измерений параметров сигнала. Затем производится сравнение амплитуд отметок, сформированных в одних и тех же стробах предполагаемого нахождения объекта на разных кадрах. Данные отметки признаются принадлежащими объекту, неподвижному на Т кадрах, если их амплитуды превышают пороговую не менее, чем на К из Т кадров. Отметки, признанные соответствующими сигналам от объектов, неподвижных на Т кадрах, формируют внутренний каталог неподвижных объектов и в дальнейшей обработке участия не принимают (рис. 4) [6].

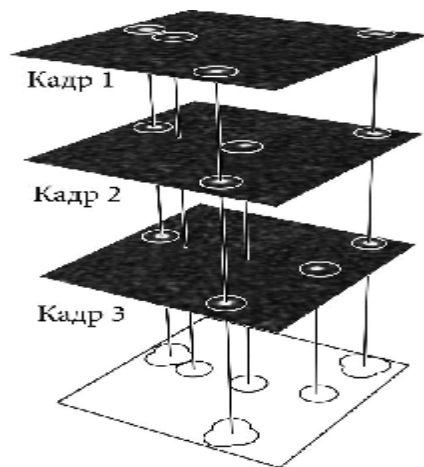


Рисунок 4 – Формирование внутреннего каталога неподвижных объектов

Отметки от неподвижных объектов отождествляются с объектами звездного каталога в модуле отождествления решением венгерским методом задачи о назначениях на двудольном графе, одна доля которого представляет отметки кадра, а вторая – объекты звездного каталога.

В модуле оценки видимого блеска объектов производится его оценка при помощи МНК–оценки коэффициентов двудиапазонной кусочно-линейной модели зависимости значения видимого блеска астероида от амплитуды его сигнала на ПЗС–кадре [7] с определением координаты точки перегиба двудиапазонной кусочно-линейной модели по критерию минимума суммы квадратов невязок между каталожным и оценочным значением видимого блеска звезд [8].

После этого в данном модуле производится формирование порога отбраковки по видимому блеску. В модуле отбраковки по видимому блеску остаются только те отметки, оценка видимого блеска которых не превышает значение указанного порога.

В модуле предварительного обнаружения траекторий обнаруживаются траектории на основе накопления статистик, пропорциональных энергии сигналов, вдоль возможных траекторий движения объекта. Данное накопление сигналов реализуется за счет использования многозначного преобразования координат объектов, допускающего многоэтапную (двухэтапную) реализацию (рис. 5). Многозначное преобразование позволяет накопить сигналы вдоль всех возможных траекторий движения небесных тел. В качестве энергетической статистики используется оценка видимого блеска объекта. При проведении многозначного преобразования обеспечивается возможность попадания отметки в несколько пространственных стробов для учета возможных ошибок оценки координат объектов [6]. В результате работы модуля формируются совокупности отметок, принадлежащие одному объекту с ненулевым видимым движением.

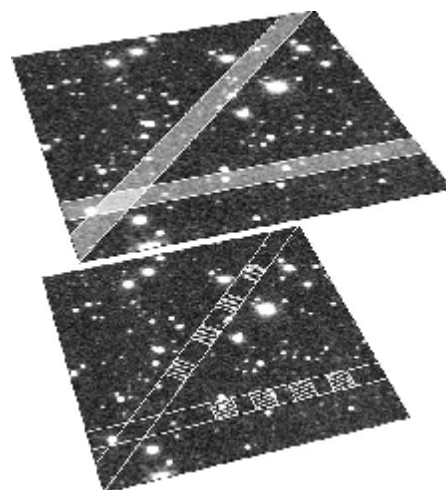


Рисунок 5 – Двухэтапность метода предварительного обнаружения астероида

В модуле амплитудно-координатного обнаружения производится МНК–оценка параметров обнаруженных траекторий, а также принятие решения о наличии траекторий, сформированных астероидами. Для принятия решения о наличии астероида необходимо, чтобы координаты отметок имели в среднем небольшое отклонение от предполагаемой траектории (кинематическая составляющая), а амплитуды данных отметок не должны значительно отличаться друг от друга (энергетическая составляющая). В качестве модели распределения амплитуд сигналов нормального закона распределения, определением веса амплитудной составляющей не значением амплитуд отметок, а значением взаимных флуктуаций оценок видимого блеска астероида. Подробнее метод изложен в [9].

В модуле визуального контроля результата наблюдательно предоставляется возможность окончательного принятия решения о принадлежности траектории астероиду.

Результаты работы программы CoLiТес. Проверка работоспособности программы проводилась на базе Андрушевской астрономической обсерватории (ААО) и российской дистанционно управляемой обсерватории ISON-NM. В ходе эксперимента с мая 2010 по август 2011 года в ААО было открыто 52 новых астероида [10], в том числе первое открытие астероида в автоматизированном режиме в СНГ. Применение программы в обсерватории ISON-NM значительно увеличило количество обнаруживаемых астероидов, при этом в период с декабря 2010 по август 2011 года было открыто 426 новых астероида [10]. Также за этот период было открыто две кометы. 10 декабря 2010 года с использованием программы была открыта комета C/2010 X1 (Elenin) [11, 12], ставшая первой кометой, открытой российским астрономом с 1990 года [13]. 7 июля была открыта комета P/2011 NO1, ставшая второй кометой, открытой данной обсерваторией [14].

ВЫВОДЫ. Разработанные вычислительные методы обработки серий ПЗС-кадров для автоматизированного обнаружения астероидов были применены при создании первой на территории СНГ программы автоматизированного обнаружения астероидов CoLiТес. Успешное применение программы CoLiТес для обнаружения астероидов и комет (первое в СНГ обнаружение нового астероида в автоматизированном режиме, первое открытие новой кометы российским астрономом за 20 лет) подтверждает достоверность данных вычислительных методов. Программа, использующая предложенные вычислительные методы, может быть использована и в других астрономических обсерваториях Украины и мира, занимающихся наблюдениями астероидов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/CountObsByYear.txt>.
2. Новичонко А.О. C/2010 X1 (Elenin): первая комета в новейшей истории России // Открытие. Исследования. Наблюдения. – Тула: Фрешбук, 2011. – 78 с.
3. 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. – Харків: ХУПС, 2010. – Вып. 3(23). – С. 154 – 159.
4. Саваневич В.Е., Брюховецкий А.Б., Кожухов А.М., Диков Е.Н. Оценка координат астероида на дискретном изображении // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 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 обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС, 2010. – Вып. 6(87). – С. 172–179.
6. 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 обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС, 2011. – Вып. 2(92). – С. 137–144.
7. 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 : Зб. наук. пр. – Київ: ЦНДІ НіУ, 2010. – Вып. 3(15). – С. 46–50.

8. Саваневич В.Е., Кожухов А.М., Брюховецкий А.Б., Власенко В.П., Ткачев В.Н. Определение оптимального критического значения амплитуды для дудиапазонного фотометрического пересчета // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2011. – № 4/9 (52). – С. 4–7.

9. Саваневич В.Е., Кожухов А.М., Брюховецкий А.Б., Диков Е.Н. Обнаружение и оценка параметров траектории астероида // Радиотехника и информатика. – Харьков: ХНУРЭ, 2011 – Вып. 1(52). – С. 15–21.

10. MPC 70135–75798. http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive_TBL.html.

11. MPEC 2010-X101: COMET C/2010 X1 (ELENIN).

12. IAU Electronic Telegram №2584, CBAT, 2010.

13. http://www.gazeta.ru/news/science/2010/12/13/n_1614225.shtml.

14. MPEC 2011-O10. COMET P/2011 NO1

REFERENCES

1. <http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/CountObsByYear.txt>.
2. Novichonok A.O. C/2010 X1 (Elenin): first comet in Russian contemporary history. Discovery. Researchs. Observation. – Tula: Freshbook, 2011. – 78 p. [in Russian].
3. Savanevich V.E., Kozhukhov A.M., Bryukhovetskiy A.B., Vlasenko V.P. The method of signal accumulation from a faint asteroid with nonzero visual motion on series of CCD-frames // Systems of Arms and Military Equipment. – Kharkiv: KhUAF, 2010. – Vol. 3(23). – P. 154–159 [in Russian].
4. Savanevich V.E., Bryukhovetskiy A.B., Kozhukhov A.M., Dikov E.N. Estimation of the asteroid coordinates on the discrete image // Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. – 2010. – №. 162. – P. 78–86 [in Russian].
5. Savanevich V.E., Bryukhovetskiy A.B., Kozhukhov A.M., Dikov E.N. Estimation of equatorial coordinates of asteroid on account of estimate of his coordinates on CCD-frame. // Systems of Information Processing. – Kharkiv: KhUAF, 2010. – Vol. 6(87). – P. 172–179 [in Russian].
6. Savanevich V.E., Kozhukhov A.M., Bryukhovetskiy A.B., Dikov E.N. The method of asteroid detection, based on after-threshold accumulation of signal statistic in space of asteroid trajectory parameters // Systems of Information Processing. – Kharkiv: KhUAF, 2011. – Vol. 2(92). – P. 137–144 [in Russian].
7. Savanevich V.E., Kozhukhov A.M., Bryukhovetskiy A.B., Vlasenko V.P. Estimation of asteroid's visual brightness by amplitude of his signal on CCD-frame // Systems of Control, Navigation and Communication. – Kiev: CSRI N&C, 2010. – Vol. 3(15). – P. 46–50 [in Russian].
8. Savanevich V.E., Kozhukhov A.M., Bryukhovetskiy A.B., Vlasenko V.P., Tkachov V.N. Determination of the optimal critical amplitude for double-band photometric conversion // Eastern European journal of enterprise technologies //scientific magazine. – Kharkov: Technological center, 2011. – Vol. 4/9 (52). – P. 4–7 [in Russian].
9. Savanevich V.E., Kozhukhov A.M., Bryukhovetskiy A.B., Dikov E.N. Asteroid's track detection and estimation of track's parameters // Radiotekhnika i informatika. – Kharkiv: KHNURE, 2011. – Vol. 1(52). – P. 15–21 [in Russian].
10. MPC 70135–75798. http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive_TBL.html.
11. MPEC 2010-X101: COMET C/2010 X1 (ELENIN).
12. IAU Electronic Telegram №2584, CBAT, 2010.
13. http://www.gazeta.ru/news/science/2010/12/13/n_1614225.shtml.
14. MPEC 2011-O10. COMET P/2011 NO1

Стаття надійшла 23.09.2011.

Рекомендовано до друку
к.ф.-м.н., доц. Ляшенко В.П.