

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ, НЕПОДВИЖНЫХ НА СЕРИИ КАДРОВ

Введение

На сегодняшний день в научной периодике [1] достаточно большое внимание уделено методам автоматической обработки кадров астероидных обзоров. Это, прежде всего, связано с проблемами астероидно-кометной опасности [2].

При обработке измерений, сформированных на цифровых кадрах, большая их часть соответствует звездам. Их положение относительно других неизвестных небесных объектов (астероиды, кометы) является практически неизменным, иными словами, звезды имеют нулевое видимое движение на сериях кадров, исследуемых в астероидных обзорах [3].

Анализ литературы

Для повышения селективных возможностей и снижения времени реализации вычислительных методов обработки кадров астероидных обзоров было предложено предварительное разделение измерений кадра на два множества [4 – 6]. Первое – множество объектов с практически нулевым видимым движением, названное в рамках проекта CoLiТес, внутренним каталогом (ВК) объектов, неподвижных на серии кадров.

Второе множество измерений кадра дополняет внутренний каталог объектов, неподвижных на серии кадров, до множества всех измерений кадра и включает в себя кандидаты на позиционные измерения астероидов, комет, искусственных спутников земли (ИСЗ) и т.д. Однако, в большей степени, второе множество включает в себя измерения от «ложных» объектов, сформированные на шумовых выбросах, космических лучах или артефактах цифровых кадров.

Формирование внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, основывается на взаимном отождествлении кадров серии или рекуррентном отождествлении кадров [7 – 10]. На начальном этапе используется метод формирования групп близких объектов [11 – 15]. 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 сглаженные оценки положений объектов в системе координат (СК) базового кадра, которым выбирается любой кадр серии, обычно средний кадр. 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 [7, 16 – 19].

Исследование статистических характеристик оценок параметров представителей каталога объектов, неподвижных на серии кадров может быть полезно для модернизации используемого обсерваториями программного обеспечения (ПО) и повышения за счет этого точности наблюдений небесных объектов. В связи с этим, исследование статистических характеристик оценок параметров представителей каталога объектов, неподвижных на серии кадров, является актуальной задачей. Также целесообразно создание научно-исследовательского программного инструмента, который выполняет автоматическую оценку статистических характеристик измерений представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров.

На данный момент существуют методы оценки показателей точности измерения и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров [20]. Данные методы включают в себя: метод исследования точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, хранящихся в архиве МРС или содержащихся в измерениях, соответствующих исследуемым кадрам; метод исследования показателей качества обнаружения объектов Солнечной системы. В работе [21] разработан метод автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-

кадров. Однако существующие методы оценки показателей точности измерения и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров не рассматривают измерения представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, с помощью которых можно провести исследование измерений объектов со слабым блеском.

Объект, цель и задачи исследования

Статья посвящена исследованию статистических характеристик оценок параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров.

Объектом исследования являются методы автоматического исследования статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров.

Наблюдение небесных объектов проводится с использованием телескопов, оснащенных CCD матрицей. CCD-кадры обрабатываются специальными программами, которые формируют совокупность измерений. Данные измерения содержат погрешности, которые получаются вследствие неблагоприятных погодных условий, сбоя в работе аппаратуры, несовершенства инструментов наблюдений и программных средств обработки CCD-кадров.

Цель исследования – разработка метода автоматического исследования статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров.

Изложение основного материала

Исходные данные для исследования статистических характеристик оценок параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров

Большинство представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, не являются отождествленными со звездами используемых звездных каталогов. Поэтому отсутствует внешний эталон положения объектов. В этой связи исследуемыми в работе статистическими характеристиками оценок положения объектов являлись [22]: среднеквадратическое отклонение и квантили модулей отклонений оценок склонения и прямого восхождения исследуемых объектов, полученных на рассматриваемых сериях кадров.

В качестве исходных данных для исследования выступает совокупность измеренных положений (оценок положений) звезд ВК, полученных в ходе обработки группы кадров.

При исследовании статистических характеристик оценок параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, используются:

– оценки X и Y параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров (формируются при внутрикадровой обработке);

– оценки экваториальных координат, а именно, прямого восхождения α (RA) и склонения δ (DE), представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров (полученные, например, с помощью ПО CoLiTec [4, 5, 23]).

В статье при проведении исследований были использованы кадры, полученные в обсерваториях ISON-NM (код MPC H15) [24] и ISON-Kislovodsk (код MPC D00) [25]. Обсерватория ISON-NM находится на горе Джой (Мейхилл), Нью-Мексико, США и использует 40-см телескоп САНТЕЛ-400АН и CCD-матрицу FLI ML09000-65 (3056×3056 пикселей, размер пикселя 12 мкм). Время экспозиции составляло 150 с. Всего было использовано 8 серий по 4 кадра каждая. Обсерватория ISON-Kislovodsk расположена в 20 км от Кисловодска (плато Шаджатмаз), РФ и использует 19 см широкопольный телескоп GENON и CCD-матрицу FLI ML09000-65 (4008 x 2672 пикселей, размер пикселя 9 мкм). Время экспозиции составляло 180 с. В работе таблицы и рисунки, соответствующие кадрам ISON-NM и ISON-Kislovodsk, обозначены как СанТел-400 и GENON [26].

Метод автоматического определения статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров включает следующие операции.

1. Определение распределения представителей *внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров*, по блеску. В табл. 1, 2 приведены примеры данных распределений для кадров, полученных на телескопах СанТел-400 и GENON соответственно.

2. Для всех объектов при исследовании статистических характеристик оценок положения оценок параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, были проведены следующие вычисления.

Таблица 1

[интервал]	Кол-во измерений	%
[9,5 ... 13,5]	1254	2,7
[13,5 .. 14,3]	819	1,7
[14,3 .. 15,1]	1240	2,6
[15,1 .. 15,9]	1883	4,0
[15,9 .. 16,7]	2677	5,7
[16,7 .. 17,5]	3524	7,5
[17,5 .. 18,3]	4400	9,4
[18,3 .. 19,1]	5180	11,0
[19,1 .. 19,9]	7879	16,7
[19,9 .. 20,7]	11272	23,9
[20,7 .. 21,5]	6433	13,7
[21,5 .. 21,9]	509	1,1
Итого:	47070	100,0

Таблица 2

[интервал]	Кол-во измерений	%
[8,0 .. 12,0]	4015	2,2
[12,0 .. 12,8]	3972	2,2
[12,8 .. 13,5]	6238	3,4
[13,5 .. 14,3]	9885	5,5
[14,3 .. 15,0]	14044	7,8
[15,0 .. 15,8]	18487	10,2
[15,8 .. 16,5]	21977	12,2
[16,5 .. 17,3]	23955	13,2
[17,3 .. 18,0]	25903	14,3
[18,0 .. 18,8]	32763	18,1
[18,8 .. 19,5]	18874	10,4
[19,5 .. 19,9]	844	0,5
Итого:	180957	100,0

2.1. Определение средних значений оценок прямого восхождения и склонения измерений j -го объекта на кадрах исследуемой серии определялись выражениями:

$$\bar{\alpha}_j = \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \alpha_{jn} / N_{fr} \quad (1)$$

$$\bar{\delta}_j = \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \delta_{jn} / N_{fr} \quad (2)$$

где α_{jn} , δ_{jn} - измерение j -го объекта на n_{fr} -м кадре серии, включающее оценки экваториальных координат (склонения и прямого восхождения).

2.2. Определение отклонений между оценками (α_{jn} , δ_{jn}) экваториальных координат j -го объекта ВК на n_{fr} -м кадре серии и средним их значением ($\bar{\alpha}_j$, $\bar{\delta}_j$) на данной серии определяются выражением [27, 28]:

$$\Delta_{\alpha jn} = (\alpha_{jn} - \bar{\alpha}_j) \cdot \cos \delta_{jn}; \quad (3)$$

$$\Delta_{\delta jn} = \delta_{jn} - \bar{\delta}_j, \quad (4)$$

2.3. Полное отклонение между оценками (α_{jn} , δ_{jn}) экваториальных координат j -го объекта ВК и средним их значением ($\bar{\alpha}_j$, $\bar{\delta}_j$), соответствующее центральному углу, определялось следующим образом [28]:

$$\Delta_{\alpha\delta jn} = \arccos(\sin \alpha_{jn} \cdot \sin \bar{\alpha}_j + \cos \alpha_{jn} \cdot \cos \bar{\alpha}_j \cdot \cos \Delta_{\delta jn}) \quad (5)$$

2.4. Оценка среднего отклонения оценок экваториальных координат объектов ВК определялась согласно выражениям:

$$\hat{\Delta}_{\alpha} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\alpha jn} / (N_{obj} \cdot N_{fr}); \quad (6)$$

$$\hat{\Delta}_{\delta} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\delta jn} / (N_{obj} \cdot N_{fr}), \quad (7)$$

где N_{obj} – количество исследуемых объектов ВК.

2.5. Оценка среднего полного отклонения оценок экваториальных координат объектов ВК определялась по формуле [28]:

$$\hat{\Delta}_{\alpha\delta} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\alpha\delta jn} / (N_{obj} \cdot N_{fr}) \quad (8)$$

2.6. Оценка среднеквадратичного отклонения оценок прямого восхождения и склонения вычислялась следующим образом:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} (\Delta_{\alpha jn} - \hat{\Delta}_{\alpha})^2 / (N_{obj} \cdot N_{fr})}; \quad (9)$$

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} (\Delta_{\delta jn} - \hat{\Delta}_{\delta})^2 / (N_{obj} \cdot N_{fr})}. \quad (10)$$

3. Группирование измерений по диапазонам значений видимого блеска и определение статистических характеристик оценок для каждого диапазона и всей совокупности измерений положений представителей каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Статистические характеристики оценок для указанных диапазонов и в целом исследуются без отбраковки значений, а также с отбраковкой по модулю вектора отклонений 10 % измерений. Для каждой группы измерений производятся операции, соответствующие п. 2.1 – 2.6 данного метода. Примеры основных параметров отклонений измерений представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, отождествленных со звездным каталогом, представлены в табл. 3. Пример распределения отклонений объектов ВК по диапазонам видимого блеска для кадров, полученных на телескопах СанТел-400 и GENON, представлены в табл. 4, 5.

Таблица 3

Все измерения				
Обработано измерений	47070	42363	180957	162862
Процент отбраковки худших измерений по модулю вектора отклонений	0%	10%	0%	10%
Среднее отклонение по RA, угл. сек.	0,00	0,00	0,00	0,00
Среднее отклонение по DE, угл. сек.	0,00	0,00	0,01	0,00
Макс. модуль отклонения RA, угл. сек.	2,96	0,84	5,53	1,27
Макс. модуль отклонения DE, угл. сек.	2,59	0,86	5,62	1,28
СКО откл. по RA, угл. сек.	0,47	0,34	0,79	0,51
СКО откл. по DE, угл. сек.	0,50	0,35	0,80	0,51
СКО откл. по блеску, зв.вел.	0,36	0,34	0,30	0,26

Таблица 4

[интервал]	N	$\hat{\Delta}_{\alpha}$	$\hat{\Delta}_{\delta}$	σ_{α}	σ_{δ}
[9,5 ; 12,0]	: 422	0,00	0,00	0,04	0,11
[12,0 ; 13,0]	: 498	0,00	0,00	0,02	0,02
[13,0 ; 14,0]	: 809	0,00	0,00	0,01	0,02
[14,0 ; 15,0]	: 1399	0,00	0,00	0,03	0,04
[15,0 ; 15,5]	: 1014	0,00	0,00	0,04	0,05
[15,5 ; 16,0]	: 1334	0,00	0,00	0,03	0,05
[16,0 ; 16,5]	: 1672	0,00	0,00	0,07	0,07
[16,5 ; 17,0]	: 1947	0,00	0,00	0,10	0,09
[17,0 ; 17,5]	: 2302	0,00	0,00	0,12	0,12
[17,5 ; 18,0]	: 2587	0,00	0,00	0,16	0,17
[18,0 ; 18,5]	: 3041	0,00	0,00	0,21	0,21
[18,5 ; 19,0]	: 3196	0,00	0,00	0,28	0,31
[19,0 ; 19,5]	: 4218	0,00	0,00	0,38	0,39
[19,5 ; 20,0]	: 5677	0,00	0,00	0,51	0,52
[>20,0]	: 16954	0,00	0,00	0,69	0,73
Итого:	: 47070	0,00	0,00	0,47	0,50

Таблица 5

[интервал]	N	$\hat{\Delta}_{\alpha}$	$\hat{\Delta}_{\delta}$	σ_{α}	σ_{δ}
[8,0 ; 12,0]	: 4015	0,00	0,00	0,26	0,28
[12,0 ; 13,0]	: 5607	0,00	0,00	0,15	0,18
[13,0 ; 14,0]	: 10667	0,00	0,00	0,18	0,17
[14,0 ; 15,0]	: 17865	0,00	0,00	0,22	0,21
[15,0 ; 15,5]	: 11762	0,00	0,00	0,26	0,27
[15,5 ; 16,0]	: 13804	0,00	0,00	0,30	0,31
[16,0 ; 16,5]	: 14898	0,00	0,00	0,37	0,38
[16,5 ; 17,0]	: 16110	0,00	0,01	0,46	0,47
[17,0 ; 17,5]	: 16147	0,00	0,00	0,59	0,60
[17,5 ; 18,0]	: 17601	0,01	0,02	0,82	0,83
[18,0 ; 18,5]	: 21685	0,02	0,02	1,09	1,10
[18,5 ; 19,0]	: 20012	0,00	0,01	1,32	1,34
[19,0 ; 19,5]	: 9940	0,00	0,00	1,52	1,55
[19,5 ; 20,0]	: 844	0,00	-0,04	1,56	1,63
Итого:	: 180957	0,00	0,01	0,79	0,80

4. Построение гистограмм распределений отклонений представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров по значениям оценок их экваториальных координат. На рис. 1, 2 (3, 4) представлены примеры гистограмм отклонений объектов ВК по прямому восхождению и склонению для кадров, полученных на телескопе СанТел-400 (GENON).

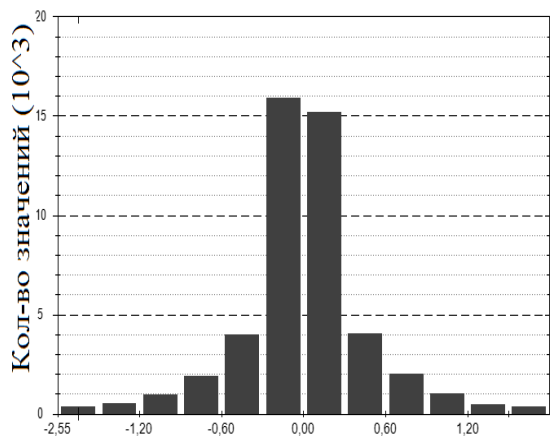


Рис. 1. Пример гистограммы отклонений объектов ВК по прямому восхождению (СанТел-400)

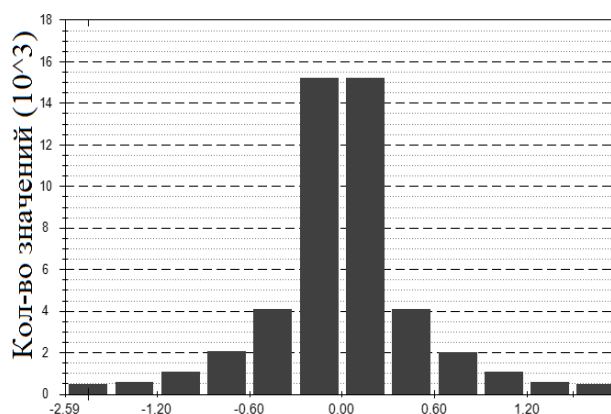


Рис. 2. Пример гистограммы отклонений объектов ВК по склонению (СанТел-400)

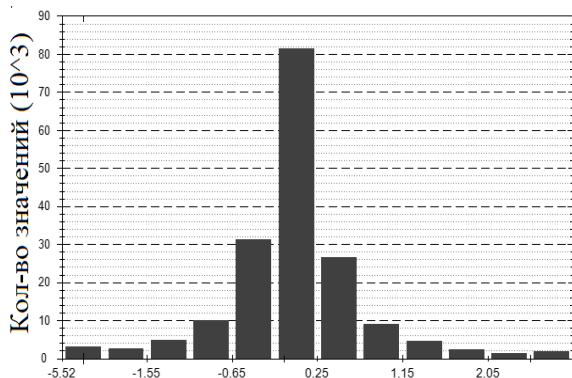


Рис. 3. Пример гистограммы отклонений объектов ВК по прямому восхождению (GENON)

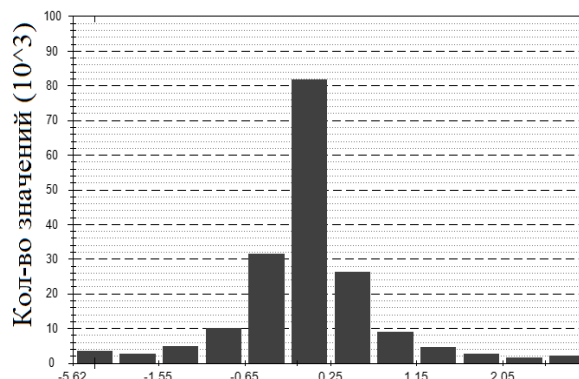


Рис. 4. Пример гистограммы отклонений объектов ВК по склонению (GENON)

5. Построение зависимостей отклонений экваториальных координат от положения и блеска представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Примеры указанных зависимостей представлены на рис. 5 – 7. На графиках (рис. 5 – 7) серыми точками отмечены единичные ПЗС-измерения; круглым маркерам соответствуют средние значения отклонений на участке анализа; треугольные маркеры ограничивают доверительный интервал, соответствующий трем сигмам (СКО).

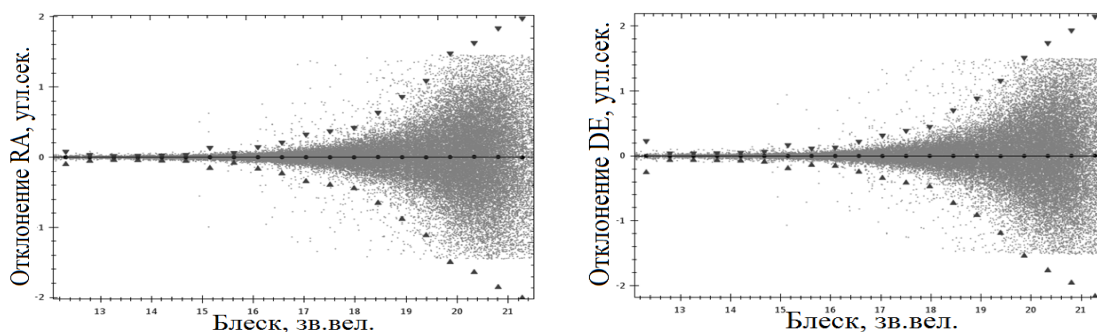


Рис. 5. Пример зависимости отклонений объектов ВК по прямому восхождению и склонению от блеска (СанТел-400)

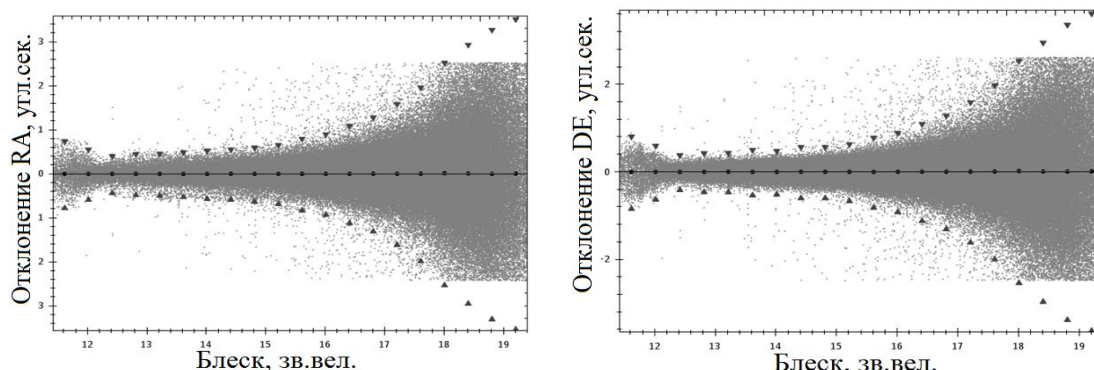


Рис. 6. Пример зависимости отклонений объектов ВК по прямому восхождению и склонению от блеска (GENON)

В работе (рис. 7) в качестве отношения сигнал – шум (ОСШ) используется отношение яркости пика изображения объекта на кадре (за вычетом фона) к СКО фона.

6. Формирование квантилей отклонений оценок координат RA, DE объектов ВК (см. табл. 5, 6). Для определения квантиля исследуемого параметра его значения предварительно упорядочиваются по возрастанию. При этом значение квантиля уровня α исследуемого параметра равно значению элемента упорядоченной совокупности (массива) значений данного параметра с номером $n_\alpha = E((\alpha \times N_{VK_mea}))$, где N_{VK_mea} – количество объектов ВК, а $E(\cdot)$ – операция выделения целого.

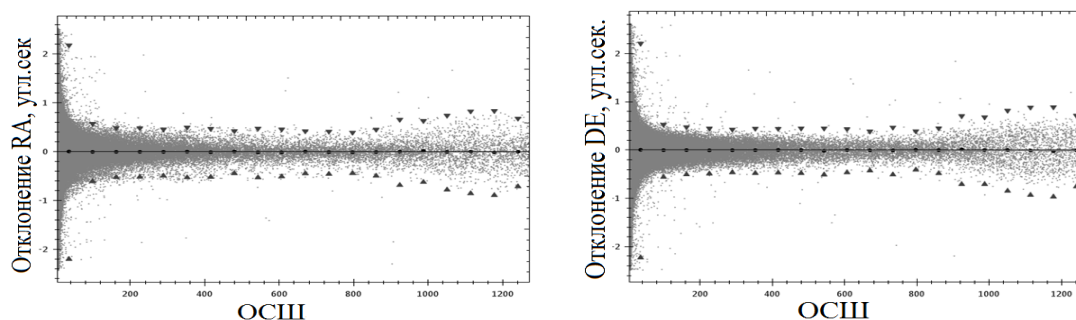


Рис. 7. Пример зависимости отклонений объектов ВК по прямому восхождению и склонению от ОСШ (GENON)

Таблица 6

Вероятность	Квантиль dRA, угл. сек.	Квантиль dDE, угл. сек.
0,500	0,155	0,160
0,750	0,425	0,444
0,800	0,518	0,537
0,850	0,637	0,660
0,900	0,803	0,827
0,950	1,048	1,099
0,990	1,490	1,513
0,995	1,570	1,599
Количество	47070	47070

Таблица 7

Вероятность	Квантиль dRA, угл. сек.	Квантиль dDE, угл. сек.
0,500	0,263	0,259
0,750	0,605	0,600
0,800	0,742	0,739
0,850	0,932	0,932
0,900	1,213	1,223
0,950	1,678	1,704
0,990	2,498	2,562
0,995	2,704	2,776
Количество	180957	180957

7. Определение количества отклонений объектов ВК, превысивших критические значения, и частоты появлений этих отклонений в каталоге объектов, неподвижных на серии кадров. Примеры распределений измерений с критическими значениями, полученные в ходе исследований, проведенных на телескопах СанТел-400 и GENON, представлены в табл. 8 – 11.

Таблица 8

Отклонение по:	Общее количество	Отклонения <1"	Отклонения <2"	Отклонения <3"	Отклонения <4"	Отклонения >=4"
% RA	100	93,4	6,5	0,1	0,0	0,0
Кол-во измерений	47070	43943	3058	69	0	0
% DE	100	92,6	7,2	0,2	0,0	0,0
Кол-во измерений	47070	43603	3393	74	0	0

Таблица 9

Отклонение по:	Общее количество	Отклонения <1"	Отклонения <2"	Отклонения <3"	Отклонения <4"	Отклонения >=4"
% Измерений	100	84,8	14,2	0,9	0,0	0,0
Кол-во измерений	47070	39918	6706	439	0	0

Таблица 10

Отклонение по:	Общее количество	Отклонения <1"	Отклонения <2"	Отклонения <3"	Отклонения <4"	Отклонения >=4"
% RA	100	85,7	10,4	2,9	0,8	0,2
Кол-во измерений	180957	155083	18797	5337	1407	333
% DE	100	85,7	10,3	3,0	0,9	0,2
Кол-во измерений	180957	155020	18557	5447	1604	329

Таблица 11

Отклонение по:	Общее количество	Отклонения <1"	Отклонения <2"	Отклонения <3"	Отклонения <4"	Отклонения >=4"
% Измерений	100	74,5	16,2	6,2	2,6	0,5
Кол-во измерений	180957	134784	29332	11248	4687	905

8. Составление отчета с результатами исследований статистических характеристик оценок параметров представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров. Разработанный метод автоматического определения статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров, реализован в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe [20, 21]. В качестве измеренных значений SSOAnSe может использовать измерения, сформированные на серии кадров с помощью программ обработки кадров астероидных обзоров, а так же различных сервисов. В настоящее время научно-исследовательский программный инструмент используется для оценки характеристик работы ПО CoLiTec [5, 23, 24].

Выводы

Разработан метод автоматического исследования статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров. В качестве источников данных в методе используются измерения положений представителей внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров, сформированные на серии кадров с помощью ПО CoLiTec [5, 23, 24] или других программных продуктов обработки CCD-кадров.

Разработанный метод позволяет автоматически анализировать такие статистические характеристики измерений, как оценки среднеквадратического отклонения σ_{α} (9), σ_{δ} (10) и среднее отклонение $\bar{\Delta}_{\alpha}$ (6), $\bar{\Delta}_{\delta}$ (7) между измеренными значениями экваториальных координат серии кадров. Метод реализован в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe [21, 22, 29] – первом инструменте с подобными функциями.

Научная новизна разработанного метода заключается в расширении множества подвыборок, на которых исследуются статистические характеристики измерений объектов ВК.

Практическая полезность работы заключается в дополнении научно-исследовательского программного инструмента SSOAnSe методом автоматического определения статистических характеристик оценок параметров объектов, неподвижных на серии кадров. При этом SSOAnSe позволяет на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров проводить анализ, включая оперативный, статистических характеристик оценок положений объектов ВК.

Список литературы: 1. *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. – pp 1-18.* 2. *Ericson J. Asteroids, comets, and meteorites. Cosmic Invaders of the Earth // New York: Fact on File.– 2003.* 3. *Ory, M. THE MOROCCO OUKAIMEDEN SKY SURVEY, THE MOSS TELESCOPE [Текст] / M. Ory, A. Daassou, F. Colas, et.al. // Asteroids, Comets, Meteors – 2012.* 4. *Savanevych, V. E A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, N. S. Sokovikova, M. M. Bezkrivny, 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. – Т. 451 (3). – С. 3287-3298.* 5. *Свід. про реєстр. авт. права № 47290. Україна. Комп'ютерна програма «Програма автоматизованого відкриття астероїдів та комет на серії ПЗС-кадрів CoLiTec» / В. Є. Саваневич, О. Б. Брюховецький, О.М. Кожухов, Є.М. Діков, В.П. Власенко, Л.В. Єленін, М.М. Безкривний, О.Б. Анненков, О.В. Герасименко — прийнято 21. 01. 13.* 6. *Саваневич В.Е., Брюховецький А. Б., Кожухов А. М. и др. Програма CoLiTec автоматизованого виявлення небесних тел со слабым блеском // Космічна наука і технологія. – 2012. – Т.18. – №1. – С. 39 – 46.* 7. *Дихтяр Н. Ю. Метод отождествления астрономических измерений CCD-кадра с формулярами звездного каталога / 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.* 8. *Lang D., Hogg D.W., Mierle K. et. al. Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images // Astron.J.139:1782 – 2010 – P. 1782 -1800.* 9. *Lang D., Hogg D. W., Jester S. et. al. Measuring the undetectable: Proper motions and parallaxes of very faint sources // The Astronomical Journal, Volume 137, Issue 5, 2009. – P. 4400-4411.* 10. *Hogg D. W. 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. *Дихтяр Н. Ю. 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. – 2015. – Вип. 9(134). – С. 24 – 29.* 12. *Everitt B. S., Landau S., Leese M., Stahl D. Cluster Analysis // John Wiley & Sons, 2011 – p. 346.* 13. *Nigsch F., Bender A., Buuren B. et al. Melting Point Prediction Employing k -Nearest Neighbor Algorithms and Genetic Parameter Optimization Journal of Chemical Information and Modeling – J CHEM INF MODEL , vol. 46, no. 6, , 2006 – pp. 2412-2422.* 14. *Hall P., Park B. U., Samworth R. J. CHOICE OF NEIGHBOR ORDER IN NEAREST-NEIGHBOR CLASSIFICATION The Annals of Statistics 2008, Vol. 36, No. 5, 2135–2152.* 15. *Bremner D., Demaine E., Erickson J. et al. Output-Sensitive Algorithms for Computing Nearest-Neighbour Decision Boundaries // Algorithms and Data Structures Lecture Notes in Computer Science Volume 2748, 2003, pp 451-461.* 16. *Kuhn H. W. The Hungarian method for the assignment problem // Naval Research Logistics Quarterly. 1955, 2(1-2), pp. 83-97.* 17. *Burkard R. E., Dell'Amico M., Martello S. Assignment Problems // Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM, 3600 Market Street, Floor 6, Philadelphia, PA 19104), 2009 – p. 382.* 18. *Wright M. B. Speeding up the Hungarian algorithm M. B. Wright Computers and Operations Research archive Volume 17 Issue 1, 1990 p. 95-96.* 19. *Cope J. S., Remagnino P. Utilizing the hungarian algorithm for improved classification of high-dimension probability density functions in an image recognition problem / J. S. Cope, P. Remagnino // ACIVS'12 Proceedings of the 14th international conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems Springer-Verlag Berlin, Heidelberg – 2012 – p. 268-277.* 20. *Безкривний М. М. Методи дослідження статистических характеристик CCD-вимірювань положень і блеска об'єктів сонячної системи / М. М. Безкривний, А. Н. Дашкова, Н. С. Соковикова, В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецький // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2/2(22). – С. 26 – 37.* 21. *Мовсесян Я.С. Метод дослідження показателів точності оцінок положення опорних звезд CCD-кадрів / Я.С. Мовсесян, А.Н. Дашкова, В.Е. Саваневич, Н.Ю. Дихтяр, А.В. Погорелов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Вып. 69. – X., 2015. – С. 189-199.* 22. *Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика / А.И. Кобзарь– М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.* 23. *Саваневич В.Е. Сравнительный анализ показателей точности ПЗС-измерений малых тел Солнечной системы программными обеспечениями CoLiTec и Astrometrica / В.Є. Саваневич, А. Б. Брюховецький, Ю.Н. Иващенко, И.Б. Вавилова, М. М. Безкривний, Е.Н. Диков, В.П. Власенко, Н.С. Соковикова, Я. С. Мовсесян, А.В. Погорелов, С. В. Хламов // 15-а українська конференція з космічних досліджень, 24–28 серпня 2015 р. : зб. матер. конф. – Одеса, 2015. – С. 167.* 24. *Молотов И.Е. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений. / И.Е. Молотов, В.М. Агапов, В.В. Куприянов и др. // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. – 2009. – №219, вып. 1. – С. 233–248.* 25. *Астрономия и телескопостроение [Электронный ресурс] – режим доступа www/URL: <http://astronomer.ru/publications.php?act=view&id=17> – Загл. с экрана.* 26. *Телескопы Genon [Электронный ресурс] – режим доступа www/URL: <http://www.genon.info/ru/> – Загл. с экрана.* 27. *Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии / Киселев А.А. – М. : Наука. Гл. ред. физ-мат. лит, 1989. – 264 с.* 28. *Дихтяр Н.Ю. Аналитические выражения отклонений между оценками положений небесных объектов в задаче отождествления CCD-кадра / Н.Ю. Дихтяр, Я.С. Мовсесян, С.В. Хламов, В.Е. Саваневич // Вісник НТУ «ХП» – 2015 – Т. 14(1123) – С. 21-28.* 29. *Свід. про реєстр. авт. права № 60021. Україна. Комп'ютерна програма «Програмне забезпечення для дослідження статистических характеристик CCD-вимірювань положення і блиску об'єктів Сонячної системи SSOAnSe» / М.М. Безкривний, А.М. Дашкова, В. Є. Саваневич, О. Б. Брюховецький, С.В. Хламов, А.В. Погорелов, Н.С. Соковикова, Я.С. Мовсесян. – прийнято 04. 06. 15.*

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 20.03.2016