

УДК 004.853



А.В. Погорелов<sup>1</sup>, В.Е. Саваневич<sup>2</sup>, А. Б. Брюховецкий<sup>3</sup>, С.Г. Удовенко<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, pogartem@rambler.ru;

<sup>2</sup>УжНУ, г. Ужгород, Украина, vadym@savanevych.com;

<sup>3</sup>НЦУИК, г. Киев, Украина, izumsasha@gmail.com;

<sup>4</sup>ХНЭУ, г. Харьков, Украина, serhiy.udovenko@hneu.net

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПАКТНЫХ ГРУПП ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье предложен метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких астрономических объектов. В методе используется надпиксельная гауссова модель. Для сокращения вычислительных затрат осуществляется предварительный анализ изображений локальных объектов на общем астрономическом изображении. Вычислительный алгоритм метода используется в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec. Предложенный метод сегментации позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов.

ЦИФРОВОЙ КАДР, АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, КОМПАКТНАЯ ГРУППА, СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Погорелов А.В., Саваневич В.Е., Брюховецкий А.Б., Удовенко С.Г. Обчислювальний метод сегментації зображень компактних груп об'єктів на цифрових астрономічних зображеннях. У статті запропоновано метод сегментації компактних груп статистично залежних зображень близьких астрономічних об'єктів. У методі використовується надпиксельна гаусова модель. Для скорочення обчислювальних витрат здійснюється попередній аналіз зображень локальних об'єктів на загальному астрономічному зображенні. Обчислювальний алгоритм методу використовується в програмному комплексі автоматизованого виявлення астероїдів та комет CoLiTec. Запропонований метод сегментації дозволяє підвищити точність оцінки положення астрономічних об'єктів.

ЦИФРОВИЙ КАДР, АСТРОНОМІЧНЕ ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ, КОМПАКТНА ГРУПА, СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС

Pohorelov A.V., Savanevych V. E., Briukhovetskyi O. B., Udovenko S.G. Computational method for segmenting images of compact groups of objects on digital astronomical images. The method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close astronomical objects is proposed in the article. The method uses an over-the-pixel Gaussian model. To reduce computational costs, a preliminary analysis of images of local objects on a common astronomical image is carried out. The computational algorithm of the method is used in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec. The proposed method of segmentation makes it possible to improve the accuracy of estimating the position of astronomical objects.

DIGITAL PICTURE, ASTRONOMICAL DIGITAL IMAGE, COMPACT GROUP, IMAGE SEGMENTATION, SOFTWARE COMPLEX

### Введение

Значительная часть астрономических изображений формируется обзорными астрономическими телескопами [1, 2]. Данный класс телескопов, как правило, характеризуется широким полем зрения и малой апертурой при высокой проникающей способности [3]. Указанные особенности оптических систем и удаленность наблюдаемых небесных объектов (в частности, звезд и астероидов) зачастую приводят к пересечению изображений нескольких близких объектов на цифровом кадре. В то же время большинство методов определения положений объектов на цифровом астрономическом изображении позволяют оценивать положение только изображений одиночных объектов [4], а не изображений компактных групп [5]. Для оценки положения изображений компактных групп объектов целесообразно осуществлять их предварительное разделение на совокупность изображений одиночных объектов. Цифровые астрономические изображения являются полутоновыми

[6, 7]. Для сегментации изображений объектов, пересекающих изображения соседних объектов, на полутоновых изображениях чаще всего применяются статистические методы [7, 8] и методы сегментации областей [9].

Статистические методы основываются на использовании различных статистических моделей изображения [10]. В работах [11–13] предложены методы для выделения фрагментов полутоновых изображений. По сравнению с пороговыми методами [6, 7] методы статистической сегментации обеспечивают более устойчивые результаты в условиях наличия неполных данных (например, при отсутствии данных о части параметров статистической модели) [14].

В то же время астрономические изображения зачастую содержат изображения объектов, различающиеся по форме и размеру (от изображений астероидов размером в 2–3 пикселя до изображений ярких звезд размером в сотни пикселей) [1, 15]. Существенные девиации формы и размеров

изображений объектов приводят к сложности создания практически значимой статистической модели, общей для всех сегментируемых изображений [11].

Для сегментации изображений небесных объектов на цифровых кадрах также часто применяются методы, принадлежащие к классу методов сегментации областей [16–18]. Их существенным недостатком является сложность выбора оптимального порога значимости водоразделов. При обработке астрономических изображений это может привести к пропуску изображений объектов со слабым блеском и к выделению большого количества сегментов с изображениями ложных объектов.

Указанные недостатки учтены в методе сегментации изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях [19]. В качестве маркерных точек в данном методе используются пики предварительно обнаруженных изображений объектов. Сегментация изображений объектов на цифровом кадре производится последовательно для каждого стартового пикселя. Для минимизации вычислительных затрат в окрестности стартовых пикселей формируется область сегментирования с заданным размером и возможностью ее адаптивного увеличения. Для уменьшения количества обрабатываемых данных и повышения показателей качества сегментации проводится модификация исходного изображения, которая включает в себя яркостное выравнивание, масштабирование, бинаризацию. При этом сегменты, выделяемые с использованием модифицированного метода сегментации, не анализируются на возможность наличия в них изображения более одного объекта [19]. В то же время, устойчивость данного метода сегментации к особенностям астрономических изображений (размытость границ выделяемых изображений, неравномерность фоновой подложки) делают целесообразным его использование для выделения сегментов, в которых возможно наличие изображений компактных групп объектов.

**Целью** настоящей работы является разработка метода сегментации статистически зависимых изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях с применением надпиксельной Гауссовой модели, позволяющей сократить вычислительные затраты.

### 1. Постановка задачи

В ходе астрономических наблюдений могут быть получены цифровые астрономические кадры (CCD-кадры), которые определяются набором яркостей пикселей в определенном диапазоне возможных значений. Изображение цифрового кадра включает в себя фоновую подложку и изображения объектов (звезд, астероидов). Изображение объекта на CCD-кадре формируется за счет попадания фотонов от этого объекта в пиксели CCD-матрицы [3, 20]. Каждый пиксель кадра содержит потенциал, пропорциональный количеству упавших на

него фотонов. При этом наблюдению доступны только группированные (объединенные) события, связанные с падением фотонов на пиксель во время экспозиции кадра. Таким образом, все события попадания фотонов в точки, принадлежащие пикселю, сливаются в событие попадания фотонов в данный пиксель. Каждый отдельный фотон не может быть отнесён к конкретному объекту или фону. На цифровом кадре возможно пересечение изображений нескольких близких объектов (объектов с близкими угловыми координатами) (рис. 1, 2). Другими словами, изображения близких объектов на цифровом кадре представляют собой статически зависимую группированную выборку событий, заключающихся в попадании фотонов в пиксели CCD-матрицы [21].

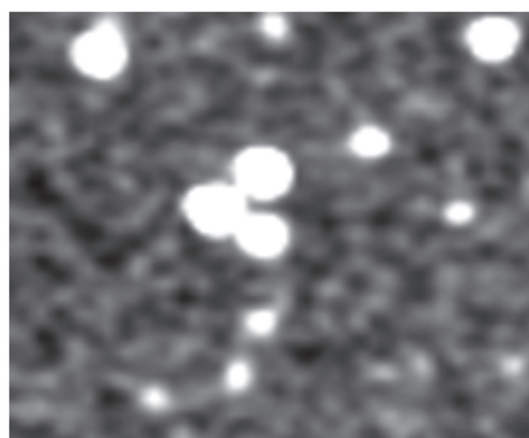


Рис. 1. Пример пересечения изображений близких объектов на цифровом кадре

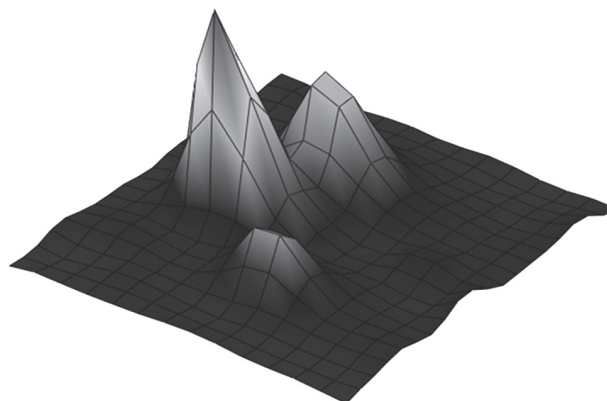


Рис. 2. Пример пересечения изображений близких объектов в 3D-представлении

Решение о разделении потенциалов (яркостей) пикселей статистически зависимых изображений между объектами (источниками излучения) принимается на этапе оценки параметров местоположения объектов на CCD-кадре [5, 21]. При этом предполагается, что принятие предварительного решения о принадлежности пикселя к одному из изображений объектов возможно уже на этапе сегментации. Будем считать, что на цифровом кадре проводится предварительное обнаружение множества изображений объектов  $\Omega_{detimg}$  с использованием известных методов обнаружения

изображений на цифровых астрономических кадрах [22]. Обнаруженным изображениям могут быть поставлены в соответствие координаты их пиков (например, пику  $j$ -го обнаруженного изображения объекта соответствуют его координаты  $(x_{pj}, y_{pj})$  в системе координат CCD-кадра).

Для каждого  $j$ -го обнаруженного изображения объекта из множества  $\Omega_{det\,img}$  может быть проведена сегментация изображений объектов на цифровых астрономических изображениях с использованием вычислительного метода сегментации изображений одиночных объектов [19]. При такой сегментации пиксели относятся либо к фону, либо к изображению сегментируемого объекта.

В результате может быть сформировано множество сегментов  $\Xi_{sobj}$ , каждый из которых характеризуется координатами  $(x_{pj}, y_{pj})$  пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность  $\Omega_{sobij}$  пикселей, выделенных в процессе сегментации изображения объекта или компактной группы объектов.

Поставим задачу разработки такого метода сегментации астрономических цифровых изображений, который позволяет сегментировать компактную группу статистически зависимых изображений близких объектов. При этом разрабатываемый метод сегментации реализуется на полутоновом изображении в рамках множества пикселей  $\Omega_{sobij}$ , а по результатам сегментации компактная группа должна быть разделена на изображения одиночных объектов.

На рис. 3 приведен пример области, содержащей изображение компактной группы из двух объектов. Пунктирной линией ограничены пиксели, выделенные с использованием метода сегментации изображений одиночных объектов [19], а белой и черной линиями – предлагаемое разделение пикселей между изображениями объектов компактной группы.

## 2. Метод сегментации астрономических цифровых изображений

В разрабатываемом методе сегментации будем использовать надпиксельную Гауссову модель изображений объектов [5]. Форма изображения объекта задается в виде двумерной гауссианы.

В рамках такой надпиксельной модели яркость пикселя изображения объекта определяется значением гауссианы в точке с координатами центра пикселя. Максимум гауссианы определяется координатами пика  $(x_{pj}, y_{pj})$ . Известно, что пик изображения  $j$ -го сегментируемого объекта  $(x_{pj}, y_{pj})$  находится в окрестности максимума гауссианы, а значения гауссианы убывают от её максимума к краям. Это позволяет считать, что яркость любого пикселя изображения исследуемого объекта может только уменьшаться при движении от центра гауссианы.

В предварительно выделенном сегменте  $\Omega_{sobij}$  может присутствовать связанное, статистически зависимое изображение компактной группы объектов, требующее разделения на изображения отдельных объектов. В изображение выделенного сегмента  $\Omega_{sobij}$  входят пиксели, принадлежащие всем изображениям объектов, составляющих компактную группу объектов со статистически зависимыми изображениями. В разрабатываемом методе пик изображения  $j$ -го сегментируемого объекта используется как стартовый пиксель для разделения изображений компактной группы. Особенности используемой модели позволяют утверждать, что при спуске от максимума гауссианы, входящей в совокупность двумерных гауссиан, наступит момент, когда значения яркости начнут возрастать, переходя от изображения одного объекта к изображению другого. Учитывая свойство монотонного убывания гауссианы при движении от центра  $j$ -го сегментируемого изображения объекта (максимума гауссианы) к его краям, возрастание яркости пикселя можно использовать как условие разделения изображений объектов компактной группы.

В связи с наличием шумов на цифровом кадре и невозможностью отнесения смежных пикселей только к одному изображению объекта допускается, что часть пикселей, значение яркости которых при движении от центра  $j$ -го сегментируемого изображения объекта возрастает, целесообразно отнести к сегментируемому изображению. Для этого введем критическое значение приращенной яркости  $\mu_{fbr}$ .

При движении от пика сегментируемого изображения указанное критическое значение



Рис. 3. Пример изображения компактной группы, состоящей из двух объектов

определяет допустимое возрастание яркости, при котором пиксель по-прежнему будет отнесен к  $j$ -му выделяемому изображению (рис. 4).

Предлагаемый вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов на цифровых изображениях основан на реализации следующей последовательности операций.

1. С использованием вычислительного метода сегментации изображений одиночных объектов [19] формируется множество сегментов  $\Xi_{sobj}$ , каждый из которых характеризуется координатами  $(x_{pj}, y_{pj})$  пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность  $\Omega_{sobij}$  пикселей выделенного в процессе сегментации изображения объекта или компактной группы объектов.

2. Формируется множество пиков, как стартовых пикселей сегментов, координаты которых входят в  $j$ -й сегмент  $\Omega_{sobij}$  [22].

3. В каждом сегменте изображения определяется количество пиков, как стартовых пикселей сегмента.

4. Если для  $j$ -го сегмента  $\Omega_{sobij}$  количество пиков, как стартовых пикселей сегментов, более 1 ( $N(\Omega_{sobij}) > 1$ ), то принимается решение, что  $j$ -й сегмент является изображением компактной группы объектов и проводится разделение изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (блоки 5–6). В противном случае, осуществляется переход к следующему сегменту кадра (блок 2).

5. Для всех стартовых пикселей  $N(\Omega_{sobij})$ , принадлежащих  $j$ -му сегменту  $\Omega_{sobij}$ , будет сформирован сегмент  $\Omega_{sobij}$ . При этом  $N(\Omega_{sobij})$  сегментов будут дублироваться во множестве  $\Xi_{sobj}$ . Для уменьшения вычислительных затрат дубликаты сегмента  $\Omega_{sobij}$  исключаются из рассмотрения, а вместо указанных  $N(\Omega_{sobij})$  сегментов используется один и тот же сегмент  $\Omega_{sobij}$ , имеющий множество стартовых пикселей (пиков)  $\theta_{peaksj}$ .

6. Для каждого  $l$ -го стартового пикселя  $j$ -го сегмента  $\Omega_{sobij}$  анализируются пиксели для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (пункт 6.1).

6.1. Осуществляется выбор очередного  $ik$ -го пикселя полутонового изображения  $j$ -го сегмента  $\Omega_{sobij}$ . Выбираемый пиксель должен соседствовать с пикселем предыдущей  $(n-1)$ -й итерации и обладать меньшим значением яркости на полутоновом изображении  $\Omega_{sobij}$ . При отсутствии данного пикселя процесс выбора завершается. Для первой итерации  $(n=1)$  в качестве  $ik$ -го пикселя выбирается  $l$ -й стартовый пиксель  $j$ -го сегмента  $\Omega_{sobij}$ .

6.1.1. Для  $ik$ -го пикселя принимается решение об отнесении его к изображению  $l$ -го объекта, если значение его яркости на полутоновом изображении  $\Omega_{sobij}$  меньше значения яркости соседнего пикселя с предыдущей  $(n-1)$ -й итерации:

$$A_{ikjn} < A_{ikjn-1}. \quad (1)$$

6.1.2. В противном случае проверяется, возрастает ли значение его яркости относительно соседнего пикселя с предыдущей  $(n-1)$ -й итерации в пределах заданного критического значения:

$$\frac{A_{ikjn-1} - A_{ikjn}}{A_{ikjn-1}} < \mu_{fbr}. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, принимается решение об отнесении  $ik$ -го пикселя к  $l$ -му изображению объекта.

После рассмотрения всех пикселей (пункт 6.1) всех сегментов  $\Xi_{sobj}$  вычислительные операции алгоритма, реализующего предложенный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов, считаются выполненными.

Сегментация изображений объектов на цифровом кадре проводится для каждого пика предварительно обнаруженного изображения объекта. На этапе выделения одиночного объекта возможность наличия в области сегментирования изображения более одного объекта не учитывается. Следовательно, изображения выделенных сегментов, полученные при сегментации со стартовым пикселем любого изображения компактной группы объектов, на этапе выделения одиночного объекта будут совпадать (рис. 5, а).

В результате работы предлагаемого метода сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов из изображения сегмента выделяются изображения одиночных объектов (рис. 5, б, в).

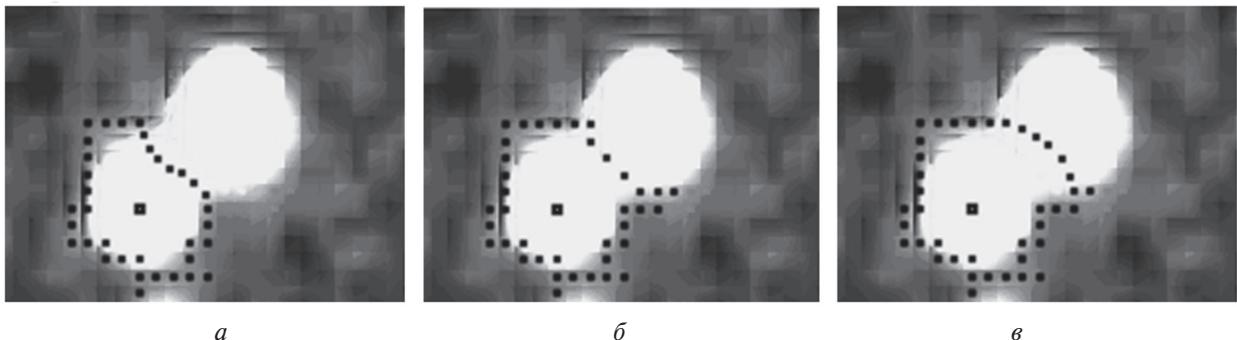
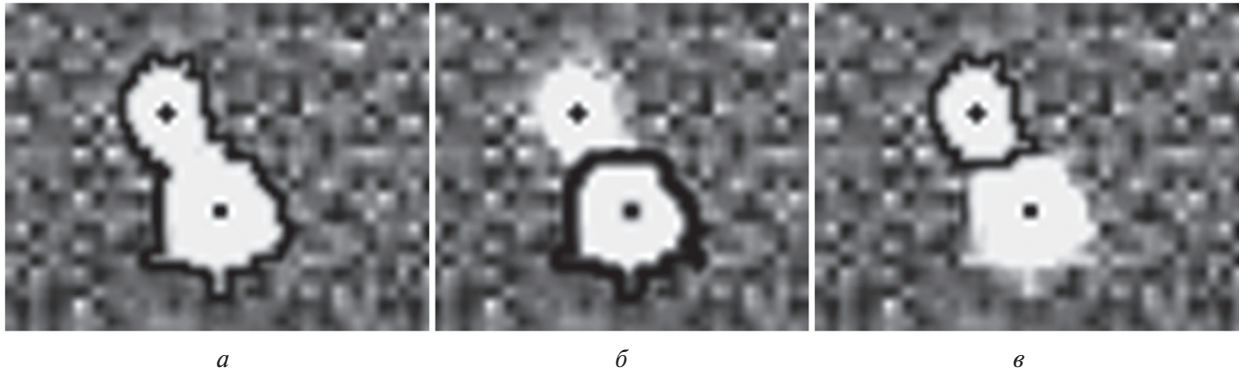


Рис. 4. Пример сегментации изображения компактной группы при различных значениях  $\mu_{fbr}$ :  
 $a - \mu_{fbr} = 0$ ;  $б - \mu_{fbr} = 0.15$ ;  $в - \mu_{fbr} = 0.4$



**Рис. 5. Изображение компактной группы объектов:**  
 а — изображение, выделенное как изображение одиночного объекта;  
 б — результат сегментации изображения *j*-го объекта;  
 в — результат сегментации изображения близкого объекта

**3. Результаты тестирования и внедрения метода сегментации**

Тестирование работы предложенного метода проводилось для сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях. В частности, разработанный метод используется для сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых кадрах в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [23]. Исследование разработанного метода сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях проводилось на цифровых кадрах, полученных с использованием 7-ми телескопов из 8-ми астрономических обсерваторий (табл. 1).

Эффективность разработанного метода подтверждена высокой точностью измерения положения объектов Солнечной системы [24, 25] и

результативностью работы программного обеспечения CoLiTec. Отметим, что с помощью CoLiTec в Центр малых планет (MPC) были переданы результаты обработки более 700 000 измерений, позволившие открыть 4 кометы и более чем 1560 астероидов (в частности, 21 Троянский астероид Юпитера, 5 НЕО и 1 кентавр).

Выделение изображений компактных групп только в предварительно выделенных сегментах (блок 1) и определение количества объектов в выделенных сегментах (блоки 3,4) позволило снизить количество анализируемых пикселей в 16 – 1000 раз (для кадров, полученных с использованием телескопов OMT-800 и Genon соответственно) (табл. 2). В случае же отсутствия (блоки 3,4) на цифровом кадре изображений компактных групп объектов (цифровые кадры телескопа VNT), попытка их сегментации не проводилась.

**Таблица 1**

Технические характеристики используемых телескопов

Observatory	ISON-Uzhgorod Observatory		Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO)	ISON-NM Observatory	Станция Маяки	Частная обсерватория Ananjev	Vihorlatská hvězdáreň Observatory	КрАО
MPC code	K99		—	H15	583	L33	—	095
Telescope	ChV-400	BRC-250M	PlaneWave-CDK24 (Promt8)	Centurion 18	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Aperture, sm	40	25	61	45.5	80	25.4	100	30
CCD-camera	FLI PL09000	Apogee Alta U9	Apogee F42	FLI ML09000-65	MicroLine 9000	ATIK-314L	FLI	FLI PL 16803
Resolution, pix	3056 x 3056	3072 x 2048	2048 x 2048	3056 x 3056	3056 x 3056	1391 x 1039	512 x 512	4096 x 4096
Pixel size, μm	12	9	13.5	12	12	6.45	48	9
Scale, “	1.42	1.46	0.66	1.94	1.15	1.11	1.10	4.17
Focus	1732	1269	4201	1270	2139	1193	8923	444
Проницающая	16.6	17.8	18.7	19.7	18.8	18.2	17.8	16.5

Таблица 2

Количество пиков и пикселей в изображениях объектов на цифровых кадрах

Телескоп	Promt8	Centurion 18	ChV-400	BRC-250M	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Размер кадра	2048x 2048	3056x 3056	3056x 3056	3073x 2048	3056x 3056	1391x 1039	512x 512	4096x 4096
Всего сегментов	14707	33664	21212	15479	14607	7265	509	59499
Всего пикселей во всех сегментах	169552 (4%)	564461 (6%)	740252 (8%)	191631 (0.3%)	1671053 (17%)	172956 (12%)	7354 (2.8%)	838123 (0.3%)
Всего сегментов более 2-х пиков	255 (1.7%)	364 (1%)	170 (0.8%)	171 (1.1%)	2573 (17.6%)	91 (1.2%)	0 (0%)	238 (0.4%)
Всего пикселей в сегментах с более 2-мя пиками	38747 (0.9%)	76432 (0.8%)	135823 (1.4%)	41921 (0.6%)	561956 (6%)	4992 (0.3%)	0 (0%)	27800 (0.1%)

Предложенный вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов. Практическое применение этого метода сегментации обеспечило в среднем для 7% объектов, выделенных на кадре, среднее снижение СКО оценки положения на 30%.

### Выводы

В статье разработан вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов на цифровых изображениях. Основу этого метода составляет надпиксельная Гауссова модель изображений объектов. В рамках данной модели компактная группа объектов со статистически зависимыми изображениями рассматривается как объединение совокупности двумерных гауссиан. Для минимизации вычислительных затрат сегментация изображений компактных групп проводится в сегментах, выделенных предварительно с использованием сегментации изображений одиночных объектов.

Для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов проводится анализ пикселей каждого выделенного сегмента. Одним из параметров предложенного метода сегментации изображений рассматриваемого типа является критическое значение приращения яркости. При движении от пика сегментируемого изображения указанное критическое значение определяет допустимое возрастание яркости, при котором пиксель целесообразно отнести к рассматриваемому сегменту изображения объекта.

Научной новизной разработанного метода является:

- выделение изображений компактных групп только в сегментах, предварительно определенных с использованием сегментации одиночных объектов, что позволило провести сегментацию изображений компактных групп объектов с вычислительными затратами, близкими к минимальным;

- предварительное определение количества изображений объектов, входящих в изображение компактной группы, что позволило решать задачу разделения исходного изображения на изображения конкретных объектов (при известном числе объектов);

- использование свойств надпиксельной гауссовой модели, что позволило провести разделение изображения компактной группы на изображения конкретных объектов.

Разработанный метод сегментации изображений компактных групп астрономических объектов применяется в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [23].

**Список литературы:** 1. Злобин В. К. Обработка аэрокосмических изображений / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с. 2. Pankaj J. An introduction to astronomy and astrophysics/Pankaj Jain. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 341 p. 3. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии / А.А Киселев. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1989. – 264 с. 4. Mighell K.J. Algorithms for CCD Stellar Photometry. Astronomical Data Analysis Software and Systems / K.J. Mighell; ed. D. V. Mehringer, R. L. Plante, D.A. Roberts // VIII ASP Conference Series. – 1999. – P. 317 – 328. 5. Соковикова Н.С. Оценка координат близких астероидов на ПЗС-изображении / Н.С. Соковикова, В.Е. Саваневич, М.М. Безкровный, С.В. Хламов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4/4(64). – С. 41 – 45. 6. Burger W. Principles of Digital Image Processing / W. Burger, M.J. Burge. – Berlin: Springer-Verlag, 2009 – 253p. 7. Gonzalez R.C. Digital Image Processing / R.C Gonzalez, R.E.Woods Prentice Hall. – 2008 – 954p. 8. Melih S. A. Probabilistic and Geometric Shape Based Segmentation Methods, University of Louisville. – 2012. – 304 p. 9. Fu K. A survey on image segmentation / K. Fu, J. Mui // Pattern Recognition. – Vol. 13, Iss.1, – 1981. – P. 3-16. 10. Rosenfeld A. Image pattern recognition / A. Rosenfeld // Proceedings of IEEE, 69(5). – 1981. – P. 596-605. 11. Ren X. Probabilistic Multi-scale Model for Contour Completion Based on Image Statistics / X. Ren, J. A. Malik // ECCV'02, Copenhagen. – Vol.1, 2002. – P. 312-327. 12. Kang C. A novel edge detection method based on the max-imizing objective function / C. Kang, W. Wang // Pattern. Recog, – Vol. 40, – 2007. – P. 609-618. 13. Rebordao J. V. Lookup table loadings for image processing with controlled

knots / J.V. Rebordao // Computer vision, graphics and image processing. – 1989. – v. 47, №2. – P. 189 – 202. **14.** Бочаров П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин – М: Физматлит. – 2005. – 296 с. **15.** Howell S.B. Handbook of CCD Astronomy / S. J. Howell // Cambridge University Press. – 2000. – P. 164. **16.** Lahouaoui L. A comparative study of Image Region-Based Segmentation Algorithms / Т.Мохамеди, L. Lahouaoui // IJACSA – Vol. 4(6) – 2013. P. 119 – 127. **17.** Krishnan G. Region Based Segmentation Algorithm for Remote Sensing Image Based on Heterogeneity of Objects / G. Krishnan, A. Tholkappia // MEJSR - Vol. 23 (7) – 2015 – P. 1375-1378. **18.** Manohar K. Review on Techniques of Image Segmentation / K. Manohar, A. S Patil // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering // IJARCC - Vol. 5(3) – 2016. – P. 201 – 209. **19.** Погорелов А. В. Сегментация изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях / А. В. Погорелов, В. Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, – Харьков: ХАИ . – 2017. – № 76. – С. 170-191. **20.** Piprek J. CCD Astronomy: Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis / J. Piprek // Springer Science & Business Media, – 2005. – P 452. **21.** Саваневич В.Е. Определение координат статистически зависимых объектов на дискретном изображении // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 1. – С. 4–8. **22.** Саваневич В. Е. Метод предварительного обнаружения сигналов от небесных объектов на цифровом изображении / В.Е. Саваневич, А.М. Кожухов, А.Б. Брюховецкий // Системи озброєння та військова техніка. – Харків: ХУПС, – 2011. – Вип. 2(26). – С. 169 – 173. **23.** Саваневич В.Е. Программа CoLiTec автоматизированного обнаружения небесных тел со слабым блеском / В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, Е. Н. Диков, В. П. Власенко // Космічна наука і технологія. – 2012. – т.18. – №1. – С. 39 – 46. **24.** 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. Bezukrovny, 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. **25.** Savanevych V. E. Comparative analysis of the positional accuracy of CCD measurements of small bodies in the solar system software CoLiTec and Astrometrica / V. E. Savanevych, A. B. Briukhovetskiy, Yu. N. Ivashchenko, I. B. Vavilova, M. M. Bezukrovny, E. N. Dikov, V. P. Vlasenko, N. S. Sokovikova, Ia. S. Movsesian, N. Yu. Dikhtyar, L. V. Elenin, A. V. Pohorelov, S. V. Khlamov // Kinematics and Physics of Celestial Bodies – 2015. – Т. 31 (6). – P. 302-313.

## Resume

A.V. Pohorelov, V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, S.G. Udovenko

### COMPUTATIONAL METHOD FOR SEGMENTING IMAGES OF COMPACT GROUPS OF OBJECTS ON DIGITAL ASTRONOMICAL IMAGES

*Background:* Most methods for determining the positions of objects on a digital astronomical image allow one to evaluate the position of only images of single objects, rather than images of compact groups. To assess the position of images of compact groups of objects, it is expedient to carry out their preliminary division into a set of images of single objects.

*Materials and methods:* In this work, we use an over-pixel Gaussian model of image objects. Within the framework of this model, a compact group of objects with statistically dependent images is considered as a union of a set of two-dimensional Gaussians. To minimize computational costs, the segmentation of images of compact groups is carried out in segments selected in advance using image segmentation of single objects. In the method being developed, the peak of the image of the segmented object is used as the starting pixel for dividing the images of a compact group.

*Results:* In accordance with the proposed method, the segmentation of images of objects on a digital frame is performed for each peak of the previously detected image of the object. At the stage of isolating a single object, the possibility of having more than one object in the segmentation area of the image is not taken into account. Therefore, the images of the selected segments, obtained when segmenting with the start pixel of any image of a compact group of objects, will coincide at the stage of selecting a single object. One of the parameters of the proposed method of segmentation of images of the type under consideration is the critical value of the brightness increment. When moving from the peak of the segmented image, the specified critical value determines the permissible increase in brightness, at which the pixel is expediently attributed to the considered image segment of the object.

As a result of the proposed method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close objects, images of single objects are extracted from the image of the segment. Testing of the method was carried out for segmentation of images of compact groups of objects on digital astronomical images. In particular, the developed method is used for segmenting images of compact groups of objects on digital frames in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec.

*Conclusion:* The paper proposes a computational method for segmenting compact groups of statistically dependent local images of close objects on digital images. It is essentially new in the work to isolate images of compact groups only in segments preliminarily determined using segmentation of single objects. This allows us to segment images of compact groups of objects with computational costs close to minimal.

Поступила в редколлегию 13.09.2017