

УДК 004.932.72'1:519.254:520.88

А. В. ПОГОРЕЛОВ¹, В. Е. САВАНЕВИЧ², А. Б. БРЮХОВЕЦКИЙ³

¹ *Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина*

² *Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина*

³ *Западноукраинский центр космических исследований Государственного космического агентства Украины, Мукачево, Украина*

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье предложен метод сегментации протяженных изображений объектов на цифровых астрономических изображениях. Для сокращения вычислительных затрат предложенный метод используется только в областях, выделенных на цифровых изображениях вычислительным методом сегментации изображений одиночных объектов. Пиксели выделенных областей анализируются на наличие в них изображений компактных групп объектов и фрагментов протяжённого изображения. Производится попытка объединения последних в цельное протяженное изображение. Принятие решения о наличии протяженного изображения выполняется с использованием двух критериев: оценки эксцентриситета и отношении между количеством пикселей, выделенных в предположениях о компактной группе и протяженном изображении.

Ключевые слова: сегментация, цифровое изображение, фоновая подложка, небесный объект, астрономические наблюдения, аномальные пиксели.

Введение

В процессе проведения астрономических наблюдений телескоп чаще всего находится в одном из двух режимов – в неподвижном режиме или в режиме суточного ведения [1]. В режиме суточного ведения опорно-поворотное устройство телескопа движется со скоростью, компенсирующей суточное вращение Земли [2]. Изображения звезд, формирующиеся на цифровом кадре, представляют собой точечные объекты. Изображение движущихся объектов, находящихся на больших расстояниях от Земли, ничем не отличается от изображения звезд [3]. Однако при длительном времени экспозиции или при высокой скорости движущегося объекта его изображение смазывается за счет собственного движения [2].

К таким объектам относятся объекты как искусственного происхождения (спутники) так и естественного – метеоры, кометы и астероиды, сближающиеся с Землей [4]. Последние представляют потенциальную опасность для Земли, что делает актуальной сегментацию протяжённых изображений на цифровом кадре.

Анализ литературы

Тема сегментации изображений широко освещена во множестве литературных источников, включая научные публикации.

Описанные методы отображают различные подходы как к представлению исходных изображений [5], так и к методам выделения изображений сегментируемых объектов. В задаче сегментации астрономических изображений [6] наиболее часто применяются пороговые [7, 8] методы и методы сегментации областей [7, 9].

Пороговые методы сегментации и их модификации рассмотрены в работах [10÷12]. В рамках пороговых методов сегментации задается критическое значение яркости, относительно которого все пиксели изображения разбиваются на множество пикселей, отнесенных к изображениям объектов, и множество пикселей, отнесённых к фону [7]. Основным недостатком пороговых методов является зависимость результатов сегментации от распределения яркости сегментируемого изображения. В большинстве случаев астрономические изображения предполагают наличие объектов с разной яркостью на неравномерно распределённом фоне [13], что приводит к невозможности выбора оптимальной величины критического значения сегментации.

Методы сегментации областей [7, 9] и их модификации рассмотрены в работах [14÷16]. Как показано в работе [14], для ранее рассмотренных методов практически нерешаемой задачей является выбор порога значимости водоразделов. Проведение сегментации с заниженным пороговым значением [15] вызывает большую избыточность незначимых контуров. В тоже время, задание завышенного поро-

гового значення приводить до злиття областей, що належать до зображень різних об'єктів [15, 16]. Обробка астрономічних зображень методами сегментації областей при наявності вказаних недоліків призведе як до пропуску зображень об'єктів з слабким блиском (при заданні завищеного порога), так і до сегментації великої кількості ложних зображень об'єктів.

Описані недоліки можуть бути усунені при проведенні сегментації з заздалегідь відомим розташуванням і кількістю сегментуваних об'єктів. Вказаний підхід використано в роботі при розробці методу сегментації зображень одиночних об'єктів на цифрових кадрах [17]. Як початкові пікселі в роботі використовуються піки попередньо виявлених зображень об'єктів. З використанням заданого порогового значення в околицях початкових пікселів формується область сегментування, адаптивно збільшувана в процесі сегментації.

Однак отримані сегменти не аналізуються на можливість об'єднання їх в єдиний сегмент, рівно як і не визначається тип отриманого зображення (зображення одиночного об'єкта, компактного групу об'єктів, витягнутого зображення). Це є суттєвим недоліком методу сегментації [17]. В той же час, стійкість роботи методу [17] при сегментації астрономічних зображень робить цілорозумним його використання для попереднього виділення досліджуваних сегментів на цифровому зображенні.

Цілью даної роботи є розробка висхідного методу сегментації зображень витягнутих об'єктів на цифрових зображеннях.

Постановка задачі

В результаті астрономічних спостережень отримано цифровий астрономічний кадр (CCD-кадр) [13]. Зображення цифрового кадру містить фонову підложку, зображення нерухомих об'єктів (зірок) і небесних об'єктів з ненульовим видимим переміщенням в часі експозиції. З огляду на переміщення об'єкта, його зображення на цифровому кадрі стає витягнутим (розтягнутим) вздовж напрямку видимого руху (рис. 1).

Витягнуте зображення на цифровому кадрі, як правило, фрагментоване. В даній роботі під фрагментом зображення розуміється частина витягнутого зображення, яскравість якої монотонно зменшується від піку фрагмента до його країв. Під сегментом витягнутого зображення розуміється множина об'єднаних зображень фрагментів. Ціль-

не витягнуте зображення є об'єднанням всіх сусідніх сегментів (фрагментів).

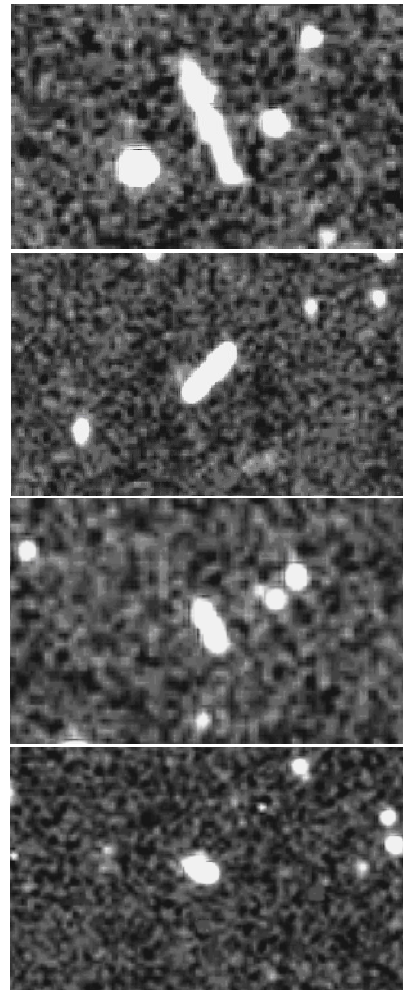


Рис. 1. Типові витягнуті зображення на цифрових кадрах

Кількість і розмір фрагментів залежить від умов спостереження, так і від шляху, який проходить об'єкт за час експозиції (рис. 2). З огляду на рівномірне переміщення об'єкта в часі експозиції перепади яскравості між піками фрагментів витягнутого зображення, в більшості випадків, незначительні. Витягнуте зображення може мати таку ж яскравість, як і зображення інших небесних об'єктів на цифровому кадрі.

Вивчення причин фрагментарності витягнутих зображень лежить за межами даних досліджень. Однак очевидно, що фрагментарність витягнутих зображень викликана, в тому числі, турбулентністю атмосфери [2, 3, 6]. Яскравість меж між фрагментами витягнутого зображення зазвичай суттєво перевищує яскравість фонову підложку [2, 13].

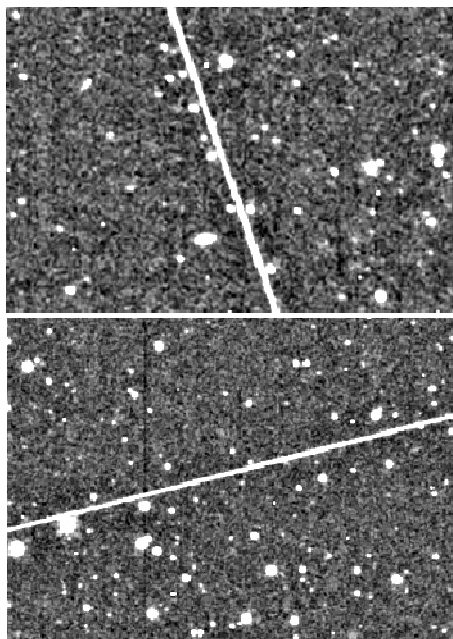
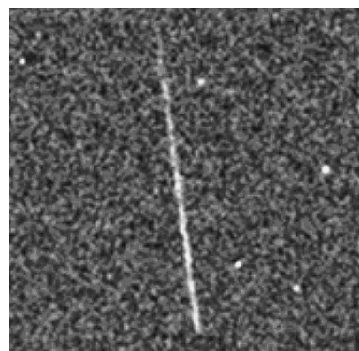


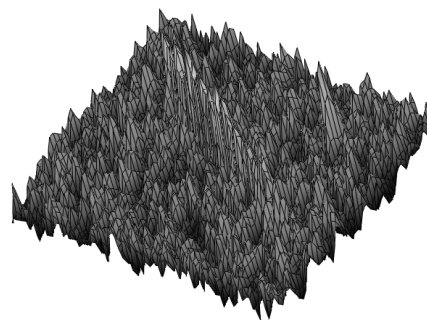
Рис. 2. Изображения искусственного спутника Земли на цифровых кадрах

Особым подклассом изображений объектов с ненулевой скоростью видимого перемещения являются изображения объектов, обладающих высокой скоростью собственного движения. К таким объектам, прежде всего, относятся метеоры. Для наблюдения указанного класса объектов, в основном, применяются высокоскоростные камеры с низкой пронающей способностью [18]. Наблюдение представляет собой непрерывный видеоряд, где время экспозиции отдельного цифрового кадра составляет всего десятки миллисекунд. Высокая скорость собственного движения и малое время экспозиции приводят к тому, что изображения данного подкласса, изображения объектов с большим видимым перемещением за время экспозиции состоят из пикселей с низким отношением сигнал/шум [7]. В свою очередь последнее приводит к сильной фрагментарности получаемых протяженных изображений данного подкласса (часто состоят более чем из 10 фрагментов). При этом значение яркости границ между фрагментами изображения данного подкласса, в ряде случаев, является близким к уровню яркости фоновой подложки (рис. 3)

С использованием известных методов обнаружения изображений [19] на цифровом кадре проведено предварительное обнаружение множества изображений объектов $\Omega_{det\ img}$. Каждому обнаруженному изображению поставлены в соответствие координаты его пика. Для пика j -го обнаруженного изображения объекта известны его координаты (x_{pj}, y_{pj}) в системе координат CCD-кадра.



а



б

Рис. 3. Изображение метеора:
а – на цифровом кадре; б – 3D представление

Для каждого j -го обнаруженного изображения объекта из множества $\Omega_{det\ img}$ проведена сегментация изображений объектов. В результате сформировано множество сегментов Ξ_{sobj} , каждый из которых характеризуется координатами (x_{pj}, y_{pj}) пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность Ω_{sbobjj} пикселей, выделенных в процессе сегментации изображения объекта, компактной группы объектов или протяжённого изображения.

В описанных выше условиях необходимо разработать метод сегментации цифровых астрономических изображений, который позволяет сегментировать протяженное изображение (например, изображение астероида, смазанное его собственным движением), в том числе возможно предварительно фрагментированное на совокупность близко расположенных сегментов. В результате использования разрабатываемого метода сегментации фрагменты протяженного изображения должны быть объединены в единое протяженное изображение.

Разработка вычислительного метода сегментации протяженных изображений объектов на цифровых изображениях

На этапе выделения изображения объекта [17], информация о типе изображения, сегментируемого со стартовым пикселем в пике j -го изображения

объекта, отсутствует. Выделенный на кадре пик может принадлежать одному из трех типов изображений объектов: одиночному [17], изображению компактной группы [20], протяженному изображению. Следовательно, изображение сегмента Ω_{sbobjj} , в который входит более одного выделенного пика, может содержать или фрагменты протяженного изображения, или статистически зависимое изображение компактной группы объектов [20, 21].

В связи с этим, принятие решения о типе сегментированного изображения предлагается проводить на основании различия между результатами сегментации обоих типов изображений объектов. Таким образом, для пика j -го изображения объекта, вошедшего в сегмент Ω_{sbobjj} , сегментация проводится дважды: в предположении, что это протяженное изображение и, что это изображение компактной группы.

При сегментации фрагмента протяженного изображения в предположении, что это изображение компактной группы, к результирующему изображению Ω_{pixobj} относятся пиксели со спадающей яркостью, а также пиксели, возрастание яркости которых не превышает заранее заданное критическое значение приращения яркости μ_{fbr} . Указанные ограничения приведут к отнесению к протяженному изображению пикселей j -го сегментируемого фрагмента, а также незначительной части пикселей соседних фрагментов.

В отличие от сегментации изображения компактной группы [20], при сегментации фрагмента как протяженного изображения возникает необходимость не только выделить, но и одновременно провести объединение смежных фрагментов в цельное протяженное изображение. Сегментацию целесообразно проводить из каждого выделенного пика. Это даёт возможность сравнения результатов сегментации фрагмента в предположении о компактной группе и протяженном изображении.

Сегментация фрагмента как протяженного изображения, в целом, аналогична сегментации изображения объекта компактной группы [20]. К изображению j -го сегментируемого фрагмента Ω_{pixsmj} относятся пиксели, яркость которых убывает при движении от пика сегментируемого фрагмента. Возрастание яркости считается признаком перехода к соседнему фрагменту.

Перепады яркости между пикселями соседних частей изображения у протяженных изображений меньше, чем в изображениях компактной группы. В связи с этим, предлагается задать критическое значение допустимого возрастания яркости μ_{fbrsm} .

Фрагменты протяженного изображения объединяются, если допустимое возрастание яркости между фрагментами удовлетворяет правилу объединения фрагментов:

$$\mu_{fbrsm} > \mu_{fbr} \tag{1}$$

При незначительных перепадах яркости между фрагментами изображения к j -му сегментируемому фрагменту присоединяются пиксели соседних фрагментов, входящие в сегмент Ω_{sbobjj} .

Опыт практического использования описываемых вычислительных методов свидетельствует о том, что изображения, полученные для каждого из предполагаемых типов изображений объектов (компактной группы и протяженного), имеют разное количество отнесенных к ним пикселей. Количество пикселей, отнесенных к типовым протяженным изображениям (рис. 4), при сегментации каждого из предполагаемых типов изображений объектов, представлено в табл. 1.

Таблица 1

Количество пикселей сегмента протяженного изображения

Изображение объекта на рисунке 1	Количество пикселей, отнесенных к сегменту, при сегментации его как:	
	изображения компактной группы (μ_{fbr})	протяженного изображения (μ_{fbrsm})
а	45	96
б	44	76
в	28	36
г	15	22

Незначительность перепадов яркости между пикселями фрагментов протяженных изображений и использование правила объединения фрагментов (1) приводят к отнесению к протяженному изображению большего количества пикселей, чем при сегментации его как изображения компактной группы (рис. 4). Если в предположении о протяженном изображении сегментируется изображение компактной группы, то разница между количеством пикселей, отнесенных к сегментируемому изображению по критическим значениям возрастания яркости μ_{fbrsm} и μ_{fbr} , останется незначительной (рис. 5).

Разница между количеством пикселей, отнесенных к сегменту в предположении о протяженном изображении и изображении компактной группы, зависит от особенностей (размеров, яркости, количества частей) сегментируемого изображения объекта на цифровом кадре.

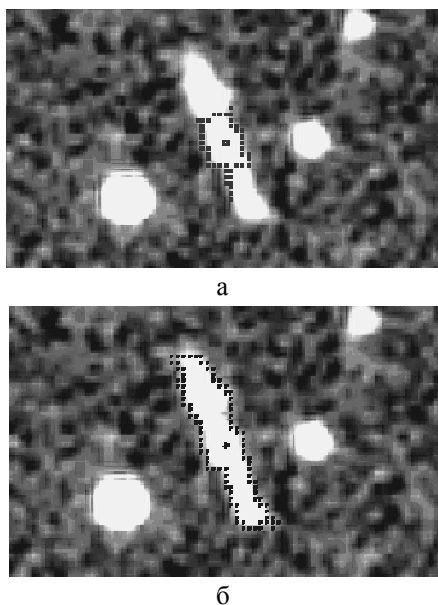


Рис. 4. Результат сегментации смазанного изображения: а – как изображения компактной группы; б – как протяжённого изображения

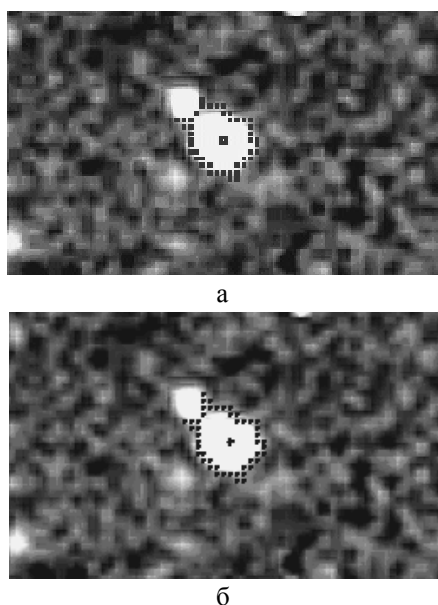


Рис. 5. Результат сегментации изображения компактной группы: а – как изображения компактной группы; б – как протяжённого изображения

В связи с этим, в качестве признака протяжённости сегментируемого изображения вводится отношение между количеством пикселей l_{nbsm} , отнесённых к изображению компактной группы и протяжённому изображению, сегментированных со стартовым пикселем в одном пике (рис. 6):

$$l_{nbsm} = \frac{|N_{pixsm}|}{|N_{pixobj}|} > \mu_{nbsm}, \quad (2)$$

где N_{pixsm} - количество пикселей множества Ω_{pixsm} , отнесённых к протяжённому изображению;

N_{pixobj} - количество пикселей множества Ω_{pixobj} , отнесённых к изображению компактной группы;

μ_{nbsm} - предельный (минимально допустимый) коэффициент отношения количества пикселей для сегментации протяжённого изображения.

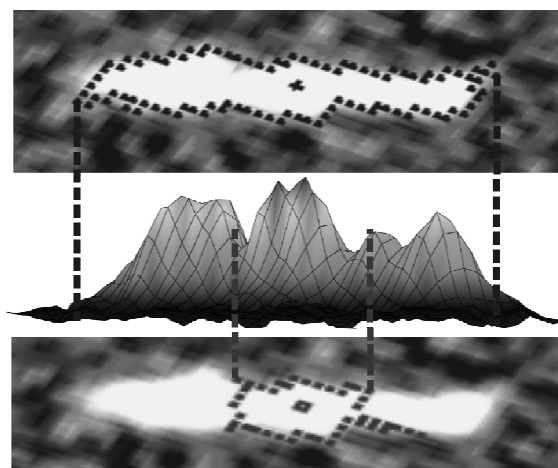


Рис. 6. Результат сегментации изображения компактной группы как изображения компактной группы и как протяженного изображения

В большинстве случаев при сегментации протяжённого изображения со стартовым пикселем в любом пике из сегмента Ω_{sbobjj} и объединения его с соседними фрагментами будет получено цельное (сегмент, состоящий из всех объединяемых фрагментов) протяжённое изображение Ω_{pixsm} .

Чем выше скорость перемещения объекта в течение времени экспозиции и слабее его яркость на цифровом кадре, тем из большего количества фрагментов состоит протяженное изображение. В ряде случаев перепады яркости между пикселями соседних фрагментов протяжённого изображения не позволяют объединить все фрагменты в цельное протяженное изображение с использованием критического значения μ_{fbrsm} (рис. 7).

В то же время, согласно предварительным исследованиям и постановке задачи, граница между фрагментами протяженного изображения превышает уровень фоновой подложки. Соседние сегменты протяженного изображения, выделенные из сегмента Ω_{sbobjj} , имеют как минимум один пиксель (пиксель границы между фрагментами), отнесенный к изображению обоих фрагментов. Таким образом, пересечение сегментов протяженного изображения

хотя бы в одном пикселе предлагается как достаточное условие для их объединения.

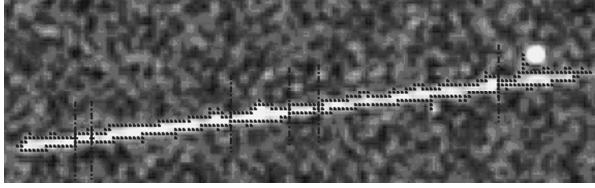


Рис. 7. Изображение сегментов (разделены вертикальной линией) протяжённого изображения, полученные в результате сегментации изображения метеора

Изображения объектов с ненулевым видимым перемещением за время экспозиции становятся смазанными собственным движением и имеют изображение, форма которого вытянута вдоль направления его видимого движения (рис. 8, а). В то же время одиночные объекты, а также компактные группы объектов неподвижны в течение времени экспозиции. Форма таких изображений компактных групп объектов, зачастую, близка к круговой (рис. 8, б, в).

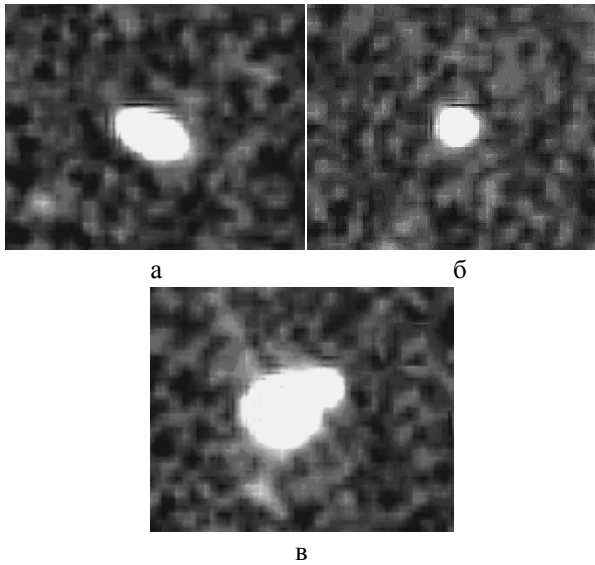


Рис. 8. Изображения объектов на цифровом кадре: а – протяжённое изображение; б – изображение одиночного объекта; в – изображение компактной группы

В связи с этим, в качестве критерия принятия решения о протяжённости сегментируемого изображения, предлагается использовать степень вытянутости его изображения на цифровом кадре. Для оценки степени вытянутости изображения объекта в работе используется оценка значения эксцентриситета $\hat{\varepsilon}$ [22, 23]. Значение эксцентриситета изображения объекта лежит в диапазоне от 0 до 1. Для изображений круговых объектов, значение эксцен-

триситета стремится к нулю, для изображения объекта в форме линии – к единице [7, 23].

При сегментации изображения j -го объекта принимается решение об отнесении его к протяженному изображению, если значение оценки его эксцентриситета [22, 23] превышает заранее заданное критическое значение

$$\hat{\varepsilon}_j = \frac{m_{20j} + m_{02j} - \sqrt{(m_{20j} - m_{02j} + 4m_{11j}^2)}}{m_{20j} + m_{02j} + \sqrt{(m_{20j} - m_{02j} + 4m_{11j}^2)}} > \mu_{\text{кр}}, \quad (2)$$

где m_{20j} , m_{02j} , m_{11j} – моменты второго порядка сегмента изображения;

X_{0j} , Y_{0j} – моменты первого порядка сегмента изображения (оценка средневзвешенных координат центра изображения объекта в системе координат цифрового кадра).

Значения моментов определяются выражениями [7, 22, 23]:

$$m_{20j} = \sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik} (x_{ik} - X_{0j})^2, \quad (4)$$

$$m_{02j} = \sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik} (y_{ik} - Y_{0j})^2, \quad (5)$$

$$m_{11j} = \sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik} (x_{ik} - X_{0j})(y_{ik} - Y_{0j}), \quad (6)$$

$$X_{0j} = \frac{\sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik} x_{ik}}{\sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik}}, \quad (7)$$

$$Y_{0j} = \frac{\sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik} y_{ik}}{\sum_{i=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} \sum_{k=1}^{\Omega_{\text{pixsmj}}} A_{ik}}, \quad (8)$$

где A_{ik} – яркость ik -го пикселя цифрового кадра;

x_{ik} , y_{ik} – прямоугольные координаты ik -го пикселя цифрового кадра.

Вычислительный метод сегментации протяженных изображений на цифровых изображе-

ниях представляет собой следующую последовательность операций.

1. На цифровом кадре выделяется множество сегментов, содержащих изображение объекта, компактной группы объектов или фрагменты протяжённого изображения (блоки 1.1 – 1.6).

1.1. Проводятся выделения множества сегментов Ξ_{sobj} , каждый из которых характеризуется координатами (x_{pj}, y_{pj}) пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность Ω_{sbobjj} пикселей выделенного в процессе сегментации изображения объекта. Для этого используется вычислительный метод сегментации изображений одиночных объектов [17].

1.2. Формируется множество пиков, как стартовых пикселей сегментов, координаты которых входят в j -й сегмент Ω_{sbobjj} [19].

1.3. В каждом сегменте изображения определяется количество пиков $N(\Omega_{sbobjj})$, как стартовых пикселей сегмента.

1.4. Если для j -го сегмента Ω_{sbobjj} количество пиков, как стартовых пикселей сегментов, более 1 ($N(\Omega_{sbobjj}) > 1$), то принимается решение, что j -й сегмент может являться изображением компактной группы объектов или содержать фрагменты протяжённого изображения. В противном случае, осуществляется переход к следующему сегменту кадра (блок 1.2).

1.5. При всех стартовых пикселях $N(\Omega_{sbobjj})$, принадлежащих j -му сегменту Ω_{sbobjj} , будет сформирован один и тот же сегмент Ω_{sbobjj} . Следовательно, $N(\Omega_{sbobjj})$ сегментов будут дублироваться во множестве Ξ_{sobj} . Для уменьшения вычислительных затрат дубликаты сегмента Ω_{sbobjj} исключаются из рассмотрения. Вместо указанных $N(\Omega_{sbobjj})$ сегментов используется один и тот же сегмент Ω_{sbobjj} с множеством стартовых пикселей (пиков) θ_{peaksj} .

2. Для каждого, например, j -го сегмента, с целью определения типа изображения, содержащегося в нем, выполняется сегментация в предположениях, что это изображение компактной группы [20] и что это протяжённое изображение (блоки 2.1–2.3).

2.1 Исследуемый сегмент рассматривается в предположении, что это изображение компактной группы. Проводится выделение множества изображений объектов компактной группы Ξ_{objj} [20]. Для

каждого 1-го стартового пикселя сегмента анализируются его пиксели для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов. Для этого используется вычислительный метод сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях [20].

2.2. Исследуемый сегмент рассматривается в предположении, что это протяжённое изображение. Проводится выделение множества фрагментов (сегментов протяжённого изображения) Ξ_{fragj} . Для этого используется операция анализа пикселей j -го сегмента Ω_{sbobjj} (пункт 2.1). Фрагменты протяжённого изображения объединяются по правилу объединения фрагментов (1).

2.3. Для принятия решения о типе выделенного изображения, сегментированного с 1-м стартовым пикселем, проверяется отношение (2) между количеством пикселей I_{nbsml} , отнесённых в предположениях об изображении компактной группы [20] и протяжённом изображении.

2.4 Если условие (2) выполняется, то выделенное изображение относится к множеству фрагментов Ξ_{smsegj} j -го протяжённого изображения. В ином случае сегмент выделяется как изображение компактной группы.

2.5. Для формирования цельного сегмента из множества выделенных фрагментов Ξ_{smsegj} и принятия решения о выделении протяжённого изображения выполняется следующая последовательность действий (блоки 2.5.1–2.5.2).

2.5.1 Выделенные фрагменты исследуемого протяжённого изображения Ξ_{smsegj} объединяются между собой при условии наличия у них общих пикселей. В результате формируется объединённый сегмент протяжённого изображения Ω_{smj} . Для сокращения вычислительных затрат фрагменты, объединённые в один из сегментов протяжённого изображения, исключаются из рассмотрения на следующих итерациях вычислительного метода. Другими словами, попытка сегментации протяжённого изображения со стартовым пикселем в пиках указанных фрагментов не проводится.

2.5.2. Для сегмента Ω_{smj} принимается решение об отнесении его к протяжённому изображению, если значение оценки эксцентриситета (3) превышает заранее заданное критическое значение $\mu_{кр}$. В противном случае принимается решение, что все сегменты множества Ξ_{smsegj} являются сегментами компактной группы.

При сегментации протяженных изображений, принадлежность выделенного фрагмента протяженного изображения к конкретному протяженному изображению априорно неизвестна. В связи с этим, попытка сегментации протяженного изображения проводится со стартовым пикселем в каждом выделенном пике.

В большинстве случаев, сегмент, полученный при объединении фрагментов протяженного изображения по условию (2), является цельным протяженным изображением. Другими словами, протяженное изображение состоит из одного сегмента – множества фрагментов, яркость границ между которыми намного превышает яркость фоновой подложки (см. рис. 6).

Иногда условия наблюдения и особенности используемых регистрирующих приборов могут приводить к наличию значительных перепадов яркости на границах фрагментов протяженных изображений. В указанных условиях протяженное изображение может состоять более чем из одного сегмента. Согласно предварительным исследованиям типовых протяженных изображений, яркость границы между фрагментами (сегментами) протяженного изображения превышает яркость фоновой подложки. В описанных условиях, разработанный метод формирует цельное протяженное изображение путём объединения изображений соседних сегментов.

В заключение, хотелось бы несколько слов сказать о применении разработанного метода сегментации протяженных изображений объектов на цифровых изображениях. При проведении астрономических наблюдений без суточного ведения [1, 2] изображения всех небесных объектов исследуемого кадра смазываются за счет вращения Земли вокруг своей оси. Пример результатов сегментирования исследуемого кадра предложенным методом сегментации приведён на рисунке 9.

В результате метеорных наблюдений с использованием высокоскоростных камер, формируется видеоряд. Для возможности сегментации объектов на видеоряде он делится на отдельные цифровые кадры. За счёт этого становится возможным обнаружение наличия на кадре изображения метеора и его дальнейшая сегментация предложенным методом (рис. 10).

Анализ разработанного метода

Разработанный метод сегментации протяженных изображений применён в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [24]. С использованием разработанного метода производится сегментация изображений комет, астероидов, NEO, искусственных

спутников Земли. С помощью CoLiTec в Центр малых планет (MPC) послано более 700 000 измерений, открыто 4 кометы и более чем 1560 астероидов. Среди них 21 Троянский астероид Юпитера, 5 NEO, 1 кентавр.

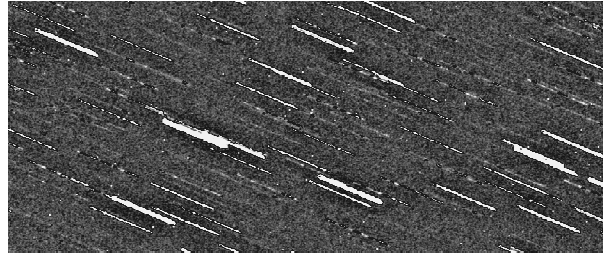


Рис. 9. Результат сегментации изображений объектов на цифровом кадре, полученном без суточного ведения

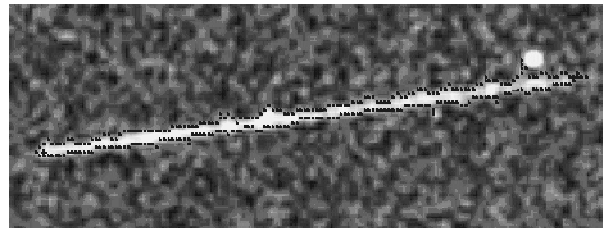


Рис. 10. Цельное протяжённое изображение, полученное в результате сегментации изображения метеора

Исследование разработанного метода сегментации протяженных изображений на цифровых астрономических изображениях проводилось на цифровых кадрах, полученных с использованием телескопов из 8-ми астрономических обсерваторий (табл. 1).

Выделение протяженных изображений проводилось только в предварительно выделенных сегментах, что позволило провести сегментацию изображений протяженных объектов с вычислительными затратами, близкими к минимальным (табл. 2).

Практически всегда на цифровых астрономических кадрах присутствуют все типы изображений объектов – одиночные, изображения компактной группы, протяженные изображения. Изображение сегментов, в которые входит более одного выделенного пика, может содержать или фрагменты протяженного изображения, или статистически зависимое изображение компактной группы объектов.

Зачастую, принятие решения о выделении изображения как протяженного откладывается до этапа межкадровой обработки. Необходимость рассмотрения всех кандидатов в протяженные (изображений сегментов с 2-мя и более пиками) на этапе межкадровой обработки приводит к высоким вычислительным затратам используемых методов (табл. 3).

Таблица 1

Технические характеристики используемых телескопов

Обсерватория	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	Micro-Line 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	2048 x 2048	3056 x 3056	3056 x 3056	3073 x 2048	3056 x 3056	1391 x 1039	512 x 512	4096 x 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%)

Таблица 3

Количество протяжённых измерений

Телескоп	Количество протяжённых измерений	
	Без использования разработанного метода	С использованием разработанного метода
Promt8	255	135
Centurion 18	364	201
ChV-400	170	123
BRC-250M	171	87
OMT-800	2573	1234
ARTEMIS	91	42
VNT	0	0
Genon	238	171

Разработанный вычислительный метод сегментации протяжённых изображений позволил принимать предварительное решение о типе сегментированного изображения (протяжённого изображения или изображения компактной группы) непосредственно на этапе сегментации (см. табл. 3).

Выводы

В статье разработан вычислительный метод сегментации протяжённых изображений объектов на цифровых изображениях. С целью сокращения вычислительных затрат выделение производится только в областях, выделенных вычислительным методом сегментации изображений одиночных объектов на цифровых изображениях [17].

Сегментация протяжённых изображений проводится последовательно в каждом выделенном сегменте. Для сокращения вычислительных затрат, анализируются только сегменты, в которые входит более одного выделенного пика. Такие сегменты могут содержать или фрагменты протяжённого изображения, или статистически зависимое изображение компактной группы объектов [20].

В связи с этим, принятие решения о типе сегментированного изображения проводится на основании различия между результатами сегментации обоих типов изображений объектов: протяжённого изображения и изображения компактной группы. В качестве признака различения протяжённого изображения и изображения компактной группы используется отношение между количеством пикселей, отнесённых к изображению компактной группы и протяжённому изображению, сегментированных со стартовым пикселем в одном пике.

Для принятия решения о протяжённости сегментируемого изображения предлагается использовать степень вытянутости его изображения на цифровом кадре. В качестве признака степени вытянутости изображения объекта в работе используется оценка значения эксцентриситета (3).

Научной новизной разработанного метода является:

1. Выделение протяжённых изображений компактных только в сегментах, предварительно выделенных с использованием вычислительного метода сегментации одиночных объектов и содержащих более одного стартового пикселя, что позволило провести сегментацию изображений протяжённых объектов с вычислительными затратами, близкими к минимальным.

2. Использование отношения между количеством пикселей, отнесённых к изображению компактной группы и протяжённому изображению и оценки вытянутости сегментированного изображе-

ния для принятия решения о выделении протяжённого изображения, что позволило проводить сегментацию протяжённых изображений при наличии на цифровом изображении всех типов изображений объектов (одиночных, компактной группы, протяжённых).

Разработанный метод сегментации протяжённых изображений применён в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [24]. С использованием разработанного метода производится сегментация изображений комет, астероидов, NEO, искусственных спутников Земли. При обработке цифровых кадров, полученных без использования механизма суточного ведения, разработанный метод используется для выделения всех объектов на цифровом изображении.

Литература

1. Andersen, G. *The Telescope: Its History, Technology, and Future [Text]* / G. Andersen. - G Princeton University Press, 2007. - 256 p.
2. Pankaj, J. *An introduction to astronomy and astrophysics [Text]* / Jain Pankaj. - Boca Raton : CRC Press, 2015. - 341 p.
3. Злобин, В. К. *Обработка аэрокосмических изображений [Текст]* / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. - М. : Физматлит, 2006. - 288 с.
4. Hamilton, W. T. *Dwarf Planets and Asteroids: Minor Bodies of the Solar System [Text]* / W. T. Hamilton. - Strategic Book Publishing Rights Agency, 2014. - P. 74-76.
5. Burger, W. *Principles of Digital Image Processing [Text]* / W. Burger, M. J. Burge. - Berlin : Springer-Verlag, 2009. - 253 p.
6. Mighell, K. J. *Algorithms for CCD Stellar Photometry. Astronomical Data Analysis Software and Systems [Text]* / K. J. Mighell ; ed. D. V. Mehringer, R. L. Plante, D.A. Roberts // VIII ASP Conference Series. - 1999. - No. 172. - P. 317 - 328.
7. Gonzalez, R. C. *Digital Image Processing [Text]* / R. C Gonzalez, R. E. Woods. - Prentice Hall, 2008. - 954 p.
8. Fu, K. *A survey on image segmentation [Text]* / K. Fu, J. Mui // Pattern Recognition. - 1981. - Vol. 13, Iss. 1. - P. 3-16.
9. Wang, D. C. *Gradient inverse weighted smoothing scheme and the evaluation of its performance [Text]* / D. C. Wang, A. H. Vangnucci, C. C. Li // Computer Graphics and Image Processing Berlin. - 1981. - Vol. 15, Iss. 2. - P. 167-181.
10. Chen, Y. B. *Image Segmentation Method Using Thresholds Automatically Determined from Picture Contents [Text]* / Yuan Been Chen, T-C Oscal Chen // EURASIP Journal on Image and Video Processing. - 2009. - Vol. 2009, Article ID 140492. - 15 p. DOI:10.1155/2009/140492.

11. Senthilkumaran, N. Image segmentation by using thresholding techniques for medical images [Text] / N. Senthilkumaran, S. Vaithegi // *CSEIJ*. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 321-410.

12. Nida, M. Survey on Image Segmentation Techniques [Text] / M. Nida // *Procedia Computer Science*. – 2015. – Vol. 6. – P. 797-806.

13. Howell, S. J. *Handbook of CCD Astronomy* [Text] / S. J. Howell. – Cambridge University Press, 2000. – 164 p.

14. Lahouaoui, L. A comparative study of Image Region-Based Segmentation Algorithms [Text] / T. Mohamadi, L. Lahouaoui // *IJACSA* – 2013. – Vol. 4(6). – P. 125 – 131.

15. Krishnan, G. G. Region Based Segmentation Algorithm for Remote Sensing Image Based on Heterogeneity of Objects [Text] / G. G. Krishnan, A. Tholkappia // *MEJSR*. – 2015. – Vol. 23 (7). – P. 1375-1378.

16. Manohar, K. M. A Review on Techniques of Image Segmentation [Text] / K. M. Manohar, A. S Patil // *IJARCCCE* – 2016 - Vol. 5(3). DOI 10.17148/IJARCCCE.2016.53116

17. Погорелов, А. В. Сегментация изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях [Текст] / А. В. Погорелов, В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. – Харьков : ХАИ . – 2017. – № 76. – С. 170-191.*

18. Piprek, J. *CCD Astronomy: Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis* [Text] / J. Piprek. – Springer Science & Business Media, 2005. – 452 p.

19. Саваневич, В. Е. Метод предварительного обнаружения сигналов от небесных объектов на цифровом изображении [Текст] / В. Е. Саваневич, А. М. Кожухов, А. Б. Брюховецкий // *Системи озброєння та військова техніка. – Харків : ХУПС, 2011. – Вип. 2(26). – С. 169 – 173.*

20. Погорелов, А. В. Вычислительный метод сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях [Текст] / А. В. Погорелов, В. Е. Саваневич, С. Г. Удовенко // *Бионика интеллекта : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – X. : ХНУРЭ, 2017. – Вып. 2(89). – С. 133 – 141.*

21. Оценка координат близких астероидов на ПЗС-изображении [Текст] / Н. С. Соковикова, В. Е. Саваневич, М. М. Безкровный, С. В. Хламов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4/4(64). – С. 41 – 44.*

22. Birchfield, S. *Image Processing and Analysis* [Text] / S. Birchfield. - Cengage Learning, 2016. – 672 p.

23. Фурман, Я. А. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов [Текст] / Я. А. Фурман. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2003. – 592 с.

24. Програма CoLiTec автоматизованого виявлення небесних тел со слабим блиском

[Текст] / 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.*

References

1. Andersen, G. *The Telescope: Its History, Technology, and Future*. Princenton University Press. 2007. 256 p.

2. Pankaj, J. *An introduction to astronomy and astrophysics*. Boca Raton, CRC Press, 2015. 341 p.

3. Zlobin, V. K., Yermeev, V. V. *Obrabotka ajerokosmicheskikh izobrazhenij* [Aerospace image processing]. Moscow, Fizmatlit, Publ. 2006. 288 p.

4. Hamilton, W. T. *Dwarf Planets and Asteroids: Minor Bodies of the Solar System*. Strategic Book Publishing Rights Agency, 2014, pp. 74- 76.

5. Burger, W., Burge, M. J. *Principles of Digital Image Processing*. Berlin, Springer-Verlag, 2009. 253p.

6. Mighell, K. J., Mehninger, D. V., Plante, R. L., Roberts, D. A. *Algorithms for CCD Stellar Photometry. Astronomical Data Analysis Software and Systems. VIII ASP Conference Series*, 1999, vol. 172, pp. 317-328.

7. Gonzalez, R. C. Woods, R. E. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 2008. 954 p.

8. Fu, K., Mui, J. A survey on image segmentation. *Pattern Recognition*. 1981. Vol. 13(1), pp. 3-16.

9. Wang, D. C., Vangucci, A. H., Li, C. C. Gradient inverse weighted smoothing scheme and the evaluation of its performance. *Computer Graphics and Image Processing*, 1981, vol. 15, Iss. 2, pp. 167-181.

10. Chen, Y. B., Chen, T. C. O. Image Segmentation Method Using Thresholds Automatically Determined from Picture Contents. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2009, vol. 2009, Article ID 140492. 15 p. DOI:10.1155/2009/140492.

11. Senthilkumaran N., Vaithegi, S. Image segmentation by using thresholding techniques for medical images. *CSEIJ*, 2016, vol. 6(1), pp. 321-410.

12. Nida, M. Survey on Image Segmentation Techniques. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 6, pp. 797-806.

13. Howell, S. J. *Handbook of CCD Astronomy*. Cambridge University Press, 2000. 164 p.

14. Lahouaoui, L. Mohamadi, T. A comparative study of Image Region-Based Segmentation Algorithms. *IJACSA*, 2013, vol. 4(6), pp. 125-131.

15. Krishnan, G. G., Tholkappia, A. Region Based Segmentation Algorithm for Remote Sensing Image Based on Heterogeneity of Objects. *MEJSR*, 2015, vol. 23(7), pp. 1375-1378.

16. Manohar, K. M., Patil, A. S. A Review on Techniques of Image Segmentation. *IJARCCCE*, 2016, vol. 5(3). DOI 10.17148/IJARCCCE.2016.53116.

17. Pohorelov, A. V., Savanovich, V. E., Brjuhoveckij, A. B. Segmentacija izobrazhenij odnochnyh ob'ektov na cifrovih astronomicheskikh izobrazhenijah [Segmentation of images of single objects on digital astronomical images]. *Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tehnologii – Open in-*

formation and computer integrated technologies, Kharkiv, HAI Publ., 2017, no. 76, pp. 170-191.

18. Piprek J. *CCD Astronomy: Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis*. Springer Science & Business Media, 2005. 452 p.

19. Savanevich, V. E., Kozhuhov A. M., Brjuhoveckij, A. B. Metod predvaritel'nogo obnaruzhenija signalov ot nebesnyh ob'ektov na cifrovom izobrazhenii [The method of preliminary detection of signals from celestial objects on a digital image] *Sistemi ozbroennija ta vijs'kova tehnika – Systems of arms and military equipment*. Kharkiv HUPS Publ., 2011, vol. 2(26), pp. 169-173.

20. Pohorelov, A. V., Savanevich, V. E., Brjuhoveckij, A. B. Vychislitel'nyj metod segmentacii izobrazhenij kompaktnyh grupp ob'ektov na cifrovih astronomicheskikh izobrazhenijah [Computational method for segmenting images of compact groups of objects on digital astronomical images]. *Bionika intellekta*, Kharkiv, KHNURE Publ., 2017, no. 2(89), pp. 133-141.

21. Sokovikova, N. S., Savanevich, V. E., Bezkrivnyj, M. M., Hlamov, S. V. Ocenka koordinat blizkikh asteroidov na PZS-izobrazhenii [Estimation of near asteroids coordinates on CCD-frame]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, vol. 4/4(64), pp. 41-44.

22. Birchfield, S. *Image Processing and Analysis*. Cengage Learning, 2016. 672 p.

23. Furman, Ja. A. *Vvedenie v konturnyj analiz; prilozhenija k obrabotke izobrazhenij i signalov* [Introduction to contour analysis; applications for image and signal processing]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 592 p.

24. Savanevich, V. E., Brjuhoveckij, A. B., Kozhuhov, A. M., Dikov, E. N., Vlasenko, V. P. Programma CoLiTec avtoma-tizirovannogo obnaruzhenija nebesnyh tel so sla-bym bleskom [CoLiTec automatic detection of celestial bodies with weak glossiness] *Kosmichna nauka i tehnologija*, 2012, vol. 18(1), pp. 39-46.

Поступила в редакцію 05.09.2017, рассмотрена на редколлегии 22.11.2017

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦІЇ ПРОТЯЖНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

А. В. Погорелов, В. Є. Саваневич, А. Б. Брюховецький

У статті запропоновано метод сегментації протяжних зображень об'єктів на цифрових астрономічних зображеннях. Для скорочення обчислювальних витрат запропонований метод використовується тільки в областях, виділених на цифрових зображеннях обчислювальним методом сегментації зображень одиночних об'єктів. Пікселі виділених областей аналізуються на наявність в них зображень компактних груп об'єктів і фрагментів протяжного зображення. Проводиться спроба об'єднання останніх в єдине протяжне зображення. Прийняття рішення про наявність протяжного зображення виконується з використанням двох критеріїв: оцінки ексцентриситету і відношення між кількістю пікселів, які виділено в припущенні про компакту групу та протяжне зображення.

Ключові слова: сегментація, цифрове зображення, фонові підкладка, небесний об'єкт, астрономічні спостереження, аномальні пікселі.

COMPUTATIONAL METHOD OF SMOOTHED OBJECTS IMAGES SEGMENTATION ON DIGITAL IMAGES

A. V. Pohorelov, V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi

This article describes the computational method for segmenting smoothed objects images on digital images is developed. To reduce computational costs the segmentation is carried out only in areas extracted by the computational method of single objects images segmentation on digital images.

Segmentation of smoothed images is carried out sequentially in each selected segment. To reduce computational costs only segments that contain more than one peak are analyzed. Such segments may contain either fragments of smoothed image, or a statistically dependent image of a compact group of objects. In this regard, the decision about the segmented image type is made based by the difference between the segmentation results of both types of object images: smoothed image and an image of a compact group. As a sign of distinguishing between smoothed image and an image of a compact group the ratio between the number of pixels assigned to the image of a compact group and the smoothed image segmented with the start pixel in one peak is used.

Images of objects with non-zero visible motion during the exposure time become smoothed with their own motion and have an image whose shape is stretched along the direction of its apparent movement. At the same time, single objects as well as compact groups of objects are immovable during the exposure time. The form of such images of compact groups of objects is often close to circular. To decide the extent of the segmented image it is pro-

posed to use the degree of elongation of its image on a digital frame. As an indication of the degree of elongation of the object image the estimate of the eccentricity value is used in the paper.

A study of the developed method of smoothed images segmentation on digital astronomical images was carried out on digital frames obtained using telescopes from 8 astronomical observatories. The developed computational method allowed making a preliminary decision about the type of segmented image (smoothed image or image of a compact group) directly at the segmentation stage.

The developed method of segmentation of smoothed images is applied in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec. With the use of the developed method, the segmentation of images of comets, asteroids, NEOs, artificial earth satellites is carried out. When processing digital frames obtained without using the daily reference mechanism, the developed method is used to select all objects in the digital image.

Keywords: segmentation, morphology, digital image, background substrate, celestial object, astronomical observations.

Погорелов Артем Витальевич – аспирант каф. электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: pogartem@rambler.ru.

Саваневич Вадим Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., каф. информационных управляющих систем и технологий, Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина, e-mail: vadym@savanevych.com.

Брюховецкий Александр Борисович – канд. техн. наук, инженер, Западноукраинский центр космических исследований Государственного космического агентства Украины, Мукачево, Украина izumsasha@gmail.com.

Pohorelov Artem – PhD student of Department of Electronic computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: pogartem@rambler.ru.

Savanevych Vadym – Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Information management systems and Technologies, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, e-mail: vadym@savanevych.com.

Briukhovetskyi Olexander – PhD, engineer of Western Radio Technical Surveillance, Center National Space Agency of Ukraine, Mukachevo, Ukraine, e-mail: izumsasha@gmail.com.