

УДК 004.932.2

## АЛГОРИТМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО СЕГМЕНТИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

**Д. В. Жуков**, к.т.н., с.н.с. 333 лаборатории военного института (научно-исследовательского) ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;

orcid.org/0000-0003-1538-7239, e-mail: spb.pilligrim@gmail.com

**О. В. Григорьева**, к.т.н., с.н.с. 333 лаборатории военного института (научно-исследовательского) ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;

orcid.org/0000-0001-6638-5204, e-mail: alenka12003@mail.ru

**А. Г. Саидов**, н.с. 332 лаборатории военного института (научно-исследовательского) ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;

orcid.org/0000-0002-6587-6244, e-mail: vka@mil.ru

**К. А. Спесивцева**, м.н.с. 331 лаборатории военного института (научно-исследовательского) ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;

orcid.org/0000-0001-7084-4290, e-mail: vka@mil.ru

**Е. В. Харжевский**, адъюнкт ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия;

orcid.org/0000-0002-0436-8238, e-mail: vka@mil.ru

*Рассмотрен оригинальный алгоритм однозначного определения ориентации локализованного сегмента на бинаризованном изображении, что обеспечивает точное совмещение контуров распознаваемого образа и имеющегося эталона. Данная операция является важной для успешного применения методов классификации искусственных объектов на изображениях, основанных на корреляционно-признаковых методах. Предложенный алгоритм состоит из двух этапов. Первый включает в себя три последовательно применяемых способа определения главной оси сегмента: вдоль своей оси симметрии; вдоль вектора первой главной компоненты; вдоль наиболее длинного отрезка прямой, полученной в результате скелетизации сегмента. Второй этап заключается в выборе направления ориентации сегмента вдоль оси, основанный на сравнении участков контура, относящихся к условно верхней и условно нижней частям объекта, и выявлении в них устойчивых отличий. Разработанный алгоритм был апробирован на объектах наземной, морской и авиационной техники и показал устойчивую работу при линейном разрешении материалов съемки лучше 3 м.*

**Ключевые слова:** дешифрирование космических снимков, распознавание образов, ориентирование контура, метод главных компонент, волновая скелетизация.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2022-81-12-20

### Введение

В настоящее время дистанционные методы исследования территорий находят свое применение во многих отраслях народного хозяйства. При этом постоянно растущие объемы информации, поставляемой различными системами космической съемки, обуславливают необходимость высокой степени автоматизации процесса тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Одними из наиболее важных задач, в которой это оказывает решающее влияние на оперативность и достоверность получаемых результатов, являются поиск и классификация целевых объектов на изображениях. Вместе с тем традиционные методы автоматизированного дешифрирования, основанные на анализе яркостных и геометрических характеристик элементов ландшафта, уже не позволяют в полной мере удовлетворить постоянно растущие запросы конечных потребителей данных ДЗЗ. В частности, при планировании и контроле развития инфраструктуры часто возникает необходимость обнаружения и классификации различных искусственных объектов на снимке. При этом классификация должна быть произведена на достаточно глубоком уровне: до типа техники

или целевого назначения зданий и сооружений. Решение таких задач традиционно разделяется на два этапа: обнаружение и распознавание.

Обнаружение зачастую производится по яркостным признакам объектов с использованием различных методов классификации, кластеризации и сегментации изображений. В результате выделяются сегменты, потенциально относящиеся к искомым объектам.

Более сложным является процесс распознавания полученных сегментов. Ключевыми дескрипторными признаками при этом, как правило, являются геометрические характеристики объектов, а распознавание производится с помощью корреляционно-признаковых методов [1]. Например, определение большинства типов кораблей осуществляется по их линейным размерам, так как существенная разница в длине (10 м и более) многих классов судов (танкер, грузовое судно, буксир) обеспечивает практически безошибочное распознавание. Вместе с тем существует целый ряд классов объектов (например, авиационная техника), близость формы и размеров которых требует применения при классификации более сложных методов, основанных на сравнении контуров распознаваемого и эталонного сегмента. Однако, применение таких методов на практике сдерживается отсутствием универсальных способов взаимного совмещения сравниваемых контуров. Для решения этой проблемы необходимо получить информацию об ориентации сегмента на изображении, так как в этом случае эталонный и классифицируемый сегменты с помощью аффинных преобразований могут быть одинаково ориентированы и совмещены друг с другом.

### Теоретическая часть

В ВКА им. А.Ф. Можайского был разработан алгоритм, позволяющий однозначно определить вектор, вдоль которого ориентирован распознаваемый сегмент. Особенностью алгоритма является его универсальность, так как он применим для объектов практически любой сложной формы. Ограничивающим условием применения рассматриваемого алгоритма может быть только размер сегментов в некоторых случаях.

Определение вектора ориентирования сегмента разделяется на две задачи: нахождение его главной оси и выбор направления ориентации вдоль этой оси.

Для нахождения главной оси первоначально все геометрические характеристики сегмента нормируются по формуле:

$$p_{i \text{ норм}} = \frac{p_i - \text{MIN}}{p_i - \text{MAX}}, i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $p_i$  – координаты точки сегмента;  $N$  – количество точек, принадлежащих сегменту; величины MIN и MAX имеют следующие значения:

$$\text{MIN} = \min \{ \min \{ X \}, \min \{ Y \} \}, \quad \text{MAX} = \max \{ \max \{ X \}, \max \{ Y \} \},$$

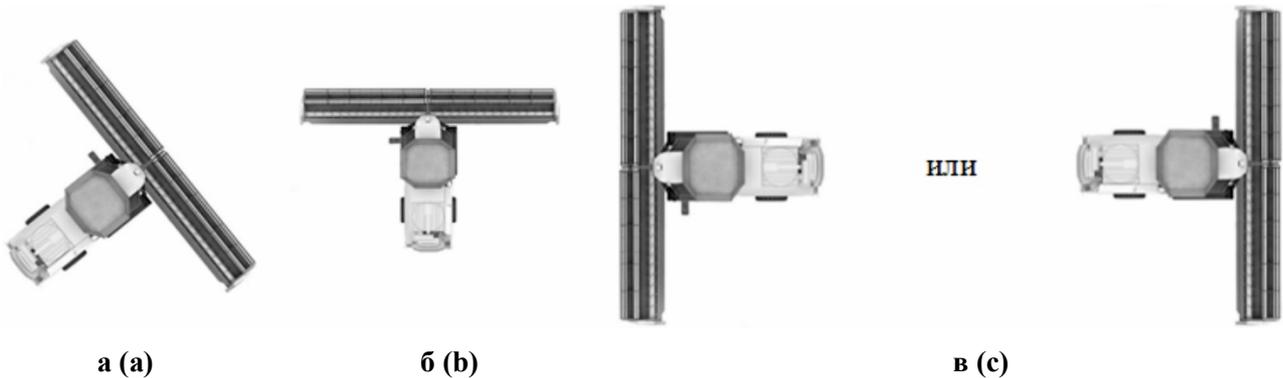
где  $X, Y$  – массивы соответственно  $x$ -координат и  $y$ -координат точек, принадлежащих сегменту.

Поиск главной оси, вдоль которой ориентируется сегмент, производится последовательно тремя разными способами в следующей очередности:

- 1) вдоль своей оси симметрии;
- 2) по направлению вдоль вектора первой главной компоненты (ГК);
- 3) вдоль наиболее длинного отрезка прямой, полученной в результате скелетизации сегмента.

Приоритетность способа ориентации объекта вдоль его оси симметрии обусловлена возможностью ситуации, пример которой показан на рисунке 1, когда для осесимметричных объектов задание главной оси другими методами может не позволить однозначно определить ее направление с помощью рассматриваемого ниже специально разработанного способа. В представленном примере вектор главной компоненты, а также наиболее длинный отрезок, полученный в результате скелетизации фигуры, пройдут вдоль жатки комбайна, так как она значительно больше длины его ходовой части, что впоследствии приведет к неоднозначной ориентации объекта. Кроме того, во многих случаях для различных транспортных средств

ось симметрии совпадает с их фактической ориентацией, которая устанавливается в направлении поступательного движения таких объектов.



**Рисунок 1 – Изображения зернокомбайна: неориентированное (а), ориентированное по оси симметрии (б), ориентированное вдоль вектора первой главной компоненты (в)**  
**Figure 1 – Image of grain combine: unoriented (a), oriented along the axis of symmetry (b), oriented along the vector of the first principal component (c)**

Нахождение оси симметрии в предлагаемом алгоритме осуществляется с помощью метода, базирующегося на способе, описанном в работе [2], основанном на том, что все возможные оси симметрии объекта проходят через его центр масс, координаты которого рассчитываются по следующим формулам:

$$X_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad Y_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i,$$

где:  $x_i, y_i$  – нормированные координаты точек сегмента,  $X_u, Y_u$  – координаты центра масс сегмента.

Таким образом, задача поиска оси симметрии сводится к определению точки контура сегмента, через которую проходит эта ось. Поиск таких точек осуществляется следующим образом.

1) У сегмента выделяется его контур.

2) Для точки контура сегмента с координатами  $x_k, y_k$  производится расчет уравнения прямой вида:  $ax+b=y$ , проходящей через эту точку и центр масс сегмента, где:

$$a = \frac{Y_u - y_k}{X_u - x_k}, \quad b = Y_u - \frac{Y_u - y_k}{X_u - x_k} X_u.$$

3) Определяется угол наклона прямой по отношению к оси абсцисс:  $\alpha = \arctan(a)$ , при этом, если параметр  $a$  не определен, угол принимается равными  $90^\circ$ .

4) Строится новая система координат, начало которой совпадает с центром масс сегмента, а ось абсцисс – с рассчитанной прямой.

5) Для каждой точки контура рассчитываются координаты ее проекции на оси новой системы координат по следующим формулам:

$$x_k^H = (x_k - X_u) \cdot \cos(\alpha) + (y_k - Y_u) \cdot \sin(\alpha),$$

$$y_k^H = -(x_k - X_u) \cdot \sin(\alpha) + (y_k - Y_u) \cdot \cos(\alpha).$$

6) Все точки контура с новыми координатами  $x_k^H, y_k^H$  разделяются на два массива: *Half* и *Mirror*, с положительными и отрицательными значениями  $y_k^H$ , соответственно.

7) Вычисляется мера сходства между двумя массивами точек:

$$R = \sum_h \min_m ((Half.x_h - Mirror.x_m)^2 + (Half.y_h + Mirror.y_m)^2) / H.$$

где  $H$  – количество точек в массиве *Half*.

8) Действия 2 – 7 повторяются для каждой точки контура, в результате которых получаются массивы значений показателей  $R$  и углов  $\alpha$ , каждый состоит из  $k$  элементов.

9) Выделяются точки, для которых выполняется условие:  $R_k < 0,015$ , выделенные точки контура являются потенциальными точками, через которые проходят оси симметрии. Пороговое значение меры сходства было подобрано эмпирическим путем.

10) Так как описываемый метод определения осей симметрии сегмента допускает не четкое совпадение точек массивов *Half* и *Mirror*, может возникнуть ситуация, при которой будет найдено несколько осей симметрии с близкими значениями углов  $\alpha$ , в то время как фактическая ось объекта будет только одна. Для устранения этого эффекта производится фильтрация выделенных точек контура следующим образом:

– выделенные по условию точки разделяются на группы смежных точек, образующих линию без разрывов;

– в каждой группе смежных точек выбирается одна, для которой значение показателя  $R_k$  в пределах этой группы минимально.

Принимается, что ось симметрии проходит через отобранные таким образом точки.

Главная ось объекта задается по направлению той оси симметрии, на которую приходится наиболее длинная проекция сегмента, а соответствующий ей угол  $\alpha$  принимается за угол наклона сегмента к оси абсцисс. Соответственно, для вертикальной ориентации сегмента его необходимо повернуть с помощью аффинных преобразований на угол  $(90^\circ - \alpha)$ .

Для неосесимметричных контуров сначала применяется подходящий для большой номенклатуры антропогенных объектов способ задания главной оси по направлению первой ГК, так как скелетизация волновым методом отличается значительно большей вычислительной сложностью и имеет ограничения, связанные с размером на изображении скелетизируемой фигуры (не менее 10 пикселей хотя бы в одном направлении). В этом случае главная ось сегмента совпадает с направлением максимальной дисперсии геометрических характеристик. Обобщенный способ определения ГК в многомерном пространстве достаточно сложный, однако для двумерного случая, характерного при анализе геометрических характеристик, порядок расчета значительно упрощается и состоит из такой последовательности действий [3]:

- по следующим формулам определяются собственные числа ковариационной матрицы:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left( \text{cov}_{11} + \text{cov}_{22} + \sqrt{(\text{cov}_{11} - \text{cov}_{22})^2 + 4 \text{cov}_{12}^2} \right),$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left( \text{cov}_{11} + \text{cov}_{22} - \sqrt{(\text{cov}_{11} - \text{cov}_{22})^2 + 4 \text{cov}_{12}^2} \right),$$

где соответствующие элементы ковариационной матрицы определяются из выражений:

$$\text{cov}_{11} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - X_u)^2, \quad \text{cov}_{12} = \text{cov}_{21} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - X_u)(y_i - Y_u)), \quad \text{cov}_{22} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - Y_u)^2;$$

- вычисляется угол наклона между вектором первой компоненты и осью абсцисс:

$$\alpha = \arctan \left( \frac{\lambda_1 - \text{cov}_{11}}{\text{cov}_{12}} \right).$$

Вектор первой компоненты будет являться новой осью ординат, а ортогональный ему – новой осью абсцисс. Так же, как и при первом способе, сегмент необходимо повернуть на угол  $90^\circ - \alpha$ .

Описанный способ определения главной оси не применим для объектов, особенности формы которых определяют наличие сразу нескольких направлений с большими и при этом близкими между собой значениями дисперсии, в результате чего возможны ситуации, когда в зависимости от параметров изображения объекта (пространственного разрешения, искажений формы вследствие сегментации и др.) может происходить смещение оси первой ГК относительно эталона. Например, такая ситуация характерна для некоторых видов самолетов, с частично снятым навесным оборудованием (рисунок 2).



**а (a)** **б (b)**  
**Рисунок 2 – Направление оси первой главной компоненты эталонного (а) и реального сегментированного (б) изображений самолета**  
**Figure 2 – The direction of the axis of the first principal component in reference (a) and real segmented (b) aircraft images**

Отсутствие ярко выраженного направления максимальной дисперсии приводит к близким значениям модулей векторов первой и второй ГК, следствием чего является резкое изменение направления векторов при даже незначительных искажениях изображения объекта после сегментации. Поэтому, если модули векторов первой и второй ГК отличаются менее чем на  $|\lambda_1 - \lambda_2| < 0,005$ , сегмент ориентируется третьим способом с помощью скелетизации волновым методом [4]. Экспериментальным путем было определено, что при  $|\lambda_1 - \lambda_2| < 0,005$  изменения параметров контура могут являться причиной сдвига ГК, приводящего к невозможности четкого совмещения сегментов и ошибкам распознавания объектов.

Суть алгоритма скелетизации (преобразование, при котором все линии изображения объекта имеют толщину 1 пиксель) заключается в генерации радиально расходящихся волн из любой точки внутри контура. Центры дуг, которые образуются в местах пересечения генерируемых окружностей с областью, ограниченной контуром, аппроксимируются отрезками (рисунок 3), по наиболее длинному из которых задается главная ось.



**Рисунок 3 – Пример скелетизации фигуры самолета волновым методом**  
**Figure 3 – The example of aircraft figure skeletonization by wave method**

Ориентация сегмента производится вдоль прямой, которая аппроксимирует наибольшую часть скелета. Поиск такой прямой осуществляется с помощью преобразования Хаффа. При этом выполняется следующая последовательность действий:

1) задается вид параметрического уравнения прямой в полярной системе координат:

$$R_{\perp} = x \cdot \cos(\varphi) + y \cdot \sin(\varphi),$$

где  $R_{\perp}$  – длина перпендикуляра, опущенного на прямую из начала координат,  $\varphi$  – угол между перпендикуляром и осью абсцисс;

2) формируется двумерное пространство Хаффа с осями  $R_{\perp}$  и  $\varphi$ ;

3) пространство Хаффа разбивается на дискретные участки  $D$ ;

4) для каждого дискретного участка  $D_h$  определяется количество точек скелета сегмента  $p_h$ , принадлежащих этому участку;

5) осуществляется поиск дискретного участка, в который попадает наибольшее количество точек скелета, для этих точек выполняется аппроксимация прямой с помощью метода

наименьших квадратов, что сводится к решению системы линейных уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (a \cdot p_h \cdot x_i^2 + b \cdot p_h \cdot x_i - p_h \cdot x_i \cdot p_h \cdot y_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (a \cdot p_h \cdot x_i + b - p_h \cdot y_i) = 0 \end{cases},$$

где  $n$  – количество точек  $p_h$ , принадлежащих дискретному участку  $D_h$ ,  $a$ ,  $b$  – искомые параметры прямой, аппроксимирующей точки,  $p_h \cdot x_i$ ,  $p_h \cdot y_i$  – координаты точек скелета принадлежащих дискретному участку  $D_h$ .

Угол наклона аппроксимированной прямой к оси абсцисс рассчитывается как  $\alpha = \arctan(a)$ . Соответственно, для вертикальной ориентации сегмента его необходимо повернуть на угол  $90^\circ - \alpha$ .

Общая схема алгоритма определения главной оси сегмента представлена на рисунке 4.

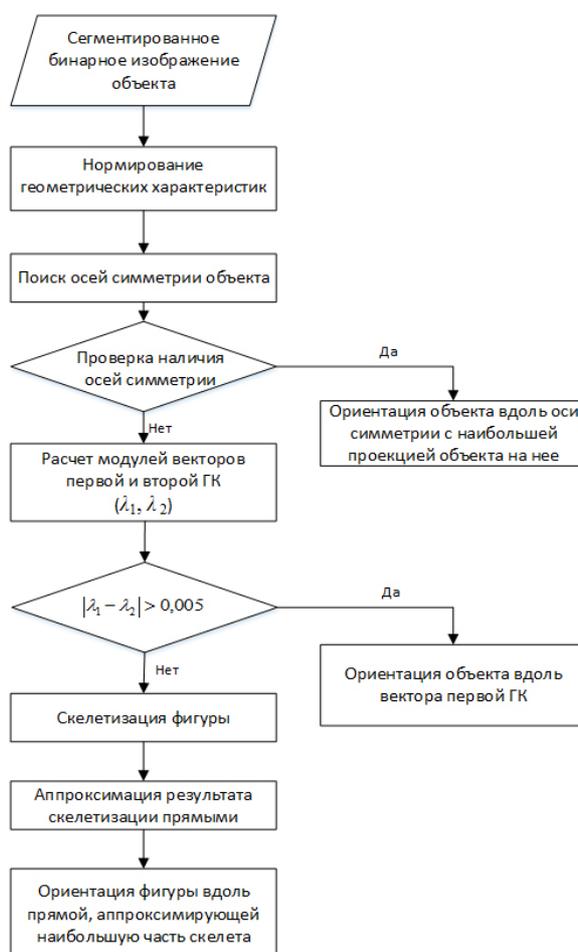


Рисунок 4 – Схема алгоритма ориентирования контура объекта

Figure 4 – Scheme of object contour orientation algorithm

Задание главной оси сегмента недостаточно для однозначного определения его ориентации, так как неизвестным остается направление этой оси. Для решения этой задачи был разработан оригинальный способ, основанный на сравнении участков контура, относящихся в новой системе координат к условно верхней и условно нижней частям объекта, и выявлении в них устойчивых отличий, позволяющих однозначно идентифицировать взаимное положение этих частей.

Данный способ предусматривает выполнение следующих операций:

- 1) разделение ориентированного сегмента на две части по средней строке;

2) совмещение двух частей зеркальным отображением условно верхней части относительно линии деления и поворотом ее на  $180^\circ$ ;

3) определение фрагментов, в которых обе части не пересекаются;

4) в случае, если такие фрагменты имеют ширину или длину, не превышающую размер величины двух пикселей, принимается решение о совпадении форм верхней и нижней частей и не принципиальности выбора направления главной оси;

5) в противном случае определяется наибольший по площади фрагмент и та часть, которой он принадлежит, назначается нижней (задней);

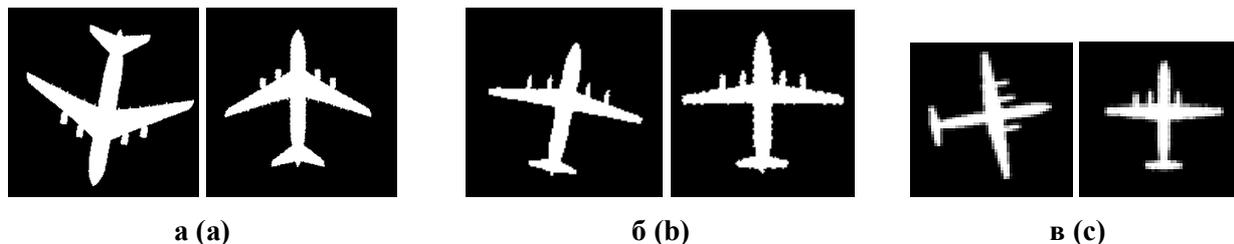
6) при наличии нескольких близких по площади фрагментов нижней считается та часть, на которую приходится большее количество фрагментов, а в случае одинакового количества фрагментов – та часть, которой принадлежит фрагмент с центром масс, наиболее удаленным от центра системы координат (следует отметить, что вероятность последнего случая на практике весьма незначительна);

7) если принято решение изменить условные наименования частей на противоположные, производится поворот сегмента на  $180^\circ$ .

Важно отметить, что описанный подход к определению направления главной оси сегмента в ряде случаев не позволяет ориентировать мобильный объект таким образом, чтобы направление его главной оси совпадало с направлением поступательного движения объекта. Однако данное обстоятельство не влияет на качество процесса классификации, так как эталон и распознаваемый сегмент будут ориентироваться по одинаковому принципу.

### Экспериментальные исследования

Разработанный алгоритм был апробирован на объектах наземной, морской и авиационной техники при различных значениях пространственного разрешения исходных изображений. Наиболее показательными являются результаты определения ориентации самолетов как объектов со сложной формой. В большинстве случаев определение главной оси производилось с помощью метода ГК или по оси симметрии, однако при отсутствии части элементов корпуса (крыльев, хвостового оперения) или подвесного оборудования (двигательных установок) также возникала необходимость скелетизации фигуры самолета (рисунок 5).

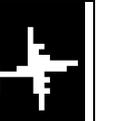


**Рисунок 5 – Примеры работы алгоритма ориентирования сегментов для самолетов транспортной авиации: а – по методу главных компонент, б – по оси симметрии, в – с помощью скелетизации фигуры**

**Figure 5 – Examples of the operation of segment orientation algorithm for transport aircraft: a – according to principal component method, b – along the axis of symmetry, c – using figure skeletonization**

Полученные в результате апробации данные свидетельствуют, что при ухудшении пространственного разрешения изображений сохраняется в целом устойчивая работа алгоритма ориентирования. Простые контуры (морские и наземные объекты), главная ось которых определяется методом ГК, ориентируются абсолютно стабильно до «вырождения» прямоугольной формы в квадрат или в точку. Для более сложных контуров с увеличением разрешения изображения возможно «вырождение» формы, что может приводить к ошибкам ориентации, как это наблюдается для самолетов с длиной фюзеляжа менее 36 м и размахом крыльев менее 37 м при линейном разрешении материалов съемки равном 3 м (таблица 1).

**Таблица 1 – Примеры работы алгоритма ориентирования сегментов при разном линейном разрешении материалов съемки****Table 1 – Examples of the operation of segment orientation algorithm for different linear resolution of survey materials**

Линейное разрешение материалов съемки (м)	0,5	0,6	0,8	1,5	3,0
Исходное изображение					
Ориентированное изображение					

Однако данные негативные ситуации, как правило, характерны для случаев, когда детальность изображения уже и так не позволяет распознавать объект как с помощью простых геометрических признаков, так и с помощью алгоритмов машинного обучения, и задача ориентирования контура соответственно теряет актуальность.

### Заключение

Таким образом, на сегодняшний день информация об ориентации распознаваемого сегмента обеспечит возможность не только определения габаритных размеров сегмента, но и четкого совмещения эталона и распознаваемого сегмента при классификации объектов. Предложенный алгоритм позволяет повысить эффективность классификации объектов интереса за счет возможности использования более сложных дескрипторов формы, не инвариантных к повороту фигуры, например, таких как описание контура в виде вектора комплексных чисел. Использование последовательно трех способов ориентации сегмента позволяет значительно расширить номенклатуру ориентируемых объектов и исключить ошибки, связанные с несовершенством каждого из способов.

### Библиографический список

1. Тропченко А. А., Тропченко А. Ю. Методы вторичной обработки и распознавания изображений: учеб. пособие. СПб: Университет ИТМО, 2015. 215 с.
2. Бондаренко М. А. Быстрый алгоритм точного поиска осей зеркальной симметрии на бинарных растровых изображениях. Техническое зрение в системах управления – 2018: сборник тезисов. 2018. С. 20-22.
3. Zhaodong Niu, Jiameng Pan, Chenglong Lin, Zengping Chen. Aircraft recognition in low-resolution SAR imagery using peak feature matching. Conference: Ninth International Symposium on Multi-spectral Image Processing and Pattern Recognition. 2015, vol. 9812. id. 98120P 7 pp.
4. Кудрина М. А., Мишенев В. С. Алгоритм волновой скелетизации растровых изображений. IV Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии»: сборник трудов. 2018. С. 784-792.

UDC 004.932.2

## ALGORITHM FOR TARGET OBJECT ORIENTATION ON PRE-SEGMENTED IMAGES

**D. V. Zhukov**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher of A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint-Petersburg, Russia;

orcid.org/0000-0003-1538-7239, e-mail: spb.pillgrim@gmail.com.

**O. V. Grigorieva**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher of A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint-Petersburg, Russia;

orcid.org/0000-0001-6638-5204, e-mail: vka@rmil.ru.

**A. G. Saidov**, Researcher of A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint-Petersburg, Russia;

orcid.org/0000-0002-6587-6244, e-mail: vka@rmil.ru.

**K. A. Spesivtseva**, Junior Researcher of A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint-Petersburg, Russia;

orcid.org/0000-0001-7084-4290, e-mail: vka@rmil.ru.

**E. V. Kharzhevsky**, Graduate student A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, Saint-Petersburg, Russia;

orcid.org/0000-0002-0436-8238, e-mail: vka@rmil.ru.

*The article considers an original algorithm to unambiguously determine the orientation of a localized segment on a binarized image which ensures accurate combination of the contours in recognized image and in existing standard. This operation is important for successful application of methods for classifying artificial objects in images based on correlation and feature methods. The algorithm proposed consists of two stages. The first includes three consistently applied methods for determining the main segment axis: along its axis of symmetry; along the vector of the first main component; along the longest segment of the straight line obtained as a result of segment skeletonization. The second stage consists in choosing the direction of segment orientation along the axis, based on comparing contour sections related to conventionally upper and conventionally lower parts of an object, as well as identifying stable differences in them. The algorithm developed has been tested on objects of land, marine and aviation equipment and has shown stable operation with a linear resolution of shooting materials better than 3 m.*

**Key words:** decoding satellite images, pattern recognition, contour orientation, principal component method, wave skeletonization.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2022-81-12-20

### References

1. **Tropchenko A. A., Tropchenko A. Ju.** *Metody vtorichnoj obrabotki i raspoznavaniya izobrazhenij* (Secondary processing and image recognition methods). Uchebnoe posobie. SPb: Universitet ITMO. 2015, 215 p. (in Russian).

2. **Bondarenko M. A.** Bystryj algoritm tochnogo poiska osey zerkal'noj simmetrii na binarnykh rastrovnykh izobrazhenijah. *Tekhnicheskoe zrenie v sistemah upravlenija – 2018: sbornik tezisov.* 2018, pp. 20-22. (in Russian).

3. **Zhaodong Niu, Jiameng Pan, Chenglong Lin, Zengping Chen.** Aircraft recognition in low-resolution SAR imagery using peak feature matching. *Conference: Ninth International Symposium on Multi-spectral Image Processing and Pattern Recognition.* 2015. vol. 9812. id. 98120P 7 pp.

4. **Kudrina M. A., Mishenev V. S.** Algoritm volnovoj skeletizacii rastrovnykh izobrazhenij. *IV Mezhdunarodnaja konferencija i molodjozhnaja shkola «Informacionnye tehnologii i nanotehnologii»:* sbornik trudov. 2018. pp. 784-792. (in Russian).