

## Безэталонный алгоритм обнаружения надводных кораблей по изображению с оптико-электронного канала

П.А. Листов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрен алгоритм обнаружения надводных кораблей на изображениях, полученных с оптико-электронного канала, путем нахождения первой производной от функции яркостей исходного изображения методом Собела. Предложены алгоритмы фильтрации обработанного изображения и обнаружения искомого объекта на основе его семантического описания. Экспериментально определены точностные характеристики алгоритма, сделан вывод о возможности применения данного метода в системах технического зрения беспилотных летательных аппаратов.*

**E-mail: [plistov@gmail.com](mailto:plistov@gmail.com)**

**Ключевые слова:** алгоритм обнаружения, цифровая обработка изображений, фильтр Собела.

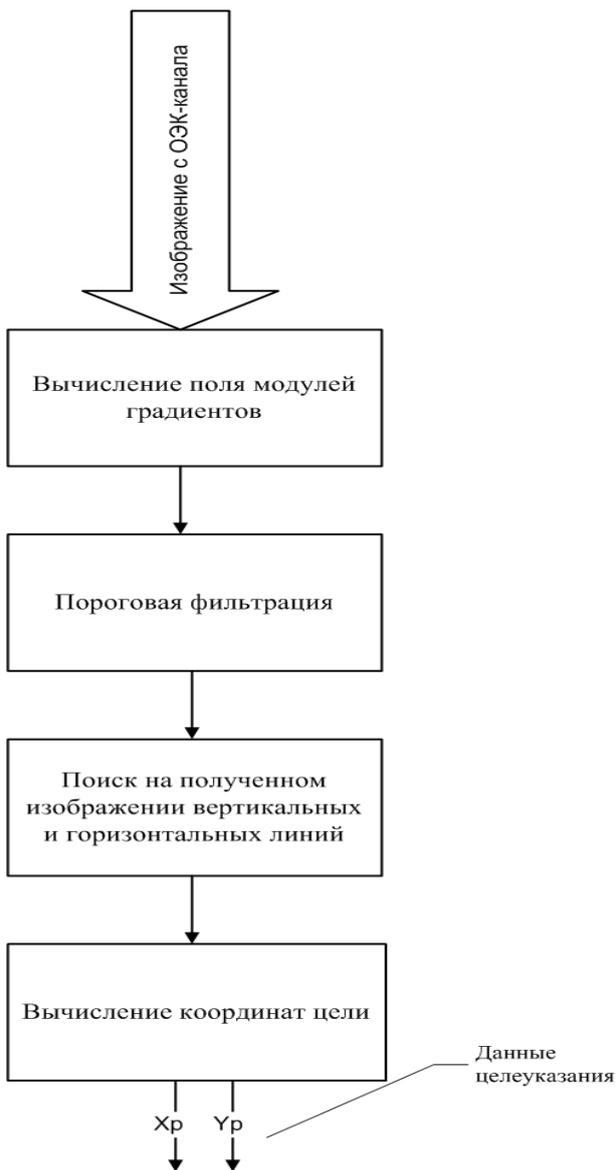
Задачи воздушного наблюдения без участия человека в современных условиях приобрели первостепенное значение. С этой целью создают и эксплуатируют дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА), которые могут быть развернуты там, где это необходимо потребителю информации, что обеспечивает максимальную гибкость их применения.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) могут применяться не только на суше, но и в операциях на море. С помощью этих аппаратов проводят обнаружение, аэрофотосъемку кораблей. Данные, полученные с оптических и радиолокационных каналов БЛА, можно использовать при уточнении целеуказания для конечного наведения крылатых ракет или иных маневренных ЛА.

В данной работе рассмотрен алгоритм, позволяющий обнаруживать надводный корабль (НК) в открытом море и у береговой линии на изображениях, которые получают с оптико-электронного канала (ОЭК) БЛА, работающего в видимом диапазоне спектра. Обнаружение целей осуществляется безэталонным контурным методом с элементами семантики, что применительно к задачам селекции морских целей является новым решением.

**Описание метода обнаружения.** Логика функционирования безэталонного алгоритма приведена на рис. 1. Рассмотрим подробнее каждый из этапов метода.

*Вычисление поля модулей градиентов* [1]. Изображение анализируется фильтром информативности вида



**Рис. 1. Логика функционирования алгоритма обнаружения**

$$G_{x,y} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_{x,y}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_{x,y}}{\partial y}\right)^2}.$$

Здесь  $I_{x,y}$  — функция яркости исходного изображения. Производные по направлениям находят с использованием соответствующих фильтров Собела:

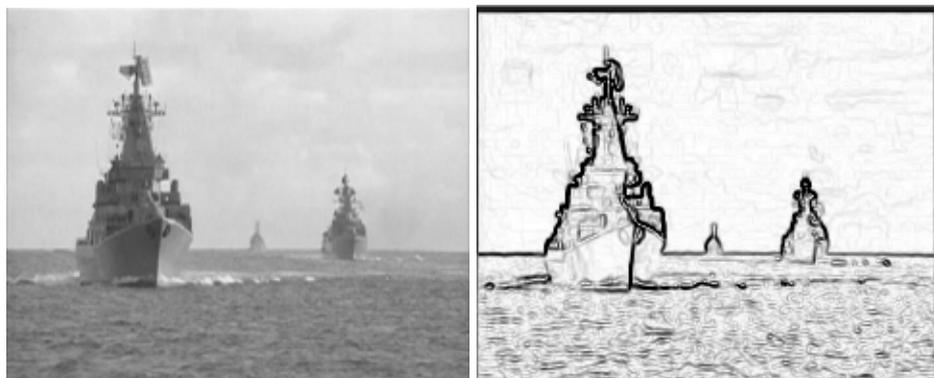
$$Sx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Sy = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix},$$

и новый элемент поля информативности вычисляют следующим образом:

$$\frac{I_{m,n}}{\partial x} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 (I_{m-1+i, n-1+j} Sx_{i,j}); \quad \frac{I_{m,n}}{\partial y} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 (I_{m-1+i, n-1+j} Sy_{i,j});$$

$$I'_{m,n} = \sqrt{\left(\frac{I_{m,n}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{I_{m,n}}{\partial y}\right)^2}.$$

Отфильтровав таким образом исходное изображение, можно выделить контрастирующие с фоном объекты. В результате этого этапа исходное изображение преобразуется к виду, показанному на рис. 2.



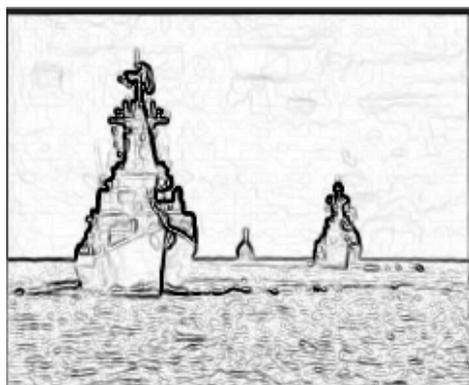
*a*

*b*

**Рис. 2. Нахождение поля градиентов яркости:**

*a* — исходное изображение; *b* — поле градиентов яркости

*Пороговая фильтрация.* Далее необходимо выделить объект на фоне шумов. В данном случае это могут быть рябь на поверхности воды, линия горизонта, береговая линия, облака. Для первичной фильтрации используем интегральный критерий. Для поля градиентов яркости строим гистограмму распределения градиентов. Вводим трехпроцентный барьер (граница барьера была определена экспериментально). Элементы, значения которых входят в трехпроцентный сегмент диаграммы, считаем относящимися к объекту и приравниваем максимальному значению яркости, остальные элементы обнуляем. На втором этапе обнуляются одиночные значения градиента, соответствующие максимуму, но в окрестностях которых (размер окрестности 2 пикселя) не лежат максимальные значения градиента.



*a*



*б*

**Рис. 3. Пороговая фильтрация:**

*a* — поле градиентов яркости; *б* — результат пороговой фильтрации

Таким образом происходит отсеивание лишних и нечетких объектов на изображении. Отфильтрованное изображение приведено на рис. 3.

*Нахождение на полученном изображении вертикальных и горизонтальных линий.* Корабль как объект, в свою очередь, характеризуется набором прямых линий (граница палубы, борт, ватерлиния, контуры рубок, мачты и т. д.). Поэтому задача локализации корабля сводится к поиску наиболее протяженных прямых линий.

Изображение анализируют с разных направлений, находят горизонтальные и вертикальные линии длиной более 4 пикселей. Запоминают координаты начала и конца каждой линии.

*Вычисление координат цели.* Первое и последнее значения соединяют прямой линией. Линию делят на три равные части. В зависимости от настроек алгоритма выбирают координаты либо первой, либо последней трети. Данные координаты принимают в качестве координат уязвимой области НК. Конечный результат работы алгоритма обнаружения представлен на рис. 4.

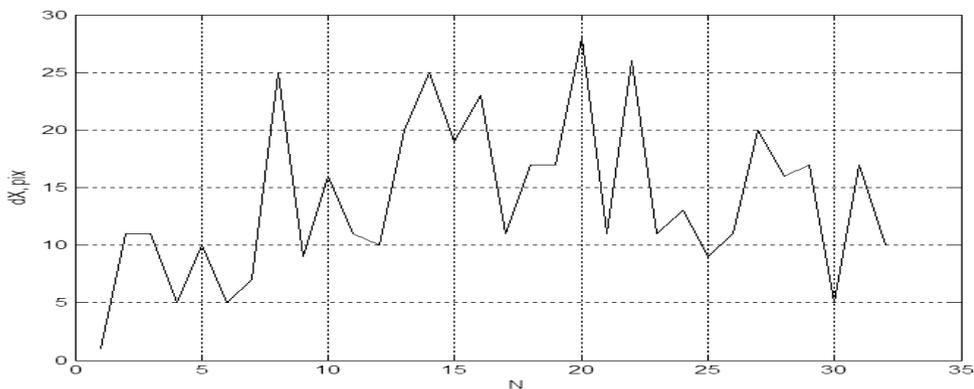


**Рис. 4. Результат работы алгоритма: крестом обозначена точка прицеливания**

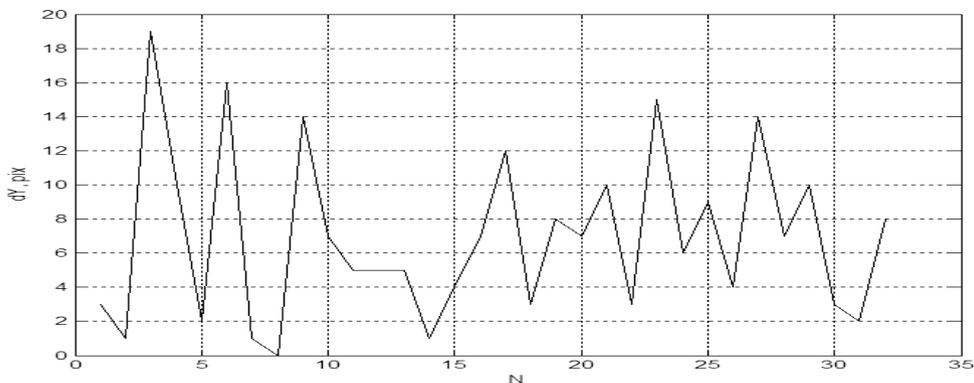
**Тестирование алгоритма обнаружения.** В рамках исследовательской части данной работы реализован описанный ранее безэталонный алгоритм обнаружения морской цели на изображениях, полученных с ОЭК. Проведена серия испытаний и тестов, позволивших оценить точность обнаружения цели.

Программное средство было написано на языке C++ в среде Visual Studio 2003.

Результаты испытаний приведены на рис. 5 и 6.



**Рис. 5. Ошибка определения координат НК по горизонтали**



**Рис. 6. Ошибка определения координат НК по вертикали**

Следует отметить, что по мере приближения камеры к кораблю ошибка естественным образом возрастает, однако увеличивается вероятность распознавания. Так, вероятность правильного обнаружения НК составляет 80 %. Из 40 тестовых изображений цель была правильно обнаружена на 32.

Вероятность правильного обнаружения и величина ошибки также зависят от размытости контура объекта и наличия посторонних одиночных объектов на изображении.

**Математическая модель погрешностей измерений.** Рассчитаем математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение (СКО) для приведенных последовательностей ошибок:

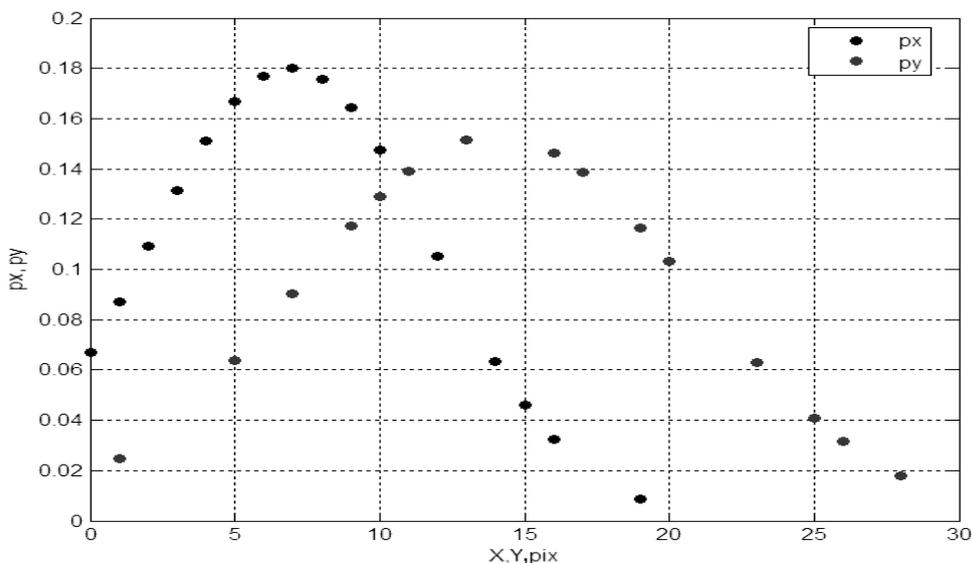
$$M_X = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = 6,9063 \text{ pix}, \quad M_Y = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} = 13,9688 \text{ pix};$$

$$D_X = \frac{\sum_{i=1}^N (X - M_X)^2}{N} = 24,0877 \text{ pix}^2, \quad D_Y = \frac{\sum_{i=1}^N (Y - M_Y)^2}{N} = 46,0313 \text{ pix}^2;$$

$$\sigma_X = \sqrt{D_X} = 4,9079 \text{ pix}, \quad \sigma_Y = \sqrt{D_Y} = 6,7846 \text{ pix}.$$

Принимая во внимание эти допущения, можно при моделировании качественно учесть ошибку обнаружения в ОЭК, внося шумовую составляющую, которая имеет нормальное распределение и соответствующие математические ожидания и СКО (рис. 7).

При наличии большой выборки необходимо провести специальное исследование, чтобы доказать, действительно ли она имеет нормальное распределение. Для этого можно воспользоваться, например, критерием Колмогорова — Смирнова.



**Рис. 7. Распределение вероятности для ошибок по координатам X и Y**

В заключение отметим, что в рамках данной работы представлен алгоритм, позволяющий обнаруживать НК по изображению с ОЭК. Этот алгоритм имеет определенные преимущества по сравнению с эталонными методами обнаружения [2], главное из которых — отсутствие необходимости подготовки эталонов, что само по себе является довольно трудоемкой вычислительной задачей. Алгоритм, использующий изображения, которые получены в видимом диапазоне,

устойчив к таким средствам фоновой засветки, как уголковые отражатели и другие средства радиоэлектронной борьбы.

Однако есть и ряд существенных недостатков. Во-первых, этот метод не является самодостаточным для наведения БЛА на цель, так как невозможно измерить расстояние до объекта, соответственно затруднительным представляется определение линейных размеров объекта. Также данный алгоритм может «захватывать» объекты, не являющиеся истинной целью, например, если речь идет об ордере кораблей.

Учитывая изложенное выше, логично применять данный метод в совокупности с классическими алгоритмами обнаружения, использующими радиолокационные системы. Кроме того, данный алгоритм может быть полезен для комплексирования координатной информации в целях увеличения точности обнаружения объектов и для коррекции навигационных данных самого БЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / под ред. П.А. Чочиа. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. [R.C. Gonzalez, R.E. Woods. Digital Image Processing. N.J.: Prentice Hall, 2002.].
2. Brown L.G. A survey of image registration techniques. Department of computer science. Columbia University, 1992. 60 p.

Статья поступила в редакцию 25.10.2012