



УДК 004.932

© С. В. Сай, Н. Ю. Сорокин, В. В. Бородулин, Д. С. Чемерис, 2012

АЛГОРИТМ ПОИСКА И РАСПОЗНАВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПОДВОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ¹

Сай С. В. – д-р техн. наук, зав. кафедрой «Вычислительная техника», e-mail: sai@evm.khstu.ru, тел.: (4212) 22-43-78 (ТОГУ); *Сорокин Н. Ю.* – канд. техн. наук, доцент каф. «Вычислительная техника» (ТОГУ); *Бородулин В. В.* – преподаватель каф. «Вычислительная техника» (ТОГУ); *Чемерис Д. С.* – асп. каф. «Вычислительная техника» (ТОГУ)

В статье приводятся результаты исследования эффективности алгоритма поиска и распознавания малоконтрастных объектов изображений в системе технического зрения подводного робота. Предложен эффективный алгоритм поиска и распознавания искусственного объекта по его известным геометрическим и контурным характеристикам.

The paper presents the results of research on the effectiveness of search algorithm and the recognition of low-contrast images of objects in the vision of the underwater robot. An efficient algorithm to search for and recognition of artificial object on its well-known geometric and outline specifications.

Ключевые слова: распознавание образов, обработка изображений.

Введение

Алгоритмы поиска и распознавания объектов цифровых изображений используются в различных системах технического зрения. К таким системам относятся: системы технического зрения роботов, системы распознавания и идентификации человека по отпечатку пальца, системы проверки подлинности документа по изображению оттиска печати [1] и многие другие. Описание известных алгоритмов поиска и распознавания объектов изображений достаточно хорошо представлено в литературе, например, в [2] и [3]. В качестве критерия распознавания обычно используется среднеквадратичное отклонение.

¹ Работа выполнена при выполнении НИР (Государственный контракт № П476) в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Дополнительно к основным признакам используются спектральные характеристики, числовые моменты, цветовые признаки, сегментация и др. К новейшим методам [4] обработки и распознавания изображений относятся вейвлет-анализ и фрактальное распознавание.

Обзор современных методов поиска и распознавания показывает, что используемые на практике алгоритмы достаточно хорошо работают при распознавании объектов с высоким контрастом и с низким уровнем помех в изображении.

В качестве датчиков изображений в системе технического зрения подводного робота могут быть использованы следующие приборы: гидролокаторы бокового (ГБО), кругового или секторного обзора, фото и видео камеры. К особенностям подводных изображений относится их высокая зашумленность и малый контраст, что требует поиска более эффективных методов и средств поиска и распознавания.

В статье приводится описание этапов алгоритма поиска и распознавания малоконтрастных объектов искусственного происхождения в системе технического зрения робота, где в качестве датчика изображений используется подводная фотокамера. Приводится анализ эффективности разработанных алгоритмов в модельном образце системы технического зрения при решении задачи поиска и распознавания объектов по известным геометрическим и контурным признакам.

Внедрение объекта в изображение морского дна

Для проверки работоспособности и оценки эффективности алгоритмов поиска и распознавания подводных объектов, на первом этапе исследований, необходимо было разработать программу внедрения искусственного объекта в реальное подводное изображение морского дна.

Для хранения и внедрения образов объектов была разработана база данных, в которой подводные объекты разделены на следующие классы: 1) сферические; 2) цилиндрические; 3) кубические. Также в программе реализована функция внедрения объекта произвольной формы.

Выделим геометрические параметры для каждого класса:

1. Сферические объекты: а) диаметр.
2. Цилиндрические объекты: а) внешний диаметр; б) внутренний диаметр; в) длина; г) угол поворота относительно оси X ; д) угол поворота относительно оси Y ; е) угол поворота относительно оси Z .
3. Кубические объекты: а) длина; б) ширина; в) высота; г) угол поворота относительно оси X ; д) угол поворота относительно оси Y ; е) угол поворота относительно оси Z .

При формировании базы данных, синтезированное или полученное из фотоснимка, изображение объекта вставляется в соответствующий класс. При этом для каждого объекта вычисляются его геометрические параметры.

Рассмотрим алгоритм внедрения объекта. Пусть f – изображение морского дна, g – изображение объекта, x_1, y_1 – координаты пикселей изображения



морского дна, с которых выполняется внедрение объекта. Тогда псевдокод алгоритма внедрения будет выглядеть следующим образом:

```
цикл по y от 0 до h-1;  
цикл по x от 0 до w-1;  
    если  $g(x,y) \neq$  прозрачный цвет, то  $f(x+x_1, y+y_1) = g(x,y)$ ;  
конец цикла по x;  
конец цикла по y.
```

В псевдокоде: h – высота изображения объекта; w – ширина изображения объекта; прозрачный цвет – значение пикселя, соответствующее прозрачному цвету объекта.

На рис. 1 показан интерфейс программы внедрения объекта, где в качестве примера изображения выбрана фотография морского дна с разрешающей способностью 500×355 пикселей из коллекции сайта [5]. К особенностям изображения относится наличие объектов природного происхождения, таких как камни, подводные растения и др. В качестве примера искусственного объекта выбран синтезированный объект сферической формы.

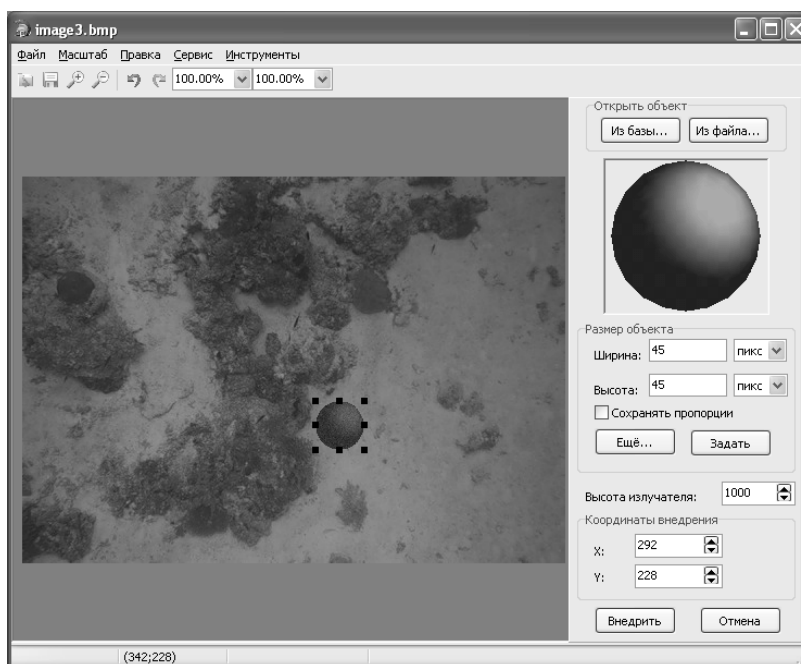


Рис. 1. Интерфейс программы внедрения объекта

В программе реализованы следующие функции обработки изображения объекта:



- вставка объекта с помощью указателя мыши в произвольную область изображения;
- изменение ширины и высоты объекта с помощью указателя мыши;
- изменение яркостных и контрастных характеристик;
- поворот объекта на заданный угол;
- наложение на изображение объекта гауссова шума;
- установка высоты излучателя.

Последняя функция может быть использована при внедрении объекта в изображение морского дна, полученного с помощью гидролокатора бокового обзора. В этом случае при внедрении объекта формируется «тень», параметры которой зависят от размера объекта, высоты излучателя и пространственного положения объекта относительно излучателя.

К достоинствам разработанной программы относится, то, что пользователь может оперативно изменять такие характеристики как масштаб, яркость, контраст, угловую ориентацию и пространственное положение объекта с мгновенной визуализацией внесенных изменений.

Таким образом, разработанные программные средства позволяют моделировать подводные объекты по характеристикам близким к реальным объектам с помощью их предварительной обработки и с последующим внедрением в реальные фото или ГБО изображения.

Предварительная обработка изображения

Для решения задачи поиска объекта необходимо выполнить предварительную обработку изображения, которую мы предлагаем разбить на следующие этапы:

- низкочастотная фильтрация;
- выделение контуров;
- бинаризация.

На первом этапе выполняется двумерное гауссово «размытие». Применение такого фильтра необходимо для сглаживания зернистости изображения и для повышения эффективности выделения контурных линий на следующем этапе. Размер окна гауссова фильтра подбирается экспериментально.

На втором этапе выполняется алгоритм выделения контуров с помощью оператора Робертса. Как показывают результаты исследований, оператор Робертса по сравнению с другими известными операторами (Собеля, Превитта, Кирша и др.) позволяет более эффективно выделять тонкие контурные линии малоконтрастных объектов изображения [2]. К недостатку алгоритма относится его относительная чувствительность к шуму.

На третьем этапе выполняется алгоритм адаптивной бинаризации, в котором каждому пикселю изображения присваивается значение черного цвета при выполнении следующего условия

$$f(x, y) > fm * pr ,$$



где fm – среднее значение яркости контурного изображения; pr – адаптивный порог, который подбирается экспериментально. Выбор значения порога зависит от контраста объекта. При этом увеличение порога приводит к выделению более контрастных контурных перепадов и наоборот.

На рис. 2 показан пример предварительной обработки подводного изображения, в которое внедрен реальный объект дисковой формы.

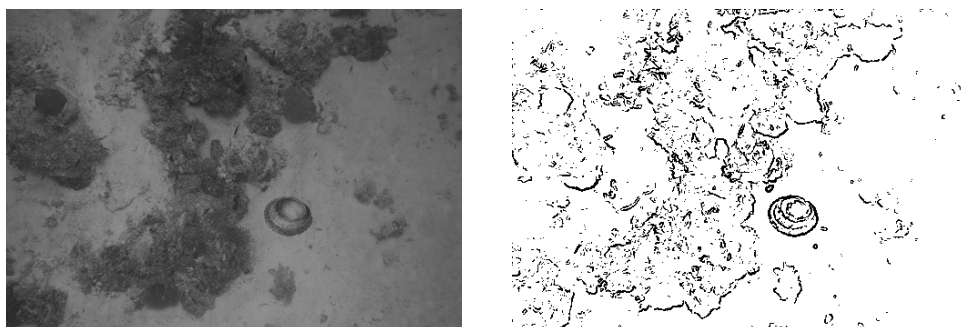


Рис. 2. Получение контурного изображения

При получении контурного изображения последовательно выполнены этапы: низкочастотной гауссовой фильтрации с окном 3×3 элемента; выделения контуров с помощью оператора Робертса; адаптивной бинаризации с порогом $pr = 2,0$. Из рисунка видно, что разработанный алгоритм позволяет достаточно отчетливо выделять контур внедренного объекта.

Алгоритм поиска и распознавание объекта

После предварительной обработки изображения необходимо решить задачу поиска, обнаружения и распознавания объекта.

С этой целью, на первом этапе, требуется выполнить масштабирование изображения эталона. Для изображения объекта произвольной формы в базе данных хранятся его основные геометрические параметры – ширина (w) и высота (h) в пиксельных значениях и в метрах. При фотосъемке морского дна масштаб изображения объекта будет отличаться от его реальных размеров.

Для определения коэффициента масштабирования (k_m) необходимо знать следующие параметры: разрешающую способность фотокамеры ($N_x \times N_y$), угол обзора объектива (α) и расстояние (L) от объектива до поверхности морского дна. Зная эти параметры, мы можем определить размер изображения и его разрешающую способность в метрах.

В частности, при значении угла обзора $\alpha = 90^\circ$ и вертикальной фотосъемки, из тригонометрических формул определения сторон равнобедренного треугольника следует, что ширина и высота изображения будет равна $2L$ (м).

Например, при значении $L = 2$ м и при разрешающей способности фотокамеры равной 512×512 , расстояние между соседними пикселями изображения будет равно $\Delta_1 = 0,78$ см.

Для расчета коэффициента масштабирования, по известной разрешающей способности изображения эталона и его геометрическим размерам, находим межпиксельное расстояние Δ_2 изображения эталона в метрах. Далее определяем коэффициент масштабирования $k_m = \Delta_2 / \Delta_1$. Если $k_m > 1$, уменьшаем масштаб изображения эталона в k_m раз.

После масштабирования изображения эталона, выполняется его предварительная обработка по аналогичному алгоритму получения контурного изображения морского дна. На рис. 3 показан пример эталонного изображения после уменьшения его масштаба ($k_m = 2$) и оконтуривания.

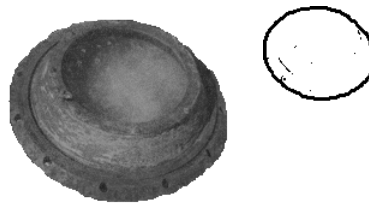


Рис. 3. Обработка эталонного изображения объекта

На следующем этапе выполняется поиск и распознавание объекта по его контурным признакам. Мы предлагаем следующий алгоритм.

1. Формируется окно с размерами $W=w/k_m$ и $H=h/k_m$ пикселей, в которое вставляется бинарное контурное изображение эталона с измененным масштабом в k_m раз и с заданным углом поворота θ .

2. Окно эталона, начиная с левого верхнего края анализируемого контурного изображения, перемещается последовательно на один пиксель по горизонтали и далее по вертикали.

3. На каждой j -й итерации вычисляется вероятность распознавания объекта (P_o) в виде процентного отношения числа совпавших контурных точек эталона с контурными точками анализируемого окна изображения.

4. Если вероятность превышает пороговое значение ($P_o > P_p$), принимается решение о том, что объект распознан. По значению j находится пространственное положение центра объекта (x_o, y_o) и на этом алгоритм заканчивается.

5. Если вероятность P_o меньше порогового значения для всех итераций, изображение эталона поворачивается на заданный угол, относительного начального значения θ и, далее, повторяются пункты 2-4.

6. Если, после выполнения всех итераций по углу поворота, вероятность распознавания не превысила порогового значения, то принимается решение о том, что объект в изображении отсутствует.



Алгоритм достаточно прост в реализации и, по сути, подобен алгоритму вычисления двумерной корреляционной функции двух изображений. К недостатку алгоритма относится его вычислительная сложность, которая зависит от количества итераций. Общее количество итераций находится по формуле:

$$N_o = (N_x - W) \times (N_y - H) \times N_\theta,$$

где N_θ – количество итераций по углу поворота. Очевидно, что максимальное значение N_o будет соответствовать случаю, когда вероятность распознавания не превысила порогового значения для всех итераций. Например, при размере изображения 512×512 пикселей, при размере эталонного окна 32×32 пикселей и при количестве итераций по углу поворота $N_\theta = 36$ потребуется максимальное количество итераций $N_o = 480 \times 480 \times 36 = 8294400$. Если объект найден и распознан, то количество итераций будет соответствовать номеру итерации, на котором вероятность P_o превысила пороговое значение.

Анализ эффективности алгоритма

Для анализа эффективности работы алгоритма разработана моделирующая программа и проведен ряд экспериментов по оценке вероятности распознавания объектов. С помощью программы внедрения объекта (рис. 1) сформирован набор тестовых изображений, в которых внедрены объекты различной формы и с разными характеристиками. В процессе исследований вычислялась зависимость вероятности распознавания от следующих характеристик объекта: форма, контраст, масштаб. Также, учитывались свойства окружающего фонового изображения, а именно его неоднородность.

На первом этапе эксперимента исследована зависимость вероятности распознавания от контраста объекта. Контраст объекта вычислялся в процентах по следующей формуле

$$K_o = \left(\frac{Y_o - Y_\phi}{Y_\phi} \right) \cdot 100\%,$$

где Y_o – средняя яркость объекта и Y_ϕ – средняя яркость окружающего фона.

На рис. 4 показан пример изображения реального объекта дисковой формы с разным значением контраста, расположенном на однородном (рис. 4а) и на неоднородном (рис. 4б) фоне. В результате экспериментов получено, что алгоритм позволяет распознавать объекты с вероятностью не менее 60%, контраст которых относительно окружающего фона превышает 10%. Если значение контраста $K_o \leq 10\%$, объект не распознается.

На следующем этапе эксперимента была исследована зависимость вероятности распознавания от размера объекта и, следовательно, от коэффициента масштабирования. Задача эксперимента – определение минимального размера объекта, при котором выполняется его распознавание. В результате исследований получено, что минимальный размер масштабированного объекта должен быть не менее 8-10 пикселей, как по горизонтали, так и по вертикали. В этом случае объект будет распознан с высокой вероятностью ($P_o > 60\%$) как на однородном, так и на неоднородном фоне.

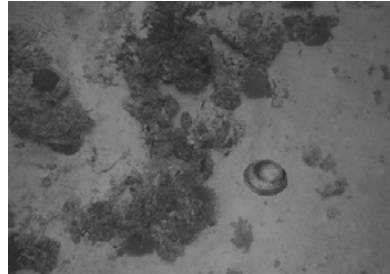
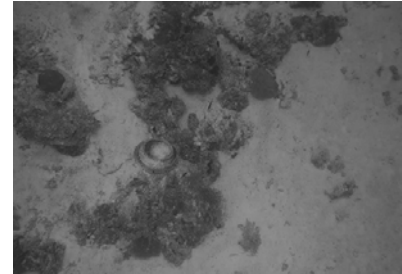
а) $K_o = 40\%$; $P_o = 90\%$ б) $K_o = 30\%$; $P_o = 60\%$

Рис. 4. Влияние контраста объекта на вероятность распознавания

Заключение

К особенностям разработанного алгоритма, по сравнению с аналогами, относится следующее.

1. Алгоритм позволяет распознавать объекты искусственного происхождения любой произвольной формы по его контурным признакам с вероятностью не менее 60%.

2. Алгоритм является инвариантным к изменению масштаба и углу поворота объекта относительно эталона.

3. Алгоритм позволяет распознавать объекты с контрастом не менее 10% относительно окружающего фона, и с минимальным размером изображения объекта в 8-10 пикселей.

Результатом работы алгоритма является определение пространственных координат распознанного объекта. К недостатку алгоритма следует отнести его невысокое быстродействие.

К перспективам развития относится аппаратная реализация алгоритма с использованием технологии FPGA и испытание в реальной системе технического зрения подводного аппарата.

Библиографические ссылки

1. Сай И. С. Эффективность алгоритмов поиска оттиска печати в изображении документа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – №4(15). – 2009.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006.
3. Pratt W.K. Digital Image Processing. – Wiley, 2001.
4. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А. А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
5. Фотографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fotki.yandex.ru/users/inmira/tags/морское_дно. – Дата обращения: 14.05.12