

Поиск фоновых областей в изображении

В.А.Нестеренко

*Институт математики, механики и компьютерных наук,
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
neva09@mail.ru*

Поступила в редколлегию 19.09.2016

Аннотация—В предлагаемой статье рассматривается метод нахождения и локализации фоновых областей изображения. Под фоновой областью понимается относительно большая, связная группа пикселей с близкими характеристиками. В качестве характеристик пикселей предлагается использовать признаки Хаара, а для выявления связных групп пикселей - метод нечёткой кластеризации FCM. Впоследствии, характеристики найденных областей фона могут быть использованы для локализации других объектов изображения, расположенных на данном фоне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обработка изображений, фон изображения, локализация объектов, признаки Хаара.

1. ВВЕДЕНИЕ

Первым этапом задачи распознавания образов в большинстве случаев является локализация объекта на изображении: выделении связной группы пикселей по каким либо признакам отличающихся от остальной части изображения. В тех случаях, когда общие характеристики объекта известны (расположение глаз и губ лица на фотографии, относительный размер и местоположение символов на автомобильном номере, ...) для локализации объекта обычно используют вейвлет-преобразование (метод Виолы–Джонса [1]) или особые точки изображения (например углы на изображении объекта[2]). Известные свойства объекта, в этом случае, учитываются посредством использования специально подобранных параметров (в методе Виолы–Джонса – это набор масок Хаара [3]). В том случае, если характеристики объекта заранее не известны (например поиск объектов искусственного происхождения на аэроснимках), указанные методы обычно не применимы. В этой ситуации к решению задачи локализации можно подойти с другой стороны: вначале определить, что является фоном изображения и считать участки изображения отличные от фона искомыми объектами. В работе [4] был предложен метод локализации объектов на изображении основанный на нахождении групп пикселей, отличных по значениям некоторых характеристик от значений, усреднённых по всему изображению. Подобная модель предполагает, что изображение состоит из фона (общего для всего изображения) и инородных (по отношению к фону) объектов. При таком подходе характеристики разных областей фона не должны сильно отличаться друг от друга, иначе некоторые участки фона могут быть восприняты как искомые объекты. На практике часто встречаются случаи, когда изображение содержит несколько разных фоновых областей: море и береговая линия или лес и поле на аэроснимках. В такой ситуации использование усреднённых по изображению характеристик для поиска объектов может не обеспечивать требуемой точности распознавания. В этом случае всё изображение следует разбить на несколько крупных областей с постоянными значениями характеристик и осуществлять поиск объектов в пределах каждой фоновой области в соответствии с её характеристиками.

Обычно, при обработке изображений, разделение на фон и объекты используется в задачах локализации движущихся объектов на неподвижном фоне [5] или с целью изменения качества изображения [6]. Предлагаемый в статье метод выделения фоновых областей изображения предназначен для использования при локализации объектов с неизвестными характеристиками. Этот метод также может быть использован при разработке системы автоматического управления автомобилем, когда на видеоизображении требуется отличать участки дорожного покрытия от обочин дороги.

В данной статье рассматривается метод выделения однородных фоновых областей, основанный на анализе и выявлении сходных характеристик в группе пикселей изображения. Предполагается, что всё изображение состоит из фоновых областей – достаточно больших, связанных групп пикселей с близкими характеристиками и объектов – небольших групп пикселей с заранее неизвестными характеристиками, отличными от характеристик фона. В подобном аспекте задача использования и обработки фоновой части изображения ранее не рассматривалась и предлагаемый метод является оригинальным.

2. ВЫДЕЛЕНИЕ ФОНОВОЙ ОБЛАСТИ В ИЗОБРАЖЕНИИ

Определение. Фоновой областью изображения будем считать достаточно большую, связную область с близкими характеристиками пикселей её составляющих.

На тестовой картинке Рис. 1 фон состоит из двух областей: левая и правая половины изображения. Кроме этого, на изображении присутствуют два инородных объекта не являющихся фоном. В соответствии с определением будем считать, что размер области изображения принадлежащей фону намного больше размера инородного объекта.

В качестве характеристик, которые определяют принадлежность пикселя к фону или инородному объекту на изображении, будем использовать признаки Хаара [3]. Пусть $B(i, j)$ обозначает яркость пикселя с координатами (i, j) . Пикселю изображения с координатами (i_0, j_0) поставим в соответствие набор характеристик, вычисленных в окрестности $\Omega(i_0, j_0)$ данного пикселя с различными масками m :

$$P_m(i_0, j_0) = \sum_{(i,j) \in \Omega(i_0, j_0)} s_m(i - i_0, j - j_0) \cdot B(i, j). \quad (1)$$

В формуле (1) суммирование проводится по множеству пикселей принадлежащих окрестности $\Omega(i_0, j_0)$. Значения характеристик P_m вычисляются для тех точек (i_0, j_0) , для которых область окрестности $\Omega(i_0, j_0)$ полностью расположена внутри исходного изображения, часть пикселей вблизи границы изображения исключается из рассмотрения.

Окрестность $\Omega(i_0, j_0)$ выбираем в виде прямоугольника с центром (i_0, j_0) и с размерами сторон S_x и S_y . При вычислении характеристики P_m суммирование значений яркости $B(i, j)$ производится в соответствии с заданной маской: $s_m(i', j')$ принимает значение +1 если соответствующий пиксель маски белый, -1 в противном случае. На Рис. 2 приведён набор масок для формирования используемых признаков Хаара.

Суммирование значений яркости в формуле (1) аналогично вычислению интеграла по прямоугольной области с размерами сторон S_x и S_y :

$$h_{kl}^{ab} = \int_{x-S_x/2}^{x+S_x/2} ds \int_{y-S_y/2}^{y+S_y/2} dt B(s, t) f_k^{(a)}(s) f_l^{(b)}(t). \quad (2)$$

Функции $f_n^{(c)}(x)$, $c = \{1, 2\}$ имеют вид приведённый на Рис. 3. В верхней части рисунка приведена функция $f_n^{(1)}(x)$, в нижней – $f_n^{(2)}(x)$. Параметр n обозначает число целых периодов функции $f_n^{(c)}(x)$ на интервале S_x или S_y . Формула (2) аналогична формуле вычисления

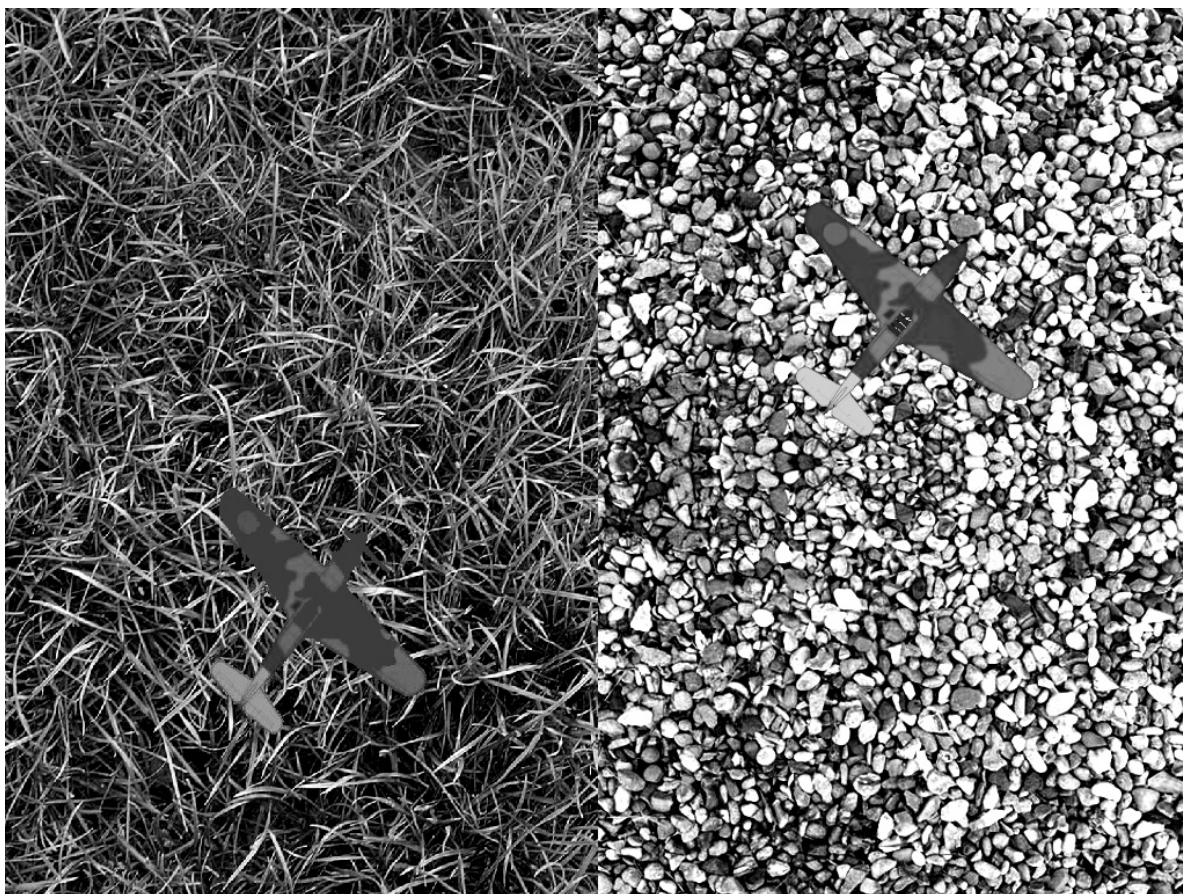


Рис. 1. Пример объектов и фона на изображении.



Рис. 2. Набор масок для формирования признаков Хаара.

коэффициентов ряда Фурье, где вместо функций $\sin(x)$ и $\cos(x)$ используются функции меандра. Применение функций меандра для нахождения характеристик позволяет использовать эффективный метод интегрального представления изображений (Summed Area Table) [7] при вычислении суммарного значения яркости пикселей по прямоугольным областям.

Величина

$$w_{kl} = (h_{kl}^{11})^2 + (h_{kl}^{12})^2 + (h_{kl}^{21})^2 + (h_{kl}^{22})^2 \quad (3)$$

является аналогом плотности спектра энергии для преобразования Фурье. В предлагаемом подходе, при вычислении набора характеристик $\{H\}$ точки изображения, мы будем использовать величину

$$H_m = \sqrt{k \cdot l \cdot w_{kl}}, \quad (4)$$

где индекс $m = k \otimes l$

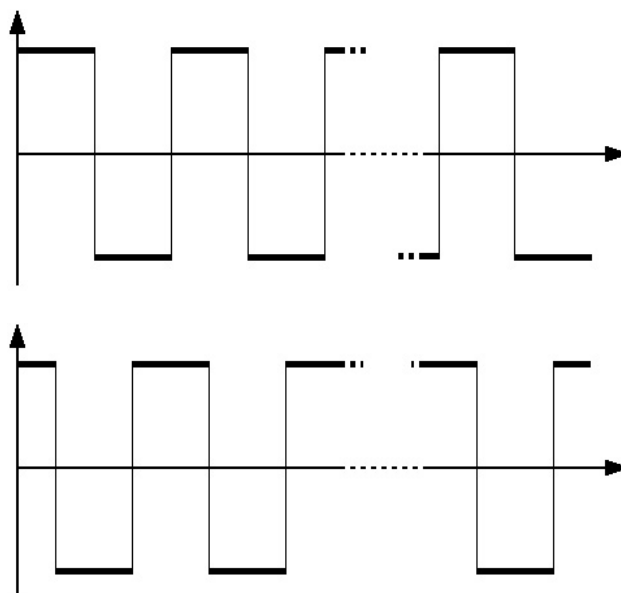


Рис. 3. Функции меандра $f_n^{(1)}(x)$ и $f_n^{(2)}(x)$

Подобный выбор H_m в качестве характеристики пикселя позволяет идентифицировать область изображения в соответствии с характерными размерами объектов в этих областях.

Таким образом, от двумерной поверхности изображения мы переходим к пространству характеристик $\mathcal{H}$ размерности M . Используя расстояние

$$d(H^{(1)}, H^{(2)}) = \sqrt{\sum_{m=1}^M (H_m^{(1)} - H_m^{(2)})^2}, \quad (5)$$

можно оценить степень близости характеристик двух пикселей. Если расстояния $d(H^{(i)}, H^{(j)})$ внутри группы пикселей малы и число точек в группе достаточно велико, то можно говорить о выявлении множества пикселей образующих фон.

3. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТИ ФОНА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Задачу нахождения указанных групп пикселей можно решать методами кластерного анализа. Из изображения Рис. 1 следует, что в пространстве $\mathcal{H}$, при адекватном выборе характеристик, точки должны собраться в две группы, два кластера, соответствующих левой и правой половинам изображения. Объекты не относящиеся к фону составляют небольшую часть изображения и не окажут существенного влияния на формирование параметров кластеров в пространстве характеристик $\mathcal{H}$.

Воспользуемся формулой (4) и, с учётом формул (2) и (3) вычислим характеристики пикселей тестового изображения Рис. 1 и посмотрим, как расположены точки в соответствующем пространстве характеристик $\mathcal{H}$. На Рис. 4 приведено относительное расположение точек в пространстве характеристик (для наглядности на рисунке приведена только часть точек тестового изображения). Красные метки (косые кресты) соответствуют пикселям левой половины тестовой картинки Рис. 1, зелёные (треугольники) – правой. Для получения картинки Рис. 4 был использован метод многомерного шкалирования предложенный в работе [8] – проекция набора точек в пространстве большой размерности на двумерную поверхность. Из приведённого рисунка видно, что точки относящиеся к разным фоновым областям группируются в разных

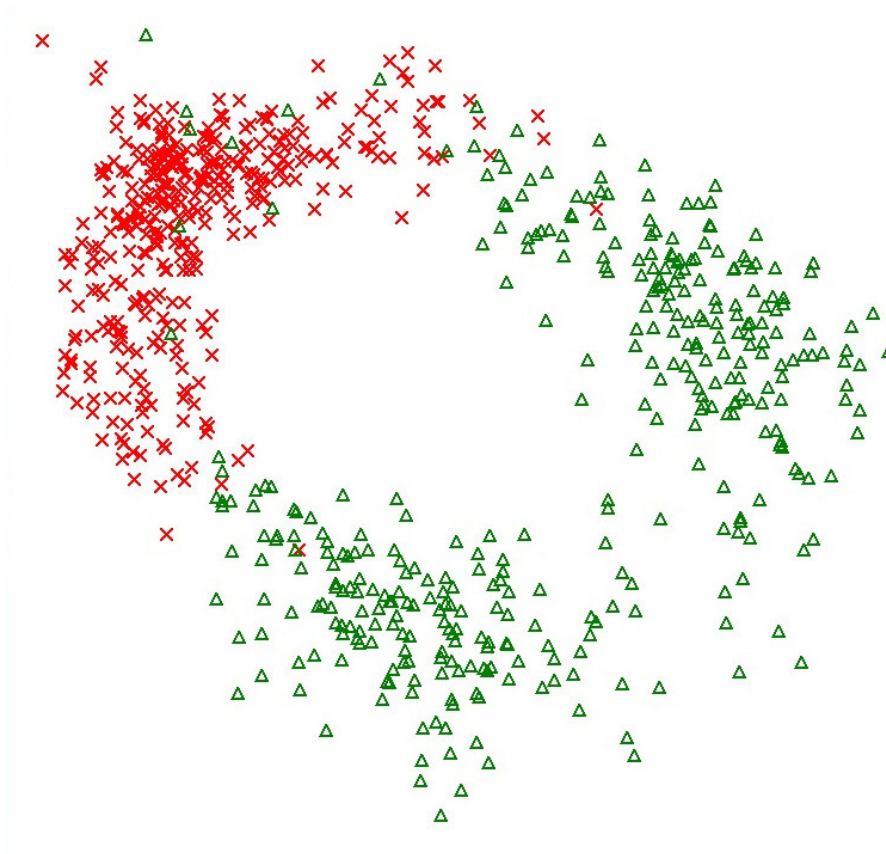


Рис. 4. Расположение точек изображения в пространстве характеристик (проекция на 2-мерную поверхность).

частях пространства характеристик, на Рис. 4 это левый верхний и правый нижний углы. Однако, из-за того что характерные размеры объектов фона в разных частях Рис. 1 близки, а также при формировании характеристик вблизи линии раздела левой и правой частей изображения одновременно учитываются пиксели из обеих, то эти две группы точек не обособлены друг от друга. В этом случае для нахождения кластеров, соответствующих разным областям фона на изображении, можно воспользоваться методом нечёткой кластеризации FCM (Fuzzy Classifier Means) [9].

В алгоритме FCM вхождение элемента в кластер задаётся матрицей принадлежности μ_{ki} ; μ_{ki} – вероятность того, что точка $H^{(i)}$ принадлежит кластеру $C^{(k)}$. Алгоритм кластеризации FCM является итерационным алгоритмом, на каждом шаге итерации выполняются следующие действия:

1. Вычисляются координаты центра кластера как взвешенное среднее координат точек образующих кластер:

$$C_m^{(k)} = \sum_{H^{(i)} \in C^{(k)}} (\mu_{ki})^q \cdot H_m^{(i)}. \quad (6)$$

Параметр q является параметром метода FCM и определяет степень "жёсткости" при разбиении множества элементов на кластеры.

2. Вычисляются компоненты матрицы принадлежности:

$$\mu_{ki} = \frac{A}{d(C^{(k)}, H^{(i)})^{\frac{1}{q}}}. \quad (7)$$

Значение параметра A определяется из условия нормировки

$$\sum_k \mu_{ki} = 1.$$

3. Случайным образом, в соответствии с вероятностями μ_{ki} , определяется принадлежность точки $H^{(i)}$ кластеру $C^{(k)}$.

Использование стандартного алгоритма FCM учитывает степень близости точек в пространстве характеристик в соответствии с введённой метрикой (5). Однако, группа пикселей, составляющая фоновую часть изображения, должны быть близки и на плоскости исходного изображения. Для учёта этого обстоятельства введём в формулу вероятности μ_{ki} принадлежности элемента кластеру (7) зависимость от того, какому кластеру принадлежат соседние пиксели. Обозначим через N_{ki} число пикселей принадлежащих кластеру $C^{(k)}$ соседних для элемента $H^{(i)}$, $0 \leq N_{ki} \leq 8$. При расчёте μ_{ki} вместо (7) используем формулу:

$$\mu_{ki} = \frac{A}{\tilde{d}(C^{(k)}, H^{(i)})^{\frac{1}{q}}}, \quad (8)$$

где

$$\tilde{d}(C^{(k)}, H^{(i)}) = \frac{d(C^{(k)}, H^{(i)})}{(1 + \alpha \cdot N_{ki})}.$$

4. РЕЗУЛЬТАТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

На Рис. 5 представлен результат применения предлагаемого метода выделения фоновых частей изображения к тестовой картинке Рис. 1. Здесь метками красного (кресты) и зелёного (треугольники) цветами помечены пиксели принадлежащие разным фоновым областям. Изначально, возможное число фоновых областей изображения было установлено равным двум. При получении приведённого результата экспериментально были подобраны следующие значения параметров:

- Размер области для вычисления характеристик пикселя H_m : $S_x = 60$, $S_y = 60$.
Набор возможных значений числа периодов функций меандра $f_n^{(a)}(x)$: $\{1, 2, 3, 5, 6, 10, 15\}$.
Размерность пространства характеристик $\mathcal{H}$: $M = 49$.
- Значение параметра q алгоритма FCM в (6,7,8): $q = 1.1$.
- Значение параметра учёта влияния соседних пикселей в (8): $\alpha = 0.035$.

Из результата, представленного на Рис. 5, видно, что применение предлагаемого метода выделяет две области фона на тестовом изображении. Последующее применение результатов идентификации фоновых областей возможно через использование параметров соответствующих кластеров (средневзвешенные значения характеристик пикселей образующих кластер например), в этом случае влияние инородного объекта на параметры кластера будет мало, если число пикселей кластеров фона существенно больше числа пикселей инородного объекта. Так, например, группа пикселей в правой части изображения, принадлежащая инородному объекту (самолёту) и отнесённая к фону левой части изображения, не окажет существенного влияния на характеристики соответствующего кластера.

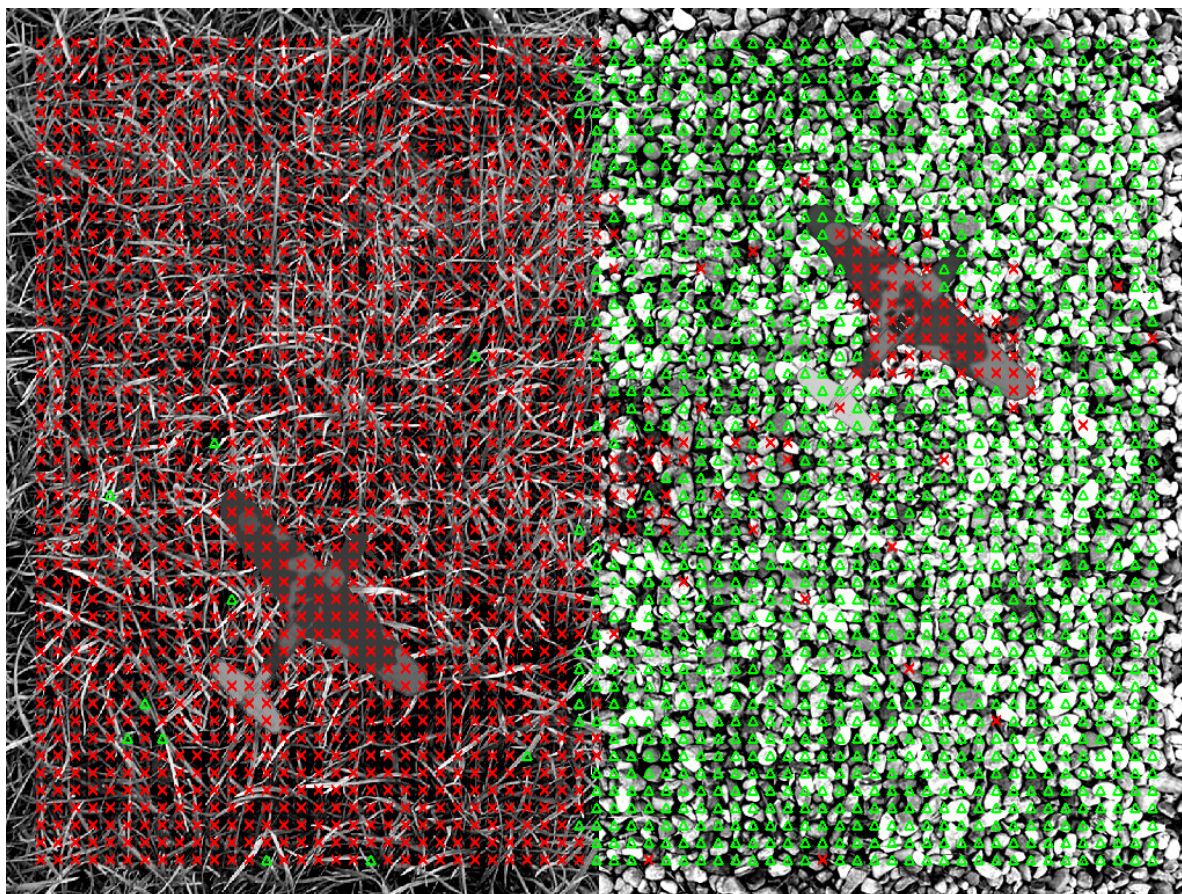


Рис. 5. Результат выделения фона изображения. Размер изображения 1024x768.

Параметры, характеризующие долю правильно и ошибочно классифицированных пикселей, составляют:

$true\ positive\ rate \approx 0.98$, $false\ negative\ rate \approx 0.02$ – для левой половины тестового рисунка

$true\ positive\ rate \approx 0.96$, $false\ positive\ rate \approx 0.29$, $true\ negative\ rate \approx 0.71$, $false\ negative\ rate \approx 0.04$ – для правой.

Параметры FPR и TNR не определены для левой части изображения и появляются в правой части из-за наличия инородного объекта, пиксели которого не входят в состав фоновой области. Полученные значения могут служить оценкой точности метода, однако, их величина может измениться в зависимости от степени близости характеристик различных фоновых областей, наличия инородных объектов и вследствие вероятностного характера используемого метода нечёткой кластеризации FCM.

Доли пикселей, правильно квалифицированные как принадлежащие к своей фоновой области, составляет 0.98 для левой половины изображения и 0.92 – для правой. Приведённые значения могут служить оценкой точности метода, однако, их величина может измениться в зависимости от степени близости характеристик различных фоновых областей и наличия инородных объектов.

Набор характеристик (4), используемый для выявления фона, позволяет различать области в соответствии с характерными размерами деталей изображения в составе фоновых областей и распределению значений их размеров по величине. Такой выбор характеристик позволяет идентифицировать множество фоновых областей аналогичных приведённым на Рис. 1. Этот факт подтверждается экспериментальной проверкой для набора других фоновых изображе-

ний. На Рис. 6 и Рис. 7 представлены результаты применения предлагаемого метода к фотографиям реальных объектов. Используемые здесь фотографии взяты из общедоступной базы изображений [10]. При этом были использованы те же значения параметров метода, что и для тестового изображения Рис. 1.

Для получения представленных результатов был использован персональный компьютер IBM PC 2.33GHz 4Gb. В случае тестовой картинки Рис. 1 (размер 1024x768) при вычислении характеристик и определения принадлежности к фоновой области пиксели изображения выбирались с шагом 15 в горизонтальном и вертикальном направлениях. Время получения результата представленного на Рис. 5 составило ~ 5 сек. Процесс выделения фоновых областей условно можно разделить на три этапа: Этап предварительная обработки, в основном это преобразование исходного изображения в интегральное представление. Этот этап занимает менее 0.02 сек. Следующий этап – вычисление характеристик пикселей изображения. Продолжительность этого этапа линейно зависит от количества обрабатываемых пикселей и числа используемых характеристик (4). В силу использования интегрального представление изображения продолжительность данного этапа вычислений не зависит от размера сторон области S_x и S_y в формуле (2). В рассматриваемом случае продолжительность второго этапа составляет 2.5 сек. Последний, третий этап – кластеризация данных в пространстве характеристик для группировки пикселей в фоновые области. Время вычислений на этом этапе зависит от количества точек в пространстве характеристик (количества пикселей) и заданного числа кластеров в алгоритме кластеризации FCM. Это время составляет около 2.0 сек. Задача распараллеливания и оптимизации алгоритма вычислений специально не рассматривалась и приведённые временные характеристики могут быть улучшены.

Рассматриваемый метод определения характеристик фоновых областей предполагает, что в пределах одной области характеристики меняются мало. Однако, в реальности часто встречаются случаи когда характеристики непрерывно и заметно изменяются в пределах области изображения, или пиксели со схожими характеристиками не образуют связной области. В этом случае предлагаемый метод не всегда работает, и это является основным ограничением предлагаемого подхода.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен метод нахождения фоновых областей на изображении. Метод основан на выявлении сходных по характеристикам и близко расположенных связных групп пикселей.

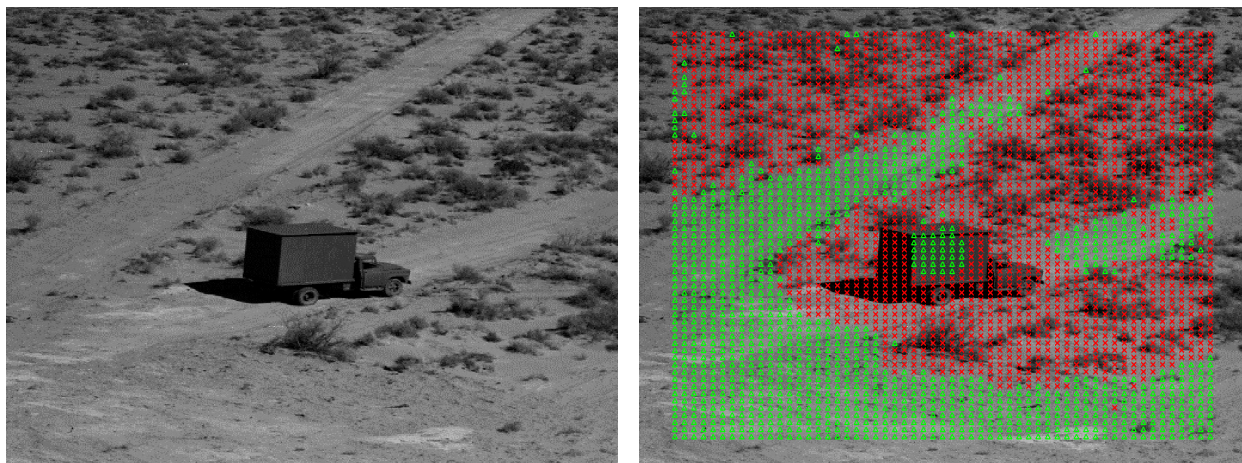


Рис. 6. Применение метода. Размер изображения 512x512. Две фоновые области.

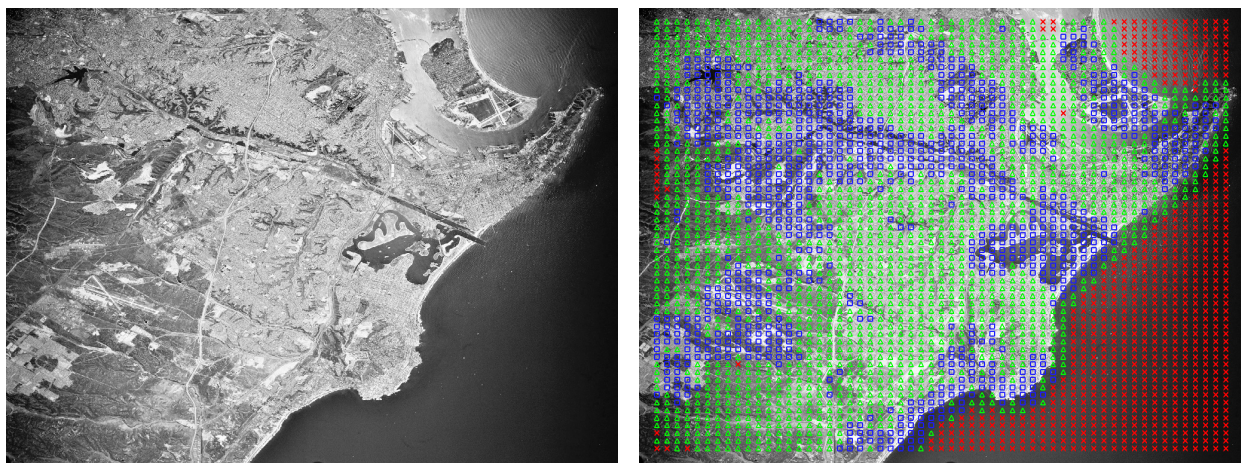


Рис. 7. Применение метода. Размер изображения 1024x1024. Три фоновые области.

В качестве характеристик предлагается использовать признаки Хаара с соответствующим набором масок. Для выявления близких по характеристикам групп пикселей используется FCM метод кластеризации данных. Приведены результаты применения рассматриваемого метода к тестовому изображению и фотографиям реальных объектов.

К ограничениям данного метода следует отнести следующее:

- вся поверхность изображения должна состоять только из областей фона и инородных (по отношению к фону) объектов;
- необходимо предварительно задавать число фоновых областей;
- в пределах фоновых областей изображения значения характеристик не должны сильно меняться.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения предлагаемого метода для выявления фоновых областей на изображении с последующей локализацией инородных объектов на выделенном фоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viola and Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001. URL: <https://www.cs.cmu.edu/~efros/courses/LBMV07/Papers/viola-cvpr-01.pdf> (дата обращения: 15.02.16).
2. Harris C. and Stephens M. A combined corner and edge detector. *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*, pp. 147–151. URL: <http://www.bmva.org/bmvc/1988/avc-88-023.pdf> (дата обращения: 15.02.16).
3. Papageorgiou, Oren and Poggio. A general framework for object detection. *International Conference on Computer Vision*, 1998. URL: http://cgkit.nutn.edu.tw:8080/cgit/PaperDL/CMS_07101913541759.pdf (дата обращения: 15.02.16).
4. Нестеренко В.А. Локализация инородных объектов на изображении. *Естественные и математические науки в современном мире*, Сборник статей по материалам XLII международной научно-практической конференции, Новосибирск, 2016, № 5(40), стр. 39–44.
5. M. Piccardi. Background subtraction techniques: a review. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 2004, pp. 3099–3104. URL: http://profs.sci.univr.it/~cristanm/teaching/sar_files/lezione4/Piccardi.pdf (дата обращения: 31.08.16).

6. Angélica Rosario Jiménez-Sánchez et al. Morphological Background Detection and Enhancement of Images With Poor Lighting. *IEEE Transactions on Image Processing*, March 2009, vol. 18, no. 3, pp. 613–623.
7. Crow, Franklin. Summed-area tables for texture mapping. *SIGGRAPH '84: Proceedings of the 11th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 207–212. URL: <https://classes.soe.ucsc.edu/cms160/Fall05/papers/p207-crow.pdf> (дата обращения: 15.02.16).
8. Нестеренко В.А. Редукция размерности пространства характеристик в задачах Data Mining. *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*, сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 13 ноября 2015 г., стр 134–138.
9. James C. Bezdek, Robert Ehrlich, William Full. FCM: THE FUZZY c-MEANS CLUSTERING ALGORITHM, 1983, URL: http://www.cse.hcmut.edu.vn/~chauvtu/data_mining/Reading/Chapter 5 - Clustering/FCM - The Fuzzy c-Means Clustering Algorithm.pdf (дата обращения: 15.02.16).
10. The USC-SIPI Image Database, URL: <http://sipi.usc.edu/database> (дата обращения: 07.09.16).

The Search for Background Areas in an Image

Nesterenko V.A.

This article describes a method of detecting and locating areas of the background in the image. The background is relatively large, a linked group of pixels with similar characteristics. As the characteristics of the pixels, it is proposed to use the Haar features and to identify groups of related points - a method of fuzzy clustering (FCM). In addition, the characteristics of the matched background regions can be used to find other objects in the image.

KEYWORDS: image processing, background of image, localization of objects, Haar-Like features.