

УДК 621.34

И.В. Рубан<sup>1</sup>, О.В. Шитова<sup>1</sup>, А.Н. Пухляк<sup>2</sup>, С.И. Хмелевский<sup>1</sup>, Ю.В. Данюк<sup>1</sup><sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Міністерство оборони України, Київ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАСКИРОВОЧНЫХ СЕТЕЙ

Статья посвящена исследованию свойств текстурных изображений маскировочных сетей для определения информативности группы признаков с целью классификации данных изображений.

**Ключевые слова:** маскировочная сеть, автоматизация распознавания, признак.

### Постановка задачи

В настоящее время происходит интегрирование разнородных средств разведки, коммуникационных и компьютерных технологий. В современной войне существенно повышается роль всех компонентов, форм и способов информационного противоборства, что приводит к коренным изменениям характера и содержания военных операций и их информационному обеспечению. Наиболее характерной особенностью вооруженной борьбы считается высокая активность разведки. Опыт современных операций свидетельствует о всевозрастающем внимании стран к комплексному ведению всех видов разведки [1].

Одной из важнейших задач воздушной разведки является раскрытие мероприятий по маскировке вероятным противником войск и объектов тыла по оборудованию театра военных действий. Возрастание количества разведывательной информации о противнике требует применения новых методов ее обработки и интерпретации с использованием автоматизированных систем [1]. Требования потребителей развединформации к ее достоверности и скорости получения в реальном масштабе времени диктуют настоятельную необходимость применения достижений цифровых технологий для добыwania разведанных. Это становится особенно важно в процессе ведения воздушной разведки при различных погодных условиях в любое время суток, в то время как противник использует весь арсенал маскировочных средств [2].

Цифровые технологии, благодаря своему быстрому развитию, в настоящее время широко применяются в новых современных средствах разведки. Особенно наглядно это видно при сравнении существующих аэрофотоаппаратов и инфракрасных систем воздушной разведки с современной цифровой аппаратурой наблюдения. Анализ перспектив получения высококачественного цифрового изображения местности в различных диапазонах длин волн пока-

зал, что этот процесс будет связан с использованием бортовых цифровых оптико-электронных систем с возможностью изменения параметров в ходе аэро съемки и последующей записью информации на штатные носители. В настоящее время цифровая фотография по качеству не уступает традиционному аналоговому способу фотографирования. Важным преимуществом цифровой фотографии является возможность ее автоматической или автоматизированной обработки с целью изменения цветовых характеристик, насыщенности, контрастности, снижения уровня шумов, компенсации геометрических искажений, формирования фотосхемы, привязки к топографической основе и т. д. [2].

В настоящее время малоизученной остается задача распознавания замаскированных объектов на изображениях, получаемых оптическими средствами в результате воздушной разведки. Сложность использования известных подходов к данной задаче определяется тем, что целенаправленные мероприятия по маскировке объектов существенно снижают видимость объектов на изображениях и существующие методы становятся неприменимыми.

Исходя из этого, актуальной задачей является исследование свойств средств маскировки с целью выявления их характеристических особенностей и дальнейшей разработки методов, позволяющих локализовать области интереса в условиях маскировки.

### Основная часть

Одним из распространенных методов маскировки военной техники является применение маскировочных сетей (рис. 1) [3].

Изображение маскировочной сети представляет собой текстуру (рис. 2 – 5) – некоторым образом организованный участок поверхности, состоящий из элементарных участков, характеризующихся определенными признаками и связанных друг с другом некоторой связью, параметры которой постоянны и определяют характер данной текстуры [4].



Рис. 1. Применение маскировочной сети для скрытия РЛС (Одесса, Украина)

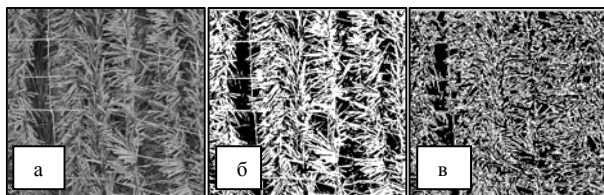


Рис. 2. Изображение маскировочной сети типа «Трава»:

а – изображение маскировочной сети;  
б – бинаризованное изображение маскировочной сети; в – текстура изображения маскировочной сети

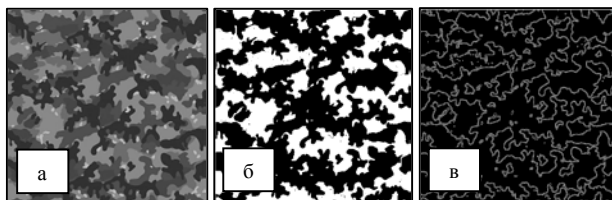


Рис. 3. Изображение маскировочной сети типа «Грунт»:

а – изображение маскировочной сети;  
б – бинаризованное изображение маскировочной сети; в – текстура изображения маскировочной сети

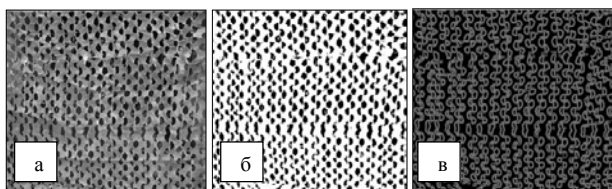


Рис. 4. Изображение маскировочной сети типа «Песок»:

а – изображение маскировочной сети;  
б – бинаризованное изображение маскировочной сети; в – текстура изображения маскировочной сети

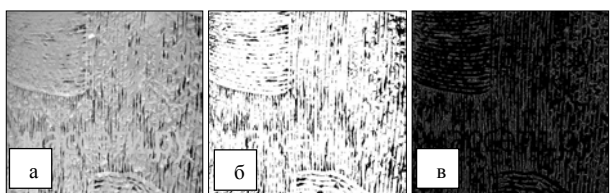


Рис. 5. Изображение маскировочной сети типа «Снег»:

а – изображение маскировочной сети;  
б – бинаризованное изображение маскировочной сети; в – текстура изображения маскировочной сети

Автоматизация обработки текстурных изображений является сложным методическим и трудоемким вычислительным процессом, что препятствует разработке универсального метода их распознавания. Иными словами, под любой вид текстурного изображения можно подобрать метод распознавания, который, при качественной настройке будет выдавать практически стопроцентный результат, тогда как на другом виде текстурного изображения этот метод работать не будет [5].

Задачей автоматизированного распознавания объектов, скрытых маскировочной сетью, является отделение на аэрофотоснимке участка земной поверхности изображения маскировочной сети от фона – травы, грунта, снега, песка и т.д. Другими словами, отделение текстуры маскировочной сети от текстуры фона, т.к. изображения травы, грунта, снега, песка также представляют собой текстуру (рис. 6 – 9).

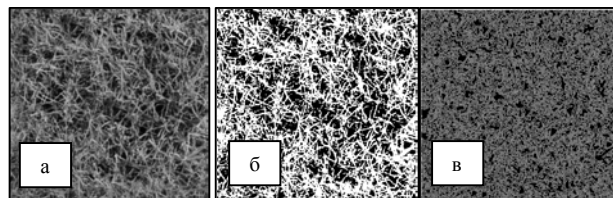


Рис. 6. Изображение травяной поверхности:

а – изображение травяной поверхности;  
б – бинаризованное изображение травяной поверхности; в – текстура изображения травяной поверхности

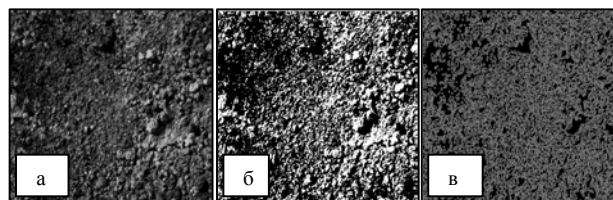


Рис. 7. Изображение грунтовой поверхности:

а – изображение грунтовой поверхности;  
б – бинаризованное изображение грунтовой поверхности; в – текстура изображения грунтовой поверхности

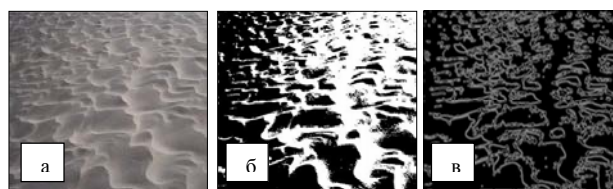


Рис. 8. Изображение песчаной поверхности:

а – изображение песчаной поверхности;  
б – бинаризованное изображение песчаной поверхности; в – текстура изображения песчаной поверхности

Для анализа текстур используют, как правило, статистические методы измерения характеристики

уровней яркости элементов разложения. Помимо статистических методов, широкое применение нашли пространственно-частотные методы, включающие построение автокорреляционных функций (АКФ) и нахождение их параметров, разложение текстурных изображений в спектр, а также использование различных цифровых преобразований.

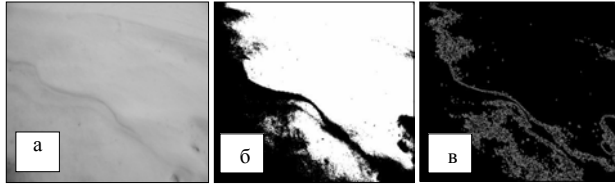


Рис. 9. Изображение снежной поверхности:  
а – изображение снежной поверхности;  
б – бинаризованное изображение снежной поверхности;  
в – текстура изображения снежной поверхности

Вместе с тем, для анализа подобных слабых текстур применимы и некоторые структурные алгоритмы, такие как нахождение количества перепадов яркости или количества относительных экстремумов на единицу площади изображения, подсчет количества длин серий равной яркости с вычислением производных параметров [5].

При решении задачи автоматизированной сегментации маскировочных сетей необходимо наличие набора признаков, характеризующих текстуру маскировочных сетей. Под текстурными признаками, как правило, понимают характерные признаки, общие для текстур одного класса. Большое количество текстурных признаков рассмотрено в работе [4].

В современной теории анализа изображений применяются следующие основные способы описания текстурных характеристик [5].

Признаки на основе частотной обработки. Одним из подходов к оценке текстур является анализ изображения в частотной области, при этом изображение представляется как периодическое или квазипериодическое изменение сигнала. Мелкозернистым текстурам соответствуют высокие частоты, а крупнозернистым – низкие. Самыми популярными частотными методами являются методы, основанные на преобразовании Фурье. При этом от пространственного представления изображения переходят к его частотному представлению с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), после чего рассчитывают его спектр. Анализ полученного спектра позволяет найти частотные закономерности и, следовательно, вычислить некоторые характеристики текстуры.

Еще одним важным подходом является автокорреляционная функция – математическая функция, описывающая размер базовых примитивов текстуры. При этом второй момент функции может выступать в качестве показателя зернистости текстуры.

Статистические признаки. Данная группа базируется на использовании инструментов статистики для описания характеристик структуры. При этом самым распространенным методом является расчет матрицы смежности уровней яркости и вычисление статистик на ее основе [4].

Другим подходом является расчет статистик на основе гистограммы пространственной разности яркостей. Подобные гистограммы позволяют рассчитывать основные характеристики текстуры, такие, как зернистость, контраст, грубость и т.д.

Признаки на основе описания структурных элементов. Данная группа признаков имеет большие ограничения в применении. Ее основой является поиск заранее заданных структурных элементов на изображении. Такой подход дает хорошие результаты, если появление некоторых текстурных элементов предсказуемо и может быть описано заранее. При этом часто текстуры на основе структурных элементов анализируют с помощью методов формальной грамматики. Однако в системах общего плана эти подходы являются трудно применимыми.

В работе для выбора признаков были проанализированы гистограммы 40 изображений земной поверхности четырех классов (травы, грунта, снега и песка) и такое же количество изображений соответствующих им маскировочных сетей. На рис. 10 представлены примеры изображений и анализируемых гистограмм. Как видно из рис. 10, изображения фона травы (а) и снега (б) являются однородными по сравнению с изображениями маскировочных сетей, представленных на изображениях (в) и (г), что позволяет сделать вывод о том, что свойство однородности можно использовать в качестве признака для отделения текстуры маскировочной сети от фона. Наличие характерных пиков на гистограммах изображений (б), (в) и (г) говорит о том, что изображения отличаются наличием контуров различного направления.

Процессу сегментации предшествует процесс формирования пространства признаков, основанный на исследовании текстур и, в свою очередь, опирающийся на описание текстур. Текстуры, имеющие различные цветовые характеристики, могут быть успешно разделены на основании цветовых признаков. При сегментации цветных текстур необходимо учитывать как спектральные характеристики объекта, так и их пространственные характеристики. При этом наиболее информативным из цветовых признаков представляется компонент тона. Однако разбиение изображения только по тоновому компоненту является недостаточным, поскольку объекты, имеющие один тон, но разную яркость, наблюдатель определяет как разные. Например, объекты, окрашенные в желтый или коричневый цвета, для наблюдателя различны. Это же можно отнести и к объектам, обладающим разной насыщенностью.

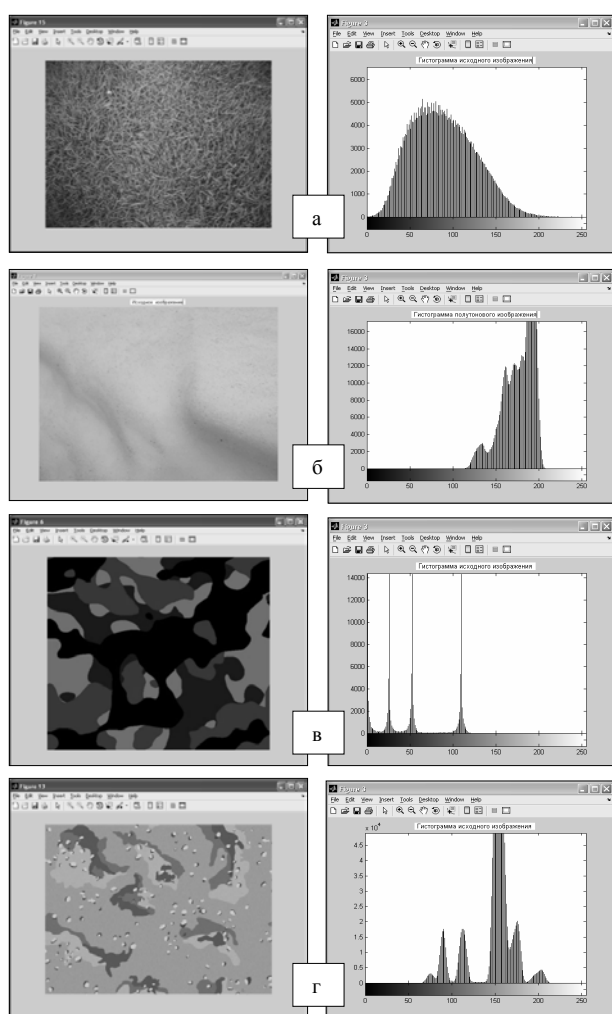


Рис. 10. Гистограммы распределения яркостей текстурных изображений:

а — изображение травяной поверхности и гистограмма распределения яркости изображения травяной поверхности; б — изображение снежной поверхности и гистограмма распределения яркости изображения снежной поверхности; в — изображение поверхности грунта и гистограмма распределения яркости изображения поверхности грунта; г — изображение поверхности песка и гистограмма распределения яркости изображения поверхности песка

Сегментация по цвету на основании многомерного порогового ограничения сопряжена, прежде всего, с тем, что в сложных изображениях, содержащих множество небольших областей, имеющих различные цветовые признаки, нет выраженных провалов гистограмм, что, в свою очередь, затрудняет определение порогов и в конечном итоге приводит к ошибкам сегментации.

Цветовые признаки дают много информации о текстурах, однако для распознавания не определяют эти текстуры однозначно, т.к. одним из принципов применения маскировочных сетей является соответствие расцветки сети фону, на котором расположен объект для скрытия.

В общем случае лишь очень немногие текстуры имеют небольшое число достаточно четких отличительных признаков. Чаще всего при распознавании текстур приходится учитывать сложные комбинации большого количества признаков. Для сегментации изображений маскировочных сетей в работе проанализированы статистические признаки текстур, а именно энтропия (1), однородность (2) и средняя яркость (3).

Энтропия является статистической характеристикой случайного процесса. Энтропия выражает неравномерность распределения яркостных свойств элементов изображения. В качестве текстурного признака энтропия как мера случайности имеет вид:

$$e = -\sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i), \quad (1)$$

где  $z_i$  — это случайная величина, обозначающая яркость;  $p(z_i)$  — гистограмма распределения уровней яркости в данной области,  $L$  обозначает число различных значений яркости [6].

Однородность представляет собой меру равномерности. Эта величина максимальна для постоянной яркости (максимальная однородность):

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i). \quad (2)$$

Средняя яркость:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i). \quad (3)$$

Эти признаки текстур отвечают требованиям помехоустойчивости, инвариантности к масштабу и повороту, а также их расчет не требует высоких вычислительных затрат.

При расчетах были использованы изображения одинаковых размеров с глубиной цвета 8 бит на пиксель (полутоновые изображения с 256 градациями яркости). Для расчета информативности признаков был проведен ряд экспериментов, суть которых состояла в следующем. Были взяты 40 изображений фона и 40 изображений соответствующих ему маскировочных сетей четырех разных классов. Для каждого класса были рассчитаны значения признаков энтропии, однородности и средней яркости. После чего были проведены расчеты информативностей признаков формы в соответствии с формулами, описанными в [7].

В табл. 1 представлены результаты проведенных расчетов.

На рис. 11 приведена диаграмма значений информативности признаков текстурных изображений.

Таким образом, из рис. 11 видно, что наиболее информативными признаками текстуры для сегментации маскировочной сети на изображении являются:

- признак однородности для маскировочной сети типа «травя» и «снег»;
- все три признака для маскировочной сети типа «грунт»;

Таблиця 1  
Значения информативностей признаков  
текстурных изображений

Класс текстуры	Энтропия	Однородность	Средняя яркость
Трава	0,2281	0,5798	0,0743
Грунт	0,4645	0,4711	0,4795
Песок	0,5128	0,5409	0,7948
Снег	0,1138	0,1983	0,1633

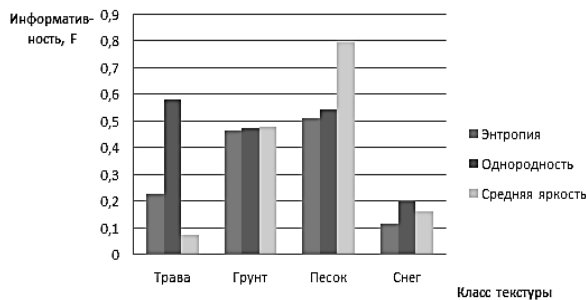


Рис. 11. Сводная диаграмма значений информативностей

– признак средней яркости для маскировочной сети типа «песок».

Данный анализ позволяет в соответствии с выбранными признаками проводить эксперименты и разработать алгоритмы для решения задач сегментации текстурных изображений типа «маскировочная сеть».

## Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) для каждого класса текстуры существуют информативные признаки, позволяющие отличить текстуру от основного фона;

2) более полная статистическая оценка информативных признаков позволит сформировать пороговые значения, позволяющие сегментировать изображения с минимальными ошибками 1-го и 2-го рода;

3) использование информативных признаков позволит модифицировать существующие методы сегментации и распознавания для решения задач выделения текстур соответствующих с определенной долей вероятности маскировочным сетям.

## Список литературы

1. Мосов С.П. *Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: [монография]* / С.П. Мосов. – К.: Изд. Дом «Румб», 2008. – 248 с.
2. Веселов Ю.Г. *Современное состояние и перспективы развития оптико-электронных систем воздушной разведки* / Ю.Г. Веселов, С.П. Гулевич, О.П. Еруков, Н.И. Сельвесюк // *Вестник академии военных наук.* – 2011. – № 3 (36). – С. 124-128.
3. Рубан И.В. *Анализ методов скрытия объектов на изображениях от визуально-оптических и фотографических средств разведки* / И.В. Рубан, О.В. Шитова, А.Н. Пухляк // *Системы управления, навигации та зв'язку.* – К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2012. – Вип. 1(21), т. 2. – С. 119-122.
4. Харалик Р.М. *Статистический и структурный подходы к описанию текстур* / Р.М. Харалик // *ТИИЭР.* – 1979. – Т. 67, № 5. – С. 98-120.
5. Петров В.О. *Расчет текстурных признаков растровых сегментов для решения задач сегментации* / В.О. Петров, И.В. Степанченко, О.О. Привалов // *Современные проблемы науки и образования.* – Камышинский технологический институт (филиал Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет»), 2010. – №5. – С. 22-24.
6. Гонсалес Р. *Обработка изображений в среде Matlab* / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
7. Казаков Я.В. *Повышение качества киноизображения средствами вычислительной техники. Часть вторая: методы признакового описания статичного изображения [Электронный ресурс]* / Я.В. Казаков. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения, 2003. – Режим доступа к статье: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5026.html>.

Поступила в редколлегию 26.11.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ОЗНАК ТЕКСТУРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МАСКУВАЛЬНИХ СІТОК

І.В. Рубан, О.В. Шитова, А.М. Пухляк, С.І. Хмелевський, Ю.В. Данюк

Стаття присвячена дослідженню властивостей текстурних зображень маскувальних сіток для визначення інформативності групи ознак з метою класифікації даних зображень.

**Ключові слова:** маскувальна сітка, автоматизація, розпізнавання, ознака.

## THE RESEARCH OF INFORMATIVITY SIGNS OF TEXTURAL IMAGES CAMOUFLAGE NETS

I.V. Ruban, O.V. Shitova, A.M. Pukhlyak, S.I. Khmelevskiy, Y.V. Danyuk

Article is devoted research the properties of textural images camouflage net to determine the informativity groups signs with a view to classify the image data.

**Keywords:** camouflage net, automation, recognition, signs of.