

УДК 004.932.2:004.93'1

В.А. Гороховатский, Ю.А. Куликов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ДЕСКРИПТОРОВ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГИСТОГРАММ

*Обсуждается проблема классификации изображений при действии помех. Предложена модель обработки характерных признаков, основанная на анализе гистограммы базы видеоданных. Переход к пространству гистограммных признаков упрощает вычисление подобия описаний и сокращает время классификации. Приведены результаты компьютерных экспериментов, подтверждающие эффективность предложенного подхода.*

**Ключевые слова:** классификация изображений, структурные методы, характерные признаки, дескриптор, гистограммные признаки, мера подобия.

### Введение

Существующие структурные методы анализа объектов на изображениях реальных визуальных сцен позволяют с высокой эффективностью осуществить классификацию объектов в условиях воздействия пространственных и аддитивных помех. В процессе применения данных методов осуществляется решение двух основных задач. Для получения структурного представления объекта производится выделение структурных элементов в виде характерных признаков (ХП, англ. Keypoints), которые отражают локально-пространственные свойства объектов в отдельных точках и формируют структурное описание. Вторая задача связана с установлением подобия структурных описаний объекта и эталонов и поиском оптимального значения меры подобия [1 – 5].

Наиболее распространёнными из современных технологий формирования и сопоставления структурных описаний являются SURF [1] и SIFT [2, 3]. Их применение обеспечивает высокую вероятность правильной классификации в сложных условиях наличия помех и ложных объектов, однако требует существенных вычислительных затрат на установление подобия [5].

Одним из способов совершенствования структурных методов с точки зрения снижения вычислительных затрат является переход в пространство статистических признаков, связанных с распределениями значений дескрипторов в зависимости от класса. Практический анализ распределений сводится к изучению и сопоставлению гистограмм дескрипторов ХП [5, 6].

**Цель работы** – синтез моделей формирования и обработки дескрипторов ХП на основе гистограммного анализа, применение которых сокращает время классификации.

Задачи исследования – построение моделей обработки и мер для сопоставления гистограмм ХП,

проведение компьютерного моделирования и исследование помехозащищённости модификаций методов в сравнении с известными подходами.

### Формирование ХП методом SURF

Технология SURF (Speeded Up Robust Features) решает две задачи – поиск характерных признаков изображения и создание их дескрипторов – векторов, компоненты которых обладают инвариантностью к смещениям, масштабу и вращению объектов [1].

Суть подхода состоит в следующем. Наличие ХП определяется с помощью матрицы Гессе, которая включает производные второго порядка от функции яркости. Детерминант матрицы Гессе (гессиан) достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Гессиан вычисляется следующим образом:

$$\det(B_G) = B_{xx}B_{yy} - (0,9B_{xy})^2,$$

где  $B_G$  – матрица Гессе;  $B_{ij}$  – вторая производная от функции яркости по соответствующему направлению.

Фильтры для вычисления производных  $B_{ij}$  в целях ускорения вычисления аппроксимируются цифровыми масками со значениями  $-2, -1, 0, 1$ . Инвариантность к масштабу в SURF аналогично SIFT достигается использованием разномасштабных фильтров для нахождения значений гессианов. Для каждого ХП оценивается направление максимального изменения яркости (градиент) и масштаб. Градиент в точке вычисляется с помощью фильтров Хаара [1].

Дескриптор SURF представляет собой вектор, содержащий 64 числовых компонента из ограниченного диапазона, которые отображают флуктуации градиента и принимают положительные и отрицательные значения. Флуктуации градиента окрестностей ХП считаются относительно направления гра-

диента по локальной окрестности. Этим достигается инвариантность дескриптора относительно вращения. Размер области, на которой считается дескриптор, определяется масштабом матрицы Гессе.

В общем плане технология SURF близка к подходу SIFT [2] и основана на его идеях. Основные отличия состоят в значительно более высоком быстродействии SURF за счет использования упрощенных, дескрипторов с разными знаками и аппроксимации с применением дискретных масок.

### Построение гистограмм значений компонентов ХП

Рассмотрим область значений для компонента  $s$  детектора SURF в виде отрезка  $s \in [a, b]$ . Пусть  $q$  – общее число элементов структурного описания, определим разбиение отрезка  $[a, b]$  на  $n$  интервалов в виде  $a = s_0 < s_1 < \dots < s_{n-1} < s_n = b$ . Подсчитаем число элементов, попавших в  $l$ -й интервал:

$$q_l = \sum_{k=1}^q I_{\{s_k \in (s_{l-1}, s_l]\}}.$$

В результате получаем гистограмму  $h(s) = q_l$ ,  $s \in (s_{l-1}, s_l]$ ,  $l = 1, \dots, n$ .

Основными параметрами гистограммы  $h$  являются диапазон  $[a, b]$  значений и количество  $n$  интервалов разбиения.

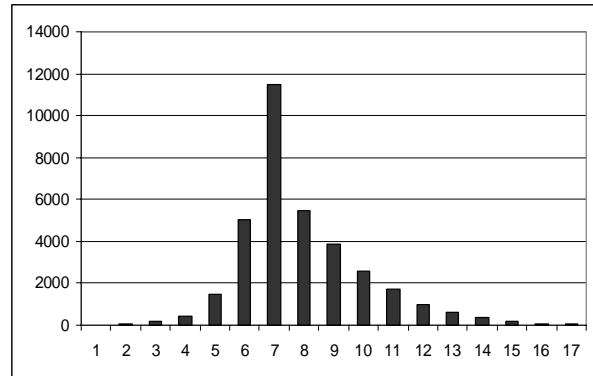
Экспериментальный анализ на примере  $n = 17$  показывает, что для различных баз видеоданных гистограммы для множества значений ХП имеют примерно одинаковый вид, близкий к нормальному закону распределения (рис. 1).

### Модели обработки ХП на основе анализа гистограмм

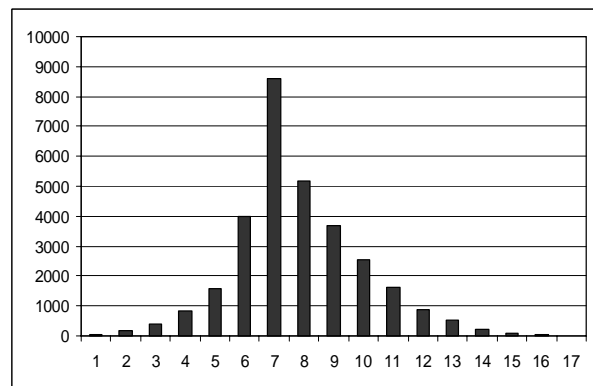
Применим анализ гистограмм, направленный на упрощение обработки множеств значений признаков SURF. Опираясь на априорные параметры  $[a, b]$ ,  $n$ , сформируем гистограмму  $h$  для базы видеоданных, и, используя ее как шаблон, построим гистограммный признак (ГП) в виде локальной гистограммы для каждого из дескрипторов ХП. Для этого каждый компонент дескриптора отнесем к одному из интервалов предварительно построенной гистограммы базы видеоданных. В результате вместо исходного описания объекта и эталонов в виде конечного множества 64-мерных векторов получим множество ГП в виде такого же количества векторов размерности  $n$ .

Определим структурное описание  $H = \{h_k\}$  как конечное множество ГП – векторов из  $n$  целых чисел  $h_k = (h_{ki}), i = 1..n$ ,  $h_k \in Z^n$ ,  $Z$  – множество целых чисел. Для классификации объекта необхо-

димо вычислить меру подобия  $\vartheta(H, H(j))$  между описанием  $H$  объекта и эталонными описаниями  $H(j)$  из базы. Мера подобия  $\vartheta(H, H(j))$  традиционно определим как расстояние между двумя множествами. Пусть  $H_1, H_2$  – множества ГП с элементами  $h_1 \in H_1, h_2 \in H_2$ , а величины  $N_1$  и  $N_2$  задают число элементов в описаниях  $H_1, H_2$ .



а



б

Рис. 1. Гистограммы распределения дескрипторов ХП для баз видеоданных: а – coil20, б – базы аквариумных рыб [4]

Определим вначале манхэттенское расстояние между элементами как

$$r(h_1, h_2) = \sum_{i=1}^n |h_{1i} - h_{2i}|,$$

где  $h_{1i}, h_{2i} \in Z$  – компоненты гистограмм  $h_1, h_2$ . В соответствии с моделью голосования по принципу точка объекта – эталонное множество, определим расстояние  $r(h_1, H_2)$  от элемента  $h_1 \in H_1$  к описанию  $H_2$ :

$$r(h_1, H_2) = \min_{h_{2m} \in H_2} r(h_1, h_{2m}). \quad (1)$$

Для формирования значения голоса элемента  $h_1$  применим предикат, который анализирует значимость вычисленного в соответствии с (1) расстояния на предмет не превышения порога  $\varepsilon_r$ :

$$L[r(h_1, H_2), \varepsilon_r] = \begin{cases} 1, & r(h_1, H_2) \leq \varepsilon_r \\ 0, & r(h_1, H_2) > \varepsilon_r \end{cases} \quad (2)$$

Мера подобия между описаниями  $H_1$  объекта и  $H_2$  – эталона определяется как сумма значений предиката (2) для всех элементов описания  $H_1$ :

$$\vartheta(H_1, H_2) = \sum_{i=1}^{N_1} L[r(h_1, H_2), \varepsilon_r] \quad (3)$$

и затем проверяется на условие превышения априорного порога подобия  $\varepsilon_\vartheta$  аналогично (2), задающее ограничение на минимально возможное число соответствующих элементов сопоставляемых множеств [4].

Классификацию произвольного описания  $H$  будем рассматривать как отображение

$$\mathfrak{R} : H \rightarrow \{H(j)\},$$

где  $\{H(j)\}$  – множество эталонных описаний, и реализуем его путем решения задачи оптимизации

$$j^* = \arg \max_{j \in J} \vartheta(H, H(j)), \quad j^* \in J, \quad (4)$$

где  $\vartheta$  – мера подобия, вычисленная по формуле (3). Схема классификации с учетом обработки гистограмм представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема классификации на основе ГП

При практическом применении важным является выбор порогов  $\varepsilon_\vartheta$  (для значения полученной меры подобия (3)) и  $\varepsilon_r$  (для значимости соответствия эталону) с целью обеспечения достоверности решений на локальном и глобальном уровнях.

### Результаты экспериментов

Применение процедур упрощения систем признаков на основе анализа гистограмм распределения ХП приводит к параметрически управляемому снижению объема хранимых данных в описании и значительному сокращению времени классификации за счёт некоторого снижения помехозащищённости относительно аддитивных помех.

Эксперименты для нескольких баз видеоданных (coil20, базы аквариумных рыб) показывают, что среднее время классификации изображения примерно в 12 раз ниже, чем для традиционного метода на основе детектора SURF. При этом объём описания сокращается приблизительно в 3.8 раза по сравнению с классическим детектором.

Диапазон значений дескрипторов для рассмотренных баз видеоданных в эксперименте составил  $[a, b] = [-0,35, 0, 55]$ , число интервалов гистограммы выбрано  $n = 17$ .

В целях экспериментальной оценки помехозащищённости традиционного подхода SURF классификация для базы данных осуществлялась в условиях, когда на вход подавались изображения, искажённые аддитивным шумом с нормальным распределением и нулевым матожиданием. Соотношение сигнал-шум  $\mu$  оценивалось как отношение средней амплитуды сигнала (равной 75 для рассмотренной базы) к СКО шума  $\sigma$ .

На рис. 3 приведены изображения объектов из базы аквариумных рыб [4] с разными уровнями зашумления.

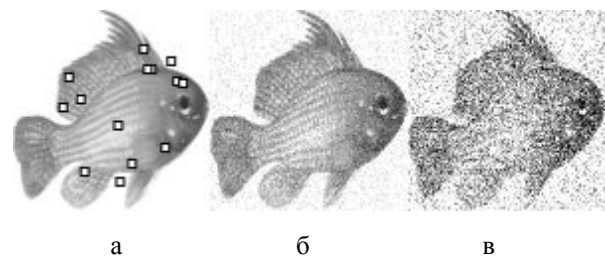


Рис. 3. Примеры изображений:  
а – без помех с выделенными ХП;  
б – с уровнем аддитивных помех  $\mu = 15$  ;  
в – с уровнем помех  $\mu = 50$

В результате экспериментов установлено, что при  $\mu < 40$  вероятность  $P$  правильной классификации с применением традиционного детектора SURF составила  $P = 0,97$ , причем при  $\mu < 30$  значение  $P = 1$ . В то же время для модифицированного метода на основе ГП при  $\mu < 10$  значение  $P = 0,96$ , что говорит о некотором снижении помехозащищённости из-за упрощения системы признаков.

Принципиально важным для структурных методов есть устойчивость к действию пространственных помех, связанных с исчезновением отдельных ХП из описания и появлением ложных ХП из-за действия фона и других объектов.

Эксперименты показали, что устойчивость к пространственным помехам из-за исчезновения ХП из описания с заданной вероятностью  $\alpha$ , для разра-

ботанних модифікацій с применением гистограммного анализа не снижается. Для традиционно и для модифицированного методов при вероятности исчезновения  $\alpha = 0,6$  значение  $P = 1$ , а при  $\alpha = 0,8$  значение  $P = 0,96$ .

Как видим, разработанная модификация сохраняет все важные свойства структурных методов и обеспечивает достоверную классификацию при наличии не менее 40% исходного описания для исследуемой базы.

### Выводы

Упрощение описания за счёт перехода от дескрипторов ХП размерностью 64 к целочисленным дескрипторам ГП размерностью 17 (как пример) и применение более простой меры подобия при классификации на основе ГП дало возможность снизить время классификации в 12 раз без значительного снижения помехозащищённости к аддитивным и пространственным помехам.

Научная новизна исследования состоит в синтезе моделей и принципов построения более эффективной системы структурных гистограммных признаков, обеспечивающих снижение времени классификации.

Практическая значимость работы заключается в экспериментальном подтверждении эффективности предложенной системы признаков с точки зрения уменьшения времени классификации и сохранения устойчивости к пространственным помехам без существенного снижения характеристик достоверности и помехозащищённости для конкретных баз реальных видеоданных.

Перспективы исследований состоят в изучении принципов дальнейшего снижения объёма гистограммного описания путём выделения и анализа подмножеств наиболее значимых элементов гистограммы.

### Список литературы

1. Bay H. Surf: Speeded up robust features / H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool // *European Conference on Computer Vision*. – 2006. – P. 1:404-417.
2. Mikolajczyk K. Scale & Affine Invariant Interest Point Detectors / K. Mikolajczyk, C. Schmid // *International Journal of Computer Vision*. – 2004. – 60 (1). – P. 63-86.
3. Lowe David G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features / David G. Lowe // *International Conference on Computer Vision*. – 1999. – P. 1150-1157.
4. Гороховатский В.А. Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек / В.А. Гороховатский, Е.П. Путятин // *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. – 2008. – Т.10, №4. – С.75-85.
5. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; [пер. с англ]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
6. Auffarth B. Measures for Feature Selection in Tissue Classification of CT Images / B. Auffarth, M. Loper, J. Cerquides // *10<sup>th</sup> Industrial Conference ICDM 2010*. – 2010. – P. 248-261.

Поступила в редколлегию 10.12.2010

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, ст. научн. сотр. О.В. Сытник, Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков.

### МОДЕЛІ ОБРОБКИ ДЕСКРИПТОРІВ ХАРАКТЕРНИХ ОЗНАК ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ГІСТОГРАМ

В.О. Гороховатський, Ю.О.Куліков

*Обговорюється проблема класифікації зображень при дії завад. Запропонована модель обробки характерних ознак, заснована на аналізі гістограми бази відеоданих. Перехід до простору гістограмних ознак спрощує обчислення подібності описів та скорочує час класифікації. Наведено результати комп'ютерних експериментів, що підтверджують ефективність запропонованого підходу.*

**Ключові слова:** класифікація зображень, структурні методи, характерні ознаки, дескриптор, гістограмні ознаки, міри подібності.

### MODELS OF CHARACTERISTIC FEATURES DESCRIPTORS PROCESSING BASED ON HISTOGRAM ANALYSIS

V.A. Gorohovatsky, Y.A.Kulikov

*The problem of pattern classification at the action of hindrances is discussed. The model of processing of characteristic features based on the histogram analysis of the data base is suggested. The conversion to the space of histogram features simplifies the computation of the descriptions conformity and shortens the time of classification. Results of computer experiments that confirms efficiency of suggested approach are shown.*

**Keywords:** images classification, structural methods, characteristic features, descriptor, histogram features, measure of similarity.