

## Методы и средства обработки сигналов и изображений

УДК 004.932.2

В.Г. Дзюба<sup>1</sup>, канд. техн. наук, А.В. Дзюба<sup>2</sup>

### Алгоритм распознавания предупреждающих дорожных знаков

Разработан алгоритм распознавания предупреждающих дорожных знаков с использованием методов цветовой классификации, морфологической фильтрации и корреляционного сопоставления. Полученные результаты исследований позволяют использовать алгоритм как основу для разработки эффективной интеллектуальной системы распознавания дорожных знаков.

The algorithm of road traffic warning signs detection with the usage of the methods of color classification, morphological filtration and cross-correlation comparison was developed. Received results of research allow the usage of algorithm as basis for development of the effective intellectual road sign recognition system.

**Ключевые слова:** нейронные сети, распознавание образов, морфологическая обработка изображений, корреляционное сопоставление, идентификация объектов.

#### Введение

В последнее время наблюдается тенденция повышения количества дорожно-транспортных происшествий. В связи с этим все больше внимания уделяется автомобильным системам интеллектуальной обработки информации и принятия решений. Одной из них является система распознавания дорожных знаков, функциональные возможности которой заключаются в оповещении водителя о наличии дорожных знаков в поле зрения камеры и предупреждении о приближении к опасным участкам дороги [1].

Идентификация дорожных знаков относится к актуальной и сложной научно-практической задаче распознавания образов. В настоящее время в этой области ведутся интенсивные исследования. Результатом этих работ стало появление коммерческих интеллектуальных систем, основной особенностью которых является закрытость алгоритма функционирования [2]. Примером удачного решения поставленной задачи служит система FOSTS [3, 4], которая характеризуется высокой (свыше 90 %) точностью распознавания. При этом все системы подобно-

го рода основаны на нейросетевых алгоритмах, которые характеризуются высокой ресурсоемкостью, что затрудняет их использование в системах реального времени.

Цель данной работы заключается в разработке алгоритма, осуществляющего распознавание предупреждающих дорожных знаков, основной особенностью которого является высокая скорость обработки кадров (не менее 10 кадров/с). Достижение этой цели подразумевает решение следующих задач: преобразование цветового пространства; удаление шумов; выделение областей интереса; верификация объектов интереса; динамическое отслеживание дорожного знака; идентификация дорожного знака.

#### 1. Преобразование цветового пространства видеосигнала

Все предупреждающие дорожные знаки имеют общий признак – контур красного цвета (рис. 1). Соответственно, первоначальный поиск объектов интереса заключается в определении областей красного цвета.



Рис. 1. Предупреждающие дорожные знаки

Входной видеосигнал состоит из последовательности изображений (фреймов), каждое из которых представлено в цветовом пространстве RGB в виде матрицы размерностью  $M \times N \times 3$ , состоящей из цветных пикселей. Каждый такой пиксель является триплетом, элементы которого соответствуют трем цветовым компонентам. В таком цветовом пространстве поиск областей красного цвета предполагает одновременный анализ трех составляющих, при этом изменение составляющей R будет влиять на допустимые значения составляющих G и B. Поэтому целесообразно использование цветового пространства  $YC_bC_r$ , в котором эффективность выделе-

ния красного цвета выше по сравнению с  $RGB$  пространством [5].

При конвертации из  $RGB$  в  $YC_bC_r$  используется уравнение

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65,481 & 128,553 & 24,966 \\ -37,797 & -74,203 & 112 \\ 112 & -93,786 & -18,214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

Как правило,  $C_b$ -составляющая содержит шумы, следовательно, в качестве эффективно-го инструмента для их устранения будем использовать морфологическую фильтрацию.

## 2. Удаление шумов с помощью морфологической фильтрации изображения

Как правило, морфологические операции выполняются над бинарными изображениями, которые представляют собой матрицу размерностью  $M \times N$  со значениями 0 или 1. Для получения бинарного изображения выполняется операция пороговой обработки, которая является функцией градиационного преобразования вида

$$s(x, y) = T[C_r(x, y)],$$

где  $C_r(x, y)$  – значение яркости входного изображения в точке  $(x, y)$ ;  $s(x, y)$  – значение яркости выходного изображения в точке  $(x, y)$ ;  $T$  – оператор над  $C_r$  (рис. 2).

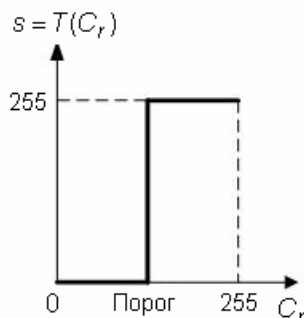


Рис. 2. Функция пороговой обработки

Морфологическая фильтрация предполагает последовательное применение к изображению следующих операций: эрозии, размыкания, дилатации и замыкания [5].

Если рассматривать бинарное изображение  $s(x, y)$  и структурообразующий элемент (примитив)  $R$  как два множества, принадлежащие пространству  $z^2$ , то морфологическая операция эрозии определяется как

$$s - R = \{z \mid (R)_z \subseteq s\},$$

а дилатации – как

$$s + R = \{z \mid (R)_z \cap s \neq \emptyset\}.$$

Размыкание и замыкание соответственно определяются следующим образом:

$$s \circ R = (s - R) + R,$$

$$s \bullet R = (s + R) - R.$$

Иными словами, размыкание строится как эрозия по примитиву, результат которой подвергается дилатации, а замыкание – как дилатация, за которой следует эрозия.

Результаты морфологической фильтрации и используемый примитив представлены на рис. 3.

Из рисунка следует, что фильтрация эффективно удаляет шумы на изображении и способствует увеличению точности последующей верификации объектов.

## 3. Верификация объектов интереса

Очевидно, что одного цветового признака для определения принадлежности объекта к классу дорожных знаков недостаточно, так как помимо знаков на изображении могут находиться другие объекты красного цвета (например, автомобили, рекламные доски). Второй признак, который можно выделить среди всех рассматриваемых дорожных знаков, – форма правильного треугольника.

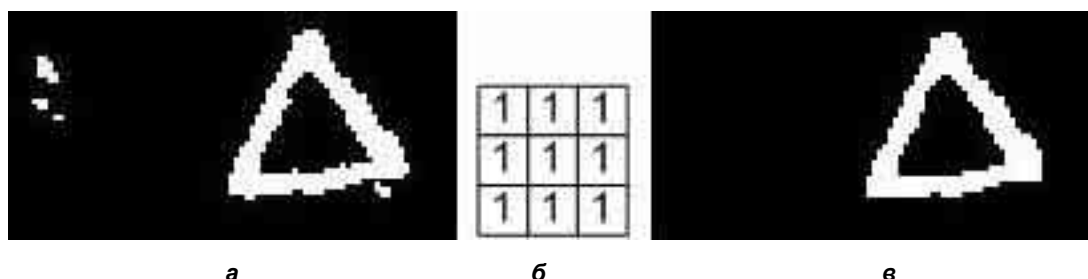


Рис. 3. Морфологическая фильтрация изображения: а – исходное изображение; б – примитив; в – результат фильтрации

Для определения формы необходимо проводить анализ объектов независимо друг от друга. Как указывалось выше, изображение представляет собой матрицу, соответственно, отдельным объектом будем считать непрерывную последовательность «1» в этой матрице. Граница является ключевой характеристикой объекта и представляет собой прямоугольник минимального размера, в котором содержится объект.

Граница определяет местоположение объекта на изображении, но не определяет его форму. Для верификации объекта необходимо определить углы между тремя прямыми, которые аппроксимируют его контур. С этой целью методом поэлементного перебора фиксируется пять точек с каждой стороны объекта, которые затем аппроксимируются тремя прямыми. Расположение контурных точек представлено на рис. 4.

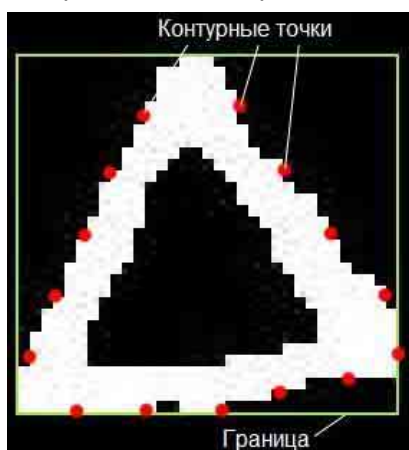


Рис. 4. Граница объекта интереса

При условии, что прямая проходит через две заданные точки с координатами  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ , угол между двумя такими прямыми определяется по следующим формулам:

$$A = y_2 - y_1; B = x_1 - x_2;$$

$$\cos \varphi = \frac{|A_1 A_2 + B_1 B_2|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2}}.$$

Объект будет считаться верифицированным, если

$$60^\circ - \Delta\varphi \leq \varphi \leq 60^\circ + \Delta\varphi,$$

где  $\varphi$  – угол между прямыми,  $\Delta\varphi$  – допустимое отклонение угла.

#### 4. Динамическое отслеживание дорожного знака

Динамическое отслеживание выполняет две ключевые функции:

- увеличение помехоустойчивости;
- увеличение скорости работы алгоритма.

Поступающие на вход кадры могут иметь различное качество изображения в целом, а также объектов, находящихся на нем. Таким образом, один и тот же объект на двух подряд идущих кадрах может иметь кардинальные отличия. Динамическое отслеживание дорожного знака позволяет снизить вероятность возникновения ошибки в таких ситуациях.

Вторым аспектом, который обуславливает необходимость слежения за дорожным знаком в процессе работы алгоритма, является ресурсоемкость процесса идентификации. В связи с этим следует обеспечить выполнение идентификации только один раз для каждого дорожного знака.

Суть алгоритма заключается в одновременном анализе текущего и предыдущих фреймов. На основании полученных данных вычисляется так называемый коэффициент уверенности. С каждым последующим фреймом он пересчитывается и при достижении определенной величины объект, для которого вычислялся этот коэффициент, индексируется как дорожный знак и далее подвергается процессу идентификации.

Для одного и того же объекта на двух подряд идущих фреймах наблюдается смещение вершины границы  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ , а также незначительное изменение размеров  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $w_1$ ,  $w_2$  (рис. 5).

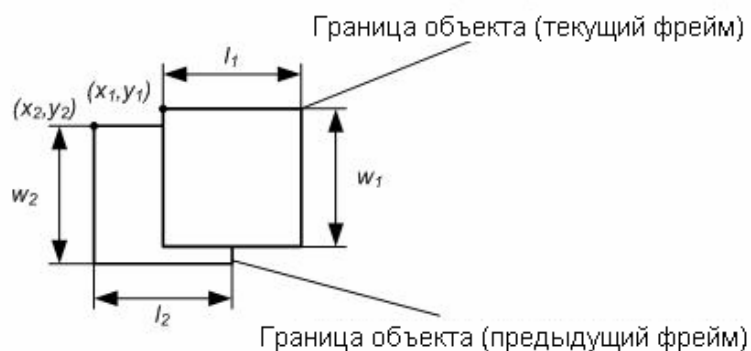


Рис. 5. Смещение границ объекта на разных фреймах

Увеличение коэффициента происходит при выполнении следующего условия:

$$0 \leq d \leq D,$$

где  $D$  – допустимая величина смещения,  $d$  – смещение, определяемое по формуле

$$d = \frac{|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| + |l_1 - l_2| + |h_1 - h_2|}{4}.$$

Если значение коэффициента достигает определенной пороговой величины, знак индексирован как неопределенный и управление передается следующему функциональному блоку.

## 5. Идентификация дорожного знака

Идентификация дорожного знака выполняется с помощью корреляционного сопоставления. На вход данного функционального блока поступает не целое изображение, а лишь те его части, которые содержат дорожные знаки. Таким образом, на входе мы имеем массив изображений, которые требуют последующей идентификации. Для наиболее точного сопоставления полученных изображений с эталонными их размеры должны быть равны. Приведение изображения к заданному размеру выполняется с помощью алгоритма билинейной интерполяции [6].

Далее каждое такое изображение последовательно сравнивается с набором шаблонов и определяется максимальное сходство. Это достигается путем вычисления коэффициента корреляции в соответствии с выражением

$$\gamma(x, y) = \frac{\sum_a \sum_b (f(a, b) - \bar{f}(a, b)) (p(x+a, y+b) - \bar{p})}{\sqrt{\sum_a \sum_b (f(a, b) - \bar{f}(a, b))^2 \sum_a \sum_b (p(x+a, y+b) - \bar{p})^2}},$$

где  $f$  – изображение, содержащее не идентифицированный знак;  $p$  – изображение, содержащее шаблон дорожного знака,  $\bar{p}$  – среднее значение пикселей изображения  $p$ ;  $\bar{f}$  – среднее значение пикселей изображения  $f$  в области, совпадающей с текущим положением  $p$ .

Каждый шаблон имеет порядковый номер и название, которое соответствует названию дорожного знака. Таким образом, определение номера шаблона, с которым входное изображение имеет максимальное сходство, обеспечивая идентификацию дорожного знака.

## 6. Экспериментальное исследование алгоритма распознавания дорожных знаков

Исследование точности и быстродействия алгоритма выполнялось в среде MATLAB 7.7 с

использованием тестового видеоролика, на котором камерой Baxall ICE+CM3XUTP/LV был снят участок трассы Киев–Обухов протяженностью 30 км. В качестве аппаратной части использовался ноутбук Acer Aspire 6935g, который имеет следующие технические характеристики:

- процессор – Core 2 Duo T9400 2,53GHz;
- оперативная память – 4Gb DDR3;
- видеокарта – NVIDIA GeForce 9600M GT.

Результаты тестирования представлены в таблице.

**Таблица. Результаты тестирования алгоритма распознавания предупреждающих дорожных знаков**

Параметр	Результаты	
	Тест № 1	Тест № 2
Общее количество знаков	130	130
Количество правильно определенных знаков	118	116
Количество неправильно определенных знаков	8	8
Количество пропущенных (не замеченных) знаков	7	10
Среднее время обработки фрейма, с	0,4	0,1

Тест № 1 показал удовлетворительные результаты точности алгоритма, но его быстродействие оказалось недостаточным для корректной работы в режиме реального времени. В связи с этим была произведена оптимизация алгоритмов работы всех блоков, а также минимизировано количество обращений к наиболее ресурсоемким блокам. После проведенной оптимизации (тест № 2) точность незначительно уменьшилась (см. таблицу), но, в то же время, существенно (в четыре раза) возросла скорость работы. Полученные итоговые характеристики являются удовлетворительными и позволяют использовать данный алгоритм при разработке систем подобного рода.

## Выводы

Разработан алгоритм распознавания предупреждающих дорожных знаков. В результате проведения экспериментального исследования в среде MATLAB 7.7 установлено, что точность (около 89 %) и быстродействие (10 кадров/с) алгоритма позволяет создавать на его основе интеллектуальные системы технического зрения, способные в режиме реального времени оповещать водителя о наличии предупреждающих дорожных знаков в поле зрения камеры. Вычислительная эффективность предложенного алгоритма значительно превышает таковую нейросетевых алгоритмов (скорость обработки

кадра разработанным алгоритмом выше в 1,5...3 раза), при этом их показатели точности почти одинаковы (точность разработанного алгоритма на 2...3 % ниже).

### Литература

1. *Shneier M.* Road sign detection // IEEE Computer Society International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – № 5. – P. 37–42.
2. *The foveal system for traffic signs recognition (FOSTS)* / X. Gao, D. Shaposhnikov, V. Gusakova, K. Hong, L. Podladchikova // Proc. XIV Int. Conf. on Neurocybernetics. – 2005. – № 2. – P. 223–227.
3. *Приведение поведенческой модели BMW для инвариантного распознавания лиц и дорожных знаков* / Д.Г. Шапошников, А.В. Головань, Л.Н. Подладчикова, Н.А. Швецова и др. // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2002. – № 7–8. – С. 21–33.
4. *Распознавание дорожных знаков: модель и эксперимент* / Д.Г. Шапошников, Г.Г. Бондарь, В.И. Гусакова, Л.Н. Подладчикова // Нейроинформатика – 2007: Материалы всероссийской конференции. – М.: МИФИ, 2007. – Т. 2. – С. 259–266.
5. *Гонсалес Р.*, Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. *Абламейко С.В.*, Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение: Учеб. пособие. – Мн.: Амалфея, 2000. – 304 с.

<sup>1</sup> Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Поступила в редакцию 16 декабря 2008 г.