

## АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ АВТОСТОЯНКИ НА ОСНОВЕ ГИСТОГРАММ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГРАДИЕНТОВ И МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

П.В. Ярошевич<sup>1</sup>, Р.П. Богуш<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Полоцкий государственный университет, Полоцк, Беларусь

### Аннотация

Для повышения эффективности классификации изображений парковочных мест предлагается алгоритм, который может быть использован в интеллектуальных системах видеомониторинга автостоянок. Признаки изображения парковочного места формируются на основе гистограмм ориентированных градиентов путем выполнения следующих шагов: вычисление горизонтальных и вертикальных градиентов для исходного изображения парковочного места, нахождение модуля вектора градиента и ориентаций, накопление мощностей градиентов в соответствии с ориентациями в ячейках, объединение ячеек в блоки, вычисление второй нормы ориентаций и нормализация ориентаций ячеек блока. Классификация дескрипторов парковочного места выполняется с использованием метода опорных векторов. В работе представлены результаты экспериментов по оценке наиболее эффективных параметров дескриптора парковочного места и типа функции ядра классификатора.

**Ключевые слова:** машинное зрение, анализ изображений, распознавание образов.

**Цитирование:** Ярошевич, П.В. Алгоритм классификации изображений парковочных мест автостоянки на основе гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов / П.В. Ярошевич, Р.П. Богуш // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 110-117. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-110-117.

### Введение

Системы видеонаблюдения приобретают все большую значимость в различных сферах деятельности человека [1–3]. Благодаря развитию технологий компьютерного зрения предложен ряд систем видеонаблюдения с интеллектуальной обработкой входных видеоданных, включая системы управления автомобильными парковками. Такие видеосистемы могут автоматически выполнять многие функции. Например, определение занятости парковочного места, подсчет количества автомобилей на стоянке, определение расположения или типа транспортного средства, анализ активности людей, предоставление справочной информации в виде маршрута к парковочному месту, удаленное наблюдение владельца за автомобилем с помощью смартфона и оповещение в случае возникновения нештатной ситуации и т.д. Очевидно, что для таких систем необходимо алгоритмическое обеспечение по обработке входных видеоданных, основным требованием к которому является высокая эффективность классификации парковочных мест, в том числе при наличии различных шумовых факторов: теней, световых пятен в солнечную погоду, изменений общей освещенности автомобильной парковки в течение суток, изменений погодных условий и т.д. Таким образом, сложность задачи предопределила разработку и развитие ряда методов и алгоритмов для её решения.

Общий подход для построения алгоритмов обнаружения свободных и, соответственно, занятых парковочных мест предполагает выполнение следующих шагов: предварительная сегментация и локализация парковочных мест (регионов интереса), вычисление их признаков, классификация и интерпретация результата. В настоящее время активно ведутся исследования в данной области и предлагается ряд методов

для определения занятости парковочных мест по видеоизображениям [4]: методы, основанные на обнаружении автомобиля на парковочном месте [5, 6]; методы, основанные на сравнении обрабатываемого парковочного места с эталонным свободным местом [7, 8] и комбинированные методы [9, 10], построенные на основе первых двух подходов. Методы первой группы неустойчивы к ошибкам классификации, возникающим из-за взаимного перекрытия автомобилей на видеоизображениях. Методы второй группы предполагают использование модели эталонного свободного парковочного места, поэтому вероятность ложной классификации увеличивается при появлении естественных шумовых факторов, людей, при локальном изменении освещенности и т.д. Комбинированные методы, как правило, предполагают использование преимуществ обоих подходов, но требуют при этом значительных вычислительных затрат.

Для построения вектора признаков изображения парковочного места перспективным является использование гистограмм ориентированных градиентов (HOG), т.к. в данном случае обеспечивается инвариантность относительно поворота изображения и изменения масштаба, устойчивость к шуму и изменению освещения [11]. В последнее время предложен ряд методов и алгоритмов для классификации парковочных мест с использованием гистограмм ориентированных градиентов, к наиболее эффективным можно отнести [9, 14–16]. В работе [14] рассматривается метод, использующий указанный дескриптор и байесовский классификатор, для которого вероятность правильной классификации при нормальных условиях съемки достигает 0,9945. Метод предполагает построение структурной 3D-модели для каждого парковочного места и характеризуется большими временными затратами. Алгоритм, представленный в [9], направлен на повышение производительности подоб-

ного подхода и при наиболее оптимальных условиях съемки позволяет достичь вероятности правильной классификации 0,9936. В работе [15] показано дальнейшее развитие алгоритма путем применения на этапе классификации метода опорных векторов (SVM), за счет чего обеспечивается увеличение вероятности правильной классификации до 0,9955. В [16] исследованы алгоритм для классификации парковочных мест на основе гистограмм ориентированных градиентов и машин опорных векторов и алгоритм на основе признаков Хаара и метода AdaBoost. При этом вероятность правильной классификации достигается для первого и второго алгоритмов 0,691 и 0,95 соответственно. Таким образом, несмотря на хорошие качественные характеристики методов обнаружения свободных парковочных мест автостоянки в системах видеонаблюдения, данная задача не решена в полной мере в настоящее время, следовательно, исследования в данном направлении актуальны.

Целью данной работы является повышение эффективности классификации изображений парковочных мест на основе гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов, определение наиболее эффективных параметров дескриптора и типа разделяющей функции классификатора.

### 1. Вычисление вектора признаков

Алгоритм построения вектора признаков парковочного места на основе гистограммы ориентированных градиентов требует выполнения следующих шагов:

1) Вычисление градиентов для исходного изображения  $I$  с размерами  $w \times h$ :

$$G_{x,y}^x = I_{x,y} \cdot M^x \quad G_{x,y}^y = I_{x,y} \cdot M^y, \quad (1)$$

где  $0 \leq x \leq w$ ,  $0 \leq y < h$ ,  $M(M^x, M^y)$  – дискретный дифференцирующий оператор ( $M^x$  и  $M^y$  для осей  $x$  и  $y$  соответственно).

2) Вычисление модуля вектора градиента  $G_{x,y}$  и ориентации  $\theta_{x,y}$  для изображения  $I$ :

$$G_{x,y} = \sqrt{G_{x,y}^x{}^2 + G_{x,y}^y{}^2} \quad \theta_{x,y} = \arctan(G_{x,y}^y / G_{x,y}^x) \quad (2)$$

и формирование матрицы градиентов  $G$  и ориентаций  $\theta$  изображения  $I$ .

3) Разбиение  $G$  на ячейки  $C_{m,n}$  размером  $C_w \times C_h$  и накопление мощностей градиентов в соответствии с ориентациями  $\theta$ , для каждой из них:

$$C_{m,n}^l = \sum_{\substack{i=m \cdot C_w \\ j=n \cdot C_h}}^{(m+1) \cdot C_w - 1} \begin{cases} G_{i,j}, & l \cdot (2\pi/b) \leq \theta_{i,j} < (l+1) \cdot (2\pi/b) \\ 0, & (2\pi/b) > \theta_{i,j} \cup \theta_{i,j} \geq (l+1) \cdot (2\pi/b) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $b$  – число ориентаций в ячейке, которое определяется поставленной задачей,  $0 \leq l < b$ ,  $0 \leq m < cw$ ,  $0 \leq n < ch$ ,  $cw = (w / C_w)$ ,  $ch = (h / C_h)$ .

4) Объединение ячеек в блоки  $B_{f,g}$  размером  $B_w \times B_h$ :

$$B_{f,g} = \begin{pmatrix} C_{f,g} & \dots & C_{f+B_w-1,g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{f,g+B_h-1} & \dots & C_{f+B_w-1,g+B_h-1} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $0 \leq m < cw$ ,  $0 \leq g < bh$ ,  $bw = cw - B_w + 1$ ,  $bh = ch - B_h + 1$ .

5) Формирование вектора признаков:

5.1) Вычисление второй нормы ориентаций ячеек блока  $B_{f,g}$ :

$$\|B_{f,g}\|_2 = \sqrt{\sum_{i=f}^{f+B_w-1} \sum_{j=g}^{g+B_h-1} \sum_{l=0}^{b-1} C_{i,j}^l}. \quad (5)$$

5.2) Нормализация ориентаций ячеек блока:

$$C_{i,j}^{l,f,g} = C_{i,j}^l / \|B_{f,g}\|_2. \quad (6)$$

5.3) Составление вектора признаков:

$$d_{b \cdot B_w \cdot B_h (bw \cdot g + f) + b \cdot (B_w \cdot (j-g) + (i-f)) + l} = C_{i,j}^{l,f,g}. \quad (7)$$

Размер вектора  $d$  зависит от размера изображения  $w \times h$ , размера ячеек  $C_w \times C_h$  и размера блока  $B_w \times B_h$ , а также от количества ориентаций в ячейке  $b$ . Таким образом, количество элементов в признаковом векторе может быть определено как:

$$D_s = b \cdot B_w \cdot B_h \cdot (w/C_w - 1) \cdot (h/C_h - 1). \quad (8)$$

### 2. Классификация признаков

Для классификации дескрипторов парковочного места, полученных на основе гистограмм ориентированных градиентов, применяется метод опорных векторов, который позволяет разделять парковочные места на два класса – свободные и занятые. Правило классификации парковочных мест может быть записано в следующем виде [12]:

$$a(d) = \text{sign} \left( \sum_{i=0}^n \lambda_i y_i K(d_i, d) - w_0 \right), \quad (9)$$

где  $a(d)$  – решающее правило (принимает одно из значений меток класса: +1 и -1 для свободных и занятых мест соответственно),  $\lambda$  ( $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_n$ ) – вектор двойственных переменных,  $y$  ( $y_0, y_1, \dots, y_n$ ) – вектор меток классов опорных векторов,  $\{d_i\}_{i=1,n}$  – множество опорных векторов признаков,  $w_0$  – пороговое значение,  $d$  – обрабатываемый вектор признаков.

Эффективность работы классификатора в значительной степени определяется применяемой функцией ядра. Для классификации парковочных мест могут быть использованы следующие функции:

- линейная  $K_{lin}(d_a, d_b) = d_a \cdot d_b$ , (10)

- радиальная  $K_{rbf}(d_a, d_b) = \exp(-\gamma \cdot \|d_a - d_b\|^2)$ , (11)

- полиномиальная  $K_{poly}(d_a, d_b) = (\gamma \cdot K(d_a, d_b) + c)^\delta$ , (12)

- пересечения гистограмм  $K_{hist}(d_a, d_b) = \sum_i \min(|d_{a_i}|, |d_{b_i}|)$ , (13)

где  $d_a$  и  $d_b$  – признаковые вектора;  $\gamma, \delta, c$  – параметры соответствующих ядер.

### 3. Результаты экспериментов

Для проведения экспериментов и оценки результатов исследований рассмотренный подход реализован на языке Java с использованием среды разработки eclipse, библиотеки компьютерного зрения OpenCV 3.0.0 и библиотеки машинного обучения метода опорных векторов jlibsvm. Разработка, тестирование и анализ результатов работы алгоритма проводились на персональном компьютере с центральным процессором Intel(R) Core(TM)2 DuoCPU с тактовой частотой 2,6 ГГц и объемом ОЗУ 4,0 ГБ.

В качестве данных для экспериментов использовались изображения парковки Папского католического университета Параны (Pontifical Catholic University of Parana) из базы данных Pk-Lot [13]. Pk-Lot содержит изображения парковки, полученные при различных погодных условиях, теневых эффектах и освещенности. Парковочные места находятся на различном удалении от камеры, которая установлена достаточно высоко над парковкой. Это позволяет перейти к виду сверху на изображение парковки путем преобразования перспективы, при этом отсутствуют перекрытия изображений парковочных мест транспортными средствами, расположенными рядом.

Для тестирования алгоритма использованы 2153 изображения парковки с общим количеством изображений парковочных мест 292808, которые были получены при различных погодных условиях (табл. 1).

Табл. 1. Основные характеристики используемых изображений парковки

Погодные условия	Период съемки (дней), количество изображений	Общее количество изображений мест парковки	
		свободных	занятых
Туман	6/664	61406	28898
Дождь	4/416	18670	37906
Солнечно	12/1073	78801	67127

На рис. 1 представлен пример изображений свободных и занятых парковочных мест, полученных в различных условиях съемки, используемых при обучении классификатора, отличных от изображений, на основе которых проводились исследования характеристик алгоритма.

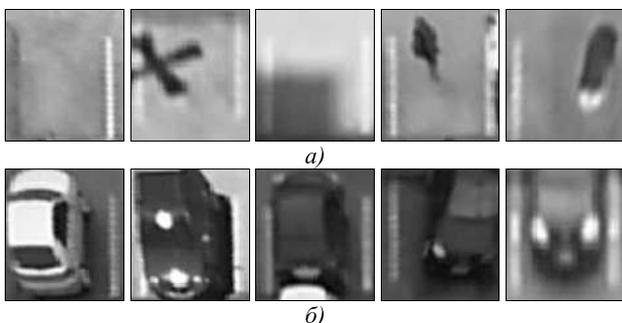


Рис. 1. Пример изображений, используемых при обучении классификатора: свободные парковочные места (а), занятые места парковки (б)

На рис. 2 представлена визуализация ориентаций ячеек свободного и занятого парковочных мест, вы-

численных на основе гистограмм ориентированных градиентов.

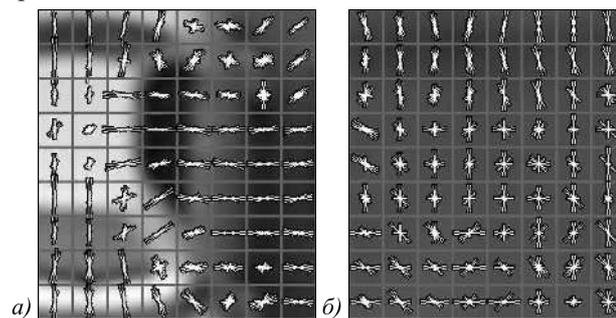


Рис. 2. Визуализация ориентаций ячеек для изображений парковочных мест: занятое парковочное место (а), свободное парковочное место (б)

Полученный вектор признаков алгоритма имеет ряд параметров, которые определяют эффективность классификации: размеры парковочного места, размеры ячейки, гистограммы ориентаций ячейки, блока, шага перекрытия блоков и схемы нормализации. Поэтому для предложенного алгоритма необходимо заполнить исследование с целью определения наиболее значимых параметров, обеспечивающих максимальную эффективность классификации.

Эффективность дескриптора оценивается вероятностью правильной классификации изображений парковочных мест  $RR(w, h, C_w, C_h, b)$ , которая вычисляется по формуле:

$$RR(w, h, C_w, C_h, b) = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}, \tag{14}$$

где  $w, h$  – ширина и высота изображения парковочного места;  $C_w, C_h$  – ширина и высота ячейки,  $b$  – количество ориентаций в ячейке;  $TP$  – количество правильно классифицированных свободных парковочных мест;  $FP$  – количество свободных мест парковки, классифицированных как занятые;  $TN$  – количество правильно классифицированных занятых парковочных мест, классифицированных как свободные.

Вероятность ложной классификации изображений свободных парковочных мест определяется как:

$$FPR = FP / (TP + FP). \tag{15}$$

Вероятность ложной классификации изображений занятых парковочных мест определяется как:

$$FNR = FN / (TN + FN). \tag{16}$$

На рис. 3 представлены результаты эксперимента по определению наиболее эффективного размера изображения парковочного места дескриптора для наиболее используемых размеров ячейки при решении других практических задач  $8 \times 8$  и количестве ориентаций в ячейке равно 9 для признакового вектора, формируемого на основе гистограмм ориентированных градиентов.

Из рис. 3 следует, что наиболее эффективными могут быть размеры изображений парковочных мест:  $64 \times 56, 64 \times 64, 64 \times 72, 64 \times 80, 48 \times 104$ , для которых необходимо определение значений последу-

ющих параметров алгоритма. На рис. 4 показаны результаты экспериментов по определению наиболее эффективных размеров ячеек, обеспечивающих максимальную вероятность правильного обнаружения для изображений с размерами, полученными на предыдущем этапе исследований. Анализ рис. 4 показывает, что максимальная вероятность пра-

вильной классификации при различных размерах ячеек обеспечивается для соответствующих размеров изображений парковочного места, при следующих параметрах дескриптора ( $w, h, C_w, C_h$ ) парковочного места: (64, 56, 8, 8), (64, 64, 8, 8), (64, 72, 8, 6), (64, 72, 8, 8), (64, 72, 8, 9), (64, 72, 8, 12), (64, 80, 8, 5), (64, 80, 8, 8), (64, 80, 8, 16), (48, 104, 8, 8).

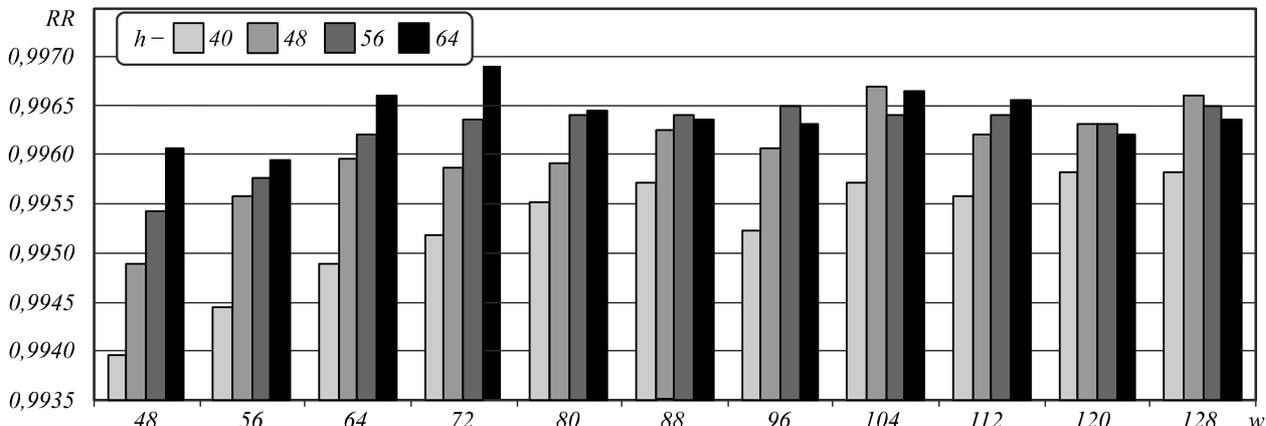


Рис. 3. Вероятность правильной классификации для различных размеров изображений парковочных мест

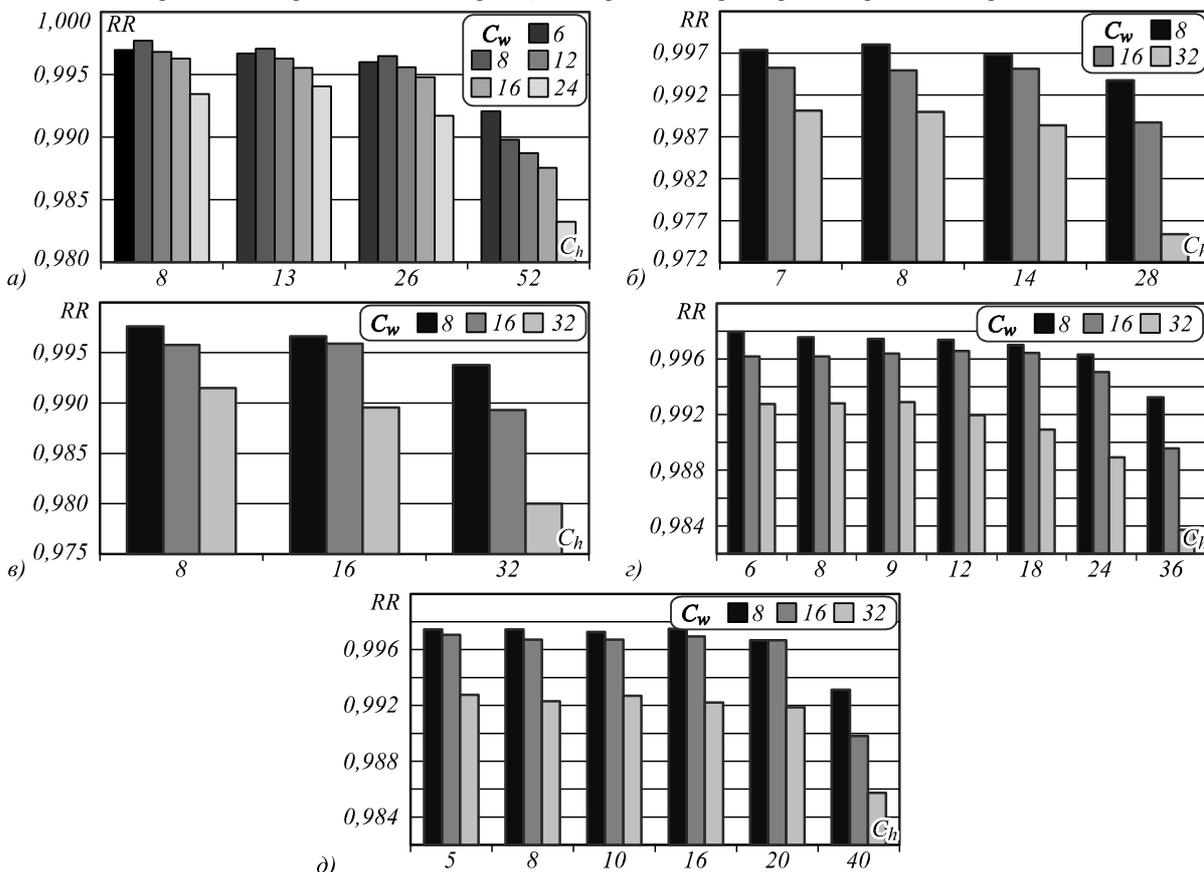


Рис. 4. Вероятность правильной классификации при различных размерах ячеек для изображения с  $w \times h$ : а)  $48 \times 104$ , б)  $64 \times 56$ , в)  $64 \times 64$ , г)  $64 \times 80$ , д)  $64 \times 72$

На следующем шаге проведены экспериментальные исследования по определению количества ориентаций в ячейке, обеспечивающих максимальную вероятность правильного обнаружения, в интервале от 4 до 18, т.е. в два раза меньше и больше от традиционно применяемого значения при решении других

практических задач с использованием гистограмм ориентированных градиентов. На рис. 5 представлены результаты исследований для количества ориентаций в ячейке в диапазоне от 9 до 18, т.к. для меньшего количества ориентаций вероятность правильного обнаружения значительно ниже.

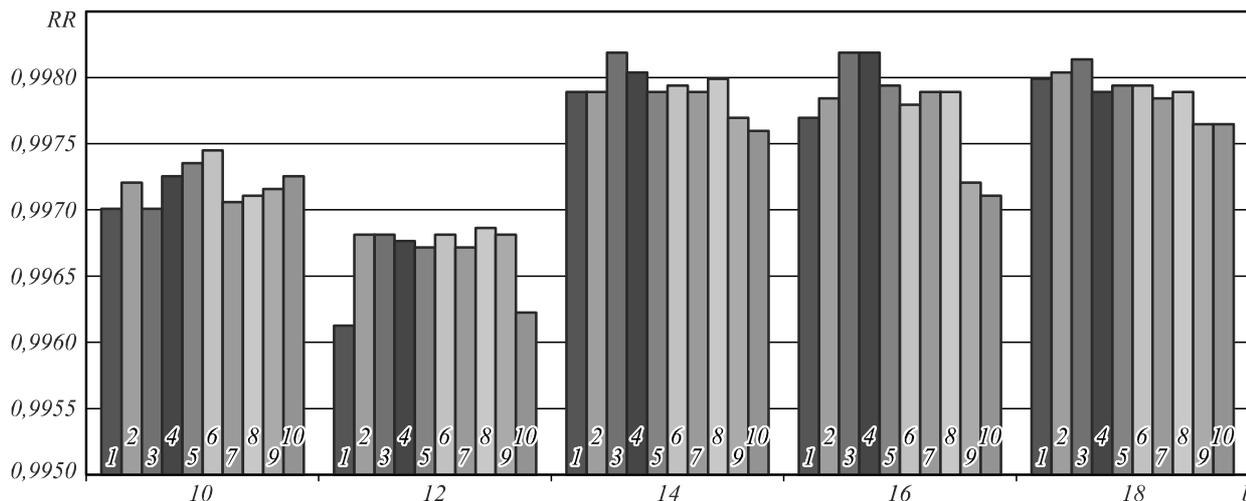


Рис. 5. Вероятность правильной классификации при различном количестве ориентаций в ячейках: 1 – (64, 56, 8, 8), 2 – (64, 64, 8, 8), 3 – (64, 72, 8, 6), 4 – (64, 72, 8, 8), 5 – (64, 72, 8, 9), 6 – (64, 72, 8, 12), 7 – (64, 80, 8, 5), 8 – (64, 80, 8, 8), 9 – (64, 80, 8, 16), 10 – (48, 104, 8, 8)

Результаты, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что вероятность правильной классификации тестовых изображений является максимальной для трех различных параметров дескриптора ( $w, h, C_w, C_h, b$ ): (64, 72, 8, 6, 14), (64, 72, 8, 6, 16), (64, 72, 8, 8, 16). В этом случае необходимо найти признаковый вектор минимальной длины.

Исходя из размеров полученных дескрипторов:

$$D_S(64, 72, 8, 16, 14) = 4928, D_S(64, 72, 8, 6, 16) = 5638, D_S(64, 72, 8, 8, 16) = 3584,$$

следует, что наиболее эффективными являются следующие параметры дескриптора: размер изображения парковочного места –  $64 \times 72$ , размер ячейки –  $8 \times 8$ , количество ориентаций в ячейке – 16.

При использовании метода опорных векторов тип функции ядра и выбранные для него параметры в значительной мере влияют на результат классификации. Поэтому проведены эксперименты по оценке эффективности классификации методом опорных векторов полученных признаков парковочных мест на основе гистограмм ориентированных градиентов при использовании различных функций ядра (табл. 2).

Табл. 2. Сравнительная характеристика эффективности классификации при использовании различных функций ядра

Тип функции ядра	Ширина разделяющей полосы	Кол-во опорных векторов	RR	FPR	FNR
Линейная	4,366	161	0,99431	2,91e-3	9,16e-3
Пересечения гистограмм	2,387	262	0,99652	2,12e-3	5,19e-3
Радиальная, $\gamma = 0,1$	1,371	330	0,99706	1,41e-3	4,86e-3
Полиномиальная, $\delta = 7, \gamma = 0,1, c = 0$	0,752	479	0,99740	1,58e-3	3,86e-3

Результаты исследований, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что функция ядра на основе пересечения гистограмм является наиболее

эффективной на основе комплексного анализа всех представленных качественных характеристик.

На рис. 6 показан пример классификации парковочных мест разработанным алгоритмом с определенными параметрами на свободные и занятые.

Сравнение характеристик представленного алгоритма с другими алгоритмами классификации парковочных мест приведено в табл. 3. Анализ представленных данных показывает, что предложенный подход обеспечивает повышение вероятности правильной классификации изображений парковочных мест.

### Заключение

Для классификации изображений парковочных мест автостоянки, полученных с использованием систем видеонаблюдения, предложен алгоритм на основе вычисления гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов. Признаки изображения парковочного места формируются на основе гистограмм ориентированных градиентов путем выполнения следующих шагов: вычисление горизонтальных и вертикальных градиентов для исходного изображения парковочного места, нахождение модуля вектора градиента и ориентаций, накопление мощностей градиентов в соответствии с ориентациями в ячейках, объединение ячеек в блоки, вычисление второй нормы ориентаций ячеек блока и нормализация ориентаций ячеек блока. Классификация дескрипторов парковочного места выполняется с использованием метода опорных векторов с функцией ядра на основе пересечения гистограмм.

На основе экспериментальных исследований установлены наиболее эффективные значения параметров дескриптора: размер изображения парковочного места –  $64 \times 72$ , размер ячейки –  $8 \times 8$ , количество ориентаций в ячейке – 16. При этом вероятность правильной классификации 0,997.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода, перспективными являются исследования по повышению быстродействия метода за счет использования технологии CUDA.

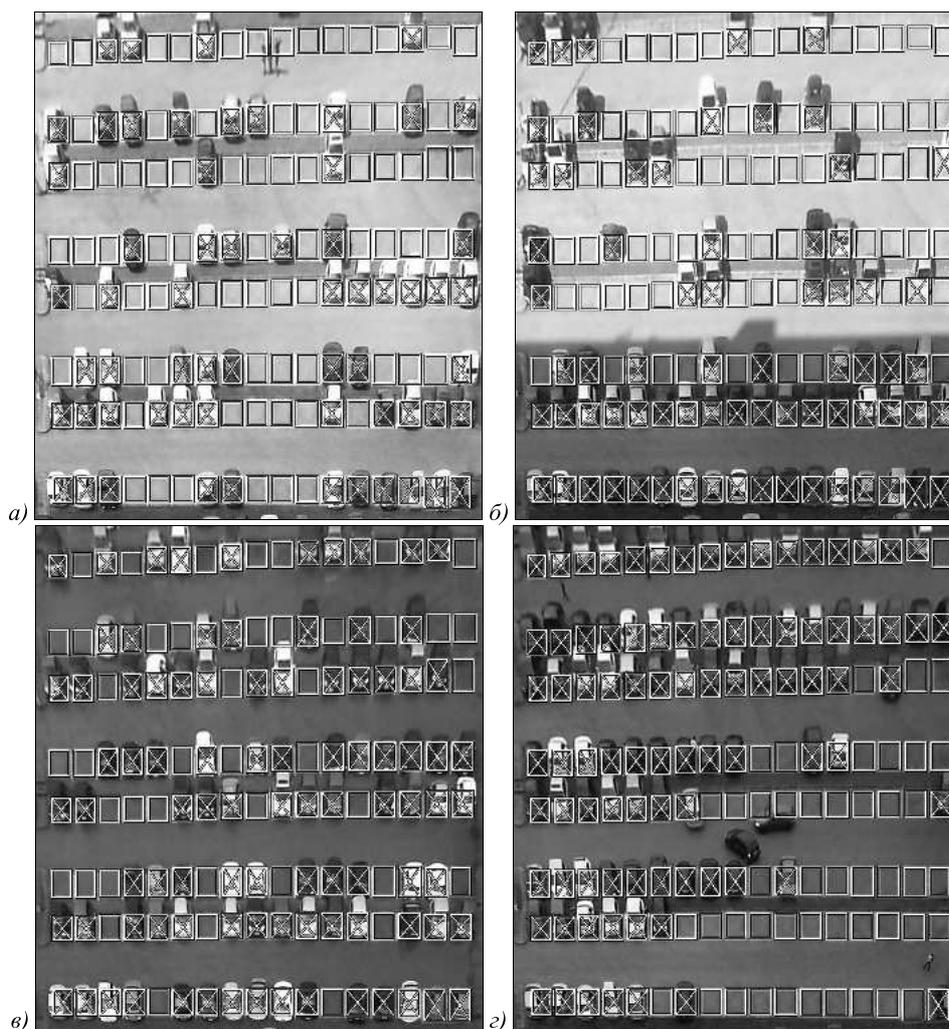


Рис. 6. Результат классификации парковочных мест: а) в солнечный день, б) при наличии тени, в) после дождя, г) в пасмурную погоду

Табл. 3. Сравнение характеристик алгоритмов классификации парковочных мест

Алгоритм	Дескриптор	Классификатор	Количество снимков парковки	Количество парковочных мест	Вероятность правильной классификации
C.-C. Huang, Y.-S. Dai, S.-J. Wang [14]	HOG ( $w, h, C_w, C_h, b$ )=(64, 32, 16, 16, 8)	Bayes	955	72	0,9945
C.-C. Huang, Y.-S. Tai, S.-J. Wang [9]	HOG ( $w, h, C_w, C_h, b$ )=(64, 32, 16, 16, 10)	Bayes	825	72	0,9939
C.-C. Huang, H.T. Vu, Y.-R. Chen [15]	HOG ( $w, h, C_w, C_h, b$ )=(96, 48, -, -, -)	SVM	1564	72	0,9955
R. Fusek at al. [16]	HOG ( $w, h, C_w, C_h, b$ )=(96, 96, 8, 8, 4)	SVM	-	57	0,691
R. Fusek at al. [16]	Haar	Adaboosts	-	57	0,95
M. Tschentscher at al. [17]	Histogram, HSV	k-NN	1010	36	0,9655
	DoG				0,9358
	Histogram, RGB	SVM			0,9712
	DoG				0,9413
L. Baroffio at al. [18]	Histogram, HSV	SVM	3791	28	0,96
			4152	37	0,93
			4474	100	0,87
Представленный алгоритм	HOG ( $w, h, C_w, C_h, b$ )=(64, 72, 8, 8, 16)	SVM	2153	136	0,997

**Литература**

1. **Ngan, K.** Video segmentation and its applications / K. Ngan, H. Li // New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2011. – 164 p. – DOI: 10.1007/978-1-4419-94182-0.

2. **Brovko, N.** Smoke detection algorithm for intelligent video surveillance system / N. Brovko, R. Bogush, S. Ablameyko // Computer Science Journal of Moldova. – 2013. – Vol. 21(1), No. 61. – P. 142-156.

3. **Васин, Н.Н.** Система технического зрения для контроля состояния железнодорожного пути / Н.Н. Васин, Р.П. Дзязидинов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 410-415. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-410-415.
4. **Idris, M.Y.** Car park system: A review of smart parking system and its technology / M.Y.I. Idris, Y.Y. Leng, E.M. Tamil, N.M. Noor, Z. Razak // Information Technology Journal. – 2009. – Vol. 8(2). – P. 101-113. – DOI: 10.3923/ij.2009.101.113.
5. **True, N.** Vacant parking space detection in static images. Technical Report / N. True. – San Diego: University of California, 2007.
6. **Bong, D.B.L.** Car-park occupancy information system / D.B.L. Bong, K.C. Ting, N. Rajaee // Third Real-Time Technology and applications symposium, RENTAS 2006, Serdang, Selangor, December 2006. – 2006.
7. **Sastre, R.J.L.** Computer algebra algorithms applied to computer vision in a parking management system / R.J.L. Sastre, P.G. Jimenez, F.J. Acevedo, S.M. Bascon // In: IEEE international symposium on industrial electronics, ISIE 2007. – 2007. – P. 1675-1680. – DOI: 10.1109/ISIE.2007.4374856.
8. **Almeida, P.** Parking space detection using textural descriptors / P. Almeida, L.S. Oliveira, E. Silva, A. Britto, A.L. Koerich // IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). – 2013. – P. 3603-3608. – DOI: 10.1109/SMC.2013.614.
9. **Huang, C.-C.** Vacant parking space detection based on plane-based bayesian hierarchical framework / C.-C. Huang, Y.-S. Tai, S.-J. Wang // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2013. – Vol. 23(9). – P. 1598-1610. – DOI: 10.1109/TCSVT.2013.2254961.
10. **Jermurawong, J.** Car parking vacancy detection and its application in 24-hour statistical analysis / J. Jermurawong, M.U. Ahsan, A. Haidar, H. Dong, N. Mavridis // 10<sup>th</sup> International Conference on Frontiers of Information Technology. – 2012. – P. 84-90. – DOI: 10.1109/FIT.2012.24.
11. **Dalal, N.** Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N. Dalal, B. Triggs // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – Vol. 1. – P. 886-893. – DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
12. **Вапник, В.Н.** Теория распознавания образов / В.Н. Вапник, А.Я. Червонекис. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
13. PKLot – A robust dataset for parking lot classification [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://web.inf.ufpr.br/vri/news/parking-lot-database> (дата обращения 15.12.2015).
14. **Huang, C.-C.** A surface-based vacant space detection for an intelligent parking lot / C.-C. Huang, Y.-S. Dai, S.-J. Wang // Proceedings of 12<sup>th</sup> International Conference on ITS Telecommunications. – 2012. – P. 284-288. – DOI: 10.1109/ITST.2012.6425183.
15. **Huang, C.-C.** A multiclass boosting approach for integrating weak classifiers in parking space detection / C.-C. Huang, Hoang Tran Vu, Yi-Ren Chen // IEEE International Conference on Consumer Electronics – Taiwan (ICCE TW) 2015. – 2015. – P. 314-315. – DOI: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216918.
16. **Fusek, R.** AdaBoost for parking lot occupation detection / R. Fusek, K. Mozdřeň, M. Šurkala, E. Sojka // InProceedings of the 8th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2013. – 2013. – P. 681-690. – DOI: 10.1007/978-3-319-00969-8\_67.
17. **Tschentscher, M.** Scalable real-time parking lot classification: An evaluation of image features and supervised learning algorithms / M. Tschentscher, C. Koch, M. König, J. Salmen, M. Schlipf // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – 2015. – P. 1-8. – DOI: 10.1109/IJCNN.2015.7280319.
18. **Baroffio, L.** A visual sensor network for parking lot occupancy detection in Smart Cities / L. Baroffio, L. Bondi, M. Cesana, A. Redondi, M. Tagliasacchi // IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2015. – 2015. – P. 745-750. – DOI: 10.1109/WF-IoT.2015.7389147.

#### *Сведения об авторах*

**Ярошевич Павел Владимирович**, 1991 года рождения, в 2016 году окончил магистратуру в Полоцком государственном университете по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», ассистент кафедры вычислительных систем и сетей. Область научных интересов: обработка изображений, криптография, программирование. E-mail: [p.v.yarashevich@pdu.by](mailto:p.v.yarashevich@pdu.by).

**Богуш Рихард Петрович**, 1974 года рождения, в 2002 году в Институте технической кибернетики НАН Беларуси защитил кандидатскую диссертацию. Заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей Полоцкого государственного университета. Автор более чем 120 научных публикаций, включая монографию по обработке изображений и сигналов. Область научных интересов: обработка статических и динамических изображений, информационная безопасность, интеллектуальные системы, формирование и обработка сигналов. E-mail: [bogushr@mail.ru](mailto:bogushr@mail.ru).

ГРНТИ: 28.23.15.

*Поступила в редакцию 21 сентября 2016 г. Окончательный вариант – 1 декабря 2016 г.*

### CLASSIFICATION ALGORITHM OF PARKING SPACE IMAGES BASED ON A HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENTS AND SUPPORT VECTOR MACHINES

*P.V. Yarashevich<sup>1</sup>, R.P. Bohush<sup>1</sup>*  
*<sup>1</sup>Polotsk State University, Polotsk, Belarus*

#### *Annotation*

In this paper, a classification algorithm of parking space images is proposed to improve the accuracy of parking space classification, which can be used in smart parking management systems based on video surveillance. The descriptors of a parking space image are formed on the basis of a histogram of oriented gradients by performing the following steps: computation of vertical and horizontal gradients of the original parking space image, computation of the modulus of the gradient and orien-

tation vectors, the gradients are then accumulated into separate cells according to their orientation, the cells are united into blocks, and the orientations of block's cells are normalized. A support vector machine is used to classify the descriptors of the parking space. The purpose of the research was to determine the most efficient parameters of the parking space descriptor and a kernel function. The paper presents the results of experiments.

**Keywords:** machine vision, image analysis, pattern recognition.

**Citation:** Yarashevich PV, Bohush RP. Classification algorithm of parking space images based on a histogram of oriented gradients and support vector machines. *Computer Optics* 2017; 41(1): 110-117. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-110-117

### References

- [1] Ngan K, Li H. Video Segmentation and Its Applications. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer; 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-94182-0.
- [2] Brovko N, Bogush R, Ablameyko S. Smoke detection algorithm for intelligent video surveillance system. *Computer Science Journal of Moldova* 2013; 21(1)(61): 142-156.
- [3] Vasin NN, Diyazitdinov RR. A machine vision system for inspection of railway track. *Computer optics* 2016; 40(3): 410-415. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-410-415.
- [4] Idris MYI, Leng YY, Tamil EM, Noor NM, Razak Z. Car park system: A review of smart parking system and its technology. *Information Technology Journal* 2009; 8(2): 101-113. DOI:10.3923/itj.2009.101.113.
- [5] True N. Vacant parking space detection in static images. Technical Report. San Diego: University of California; 2007.
- [6] Bong DBL, Tng KC, Rajaee N. Car-park occupancy information system. Third Real-Time Technology and applications symposium 2006.
- [7] Sastre RJJ, Jimenez PG, Acevedo FJ, Bascon SM. Computer algebra algorithms applied to computer vision in a parking management system. *IEEE ISIE* 2007: 1675-1680. DOI: 10.1109/ISIE.2007.4374856.
- [8] Almeida P, Oliveira LS, Silva E, Britto A, Koerich AL. Parking space detection using textural descriptors. *IEEE SMC* 2013: 3603-3608. DOI:10.1109/SMC.2013.614.
- [9] Huang C-C, Tai Y-S, Wang S-J. Vacant parking space detection based on plane-based bayesian hierarchical framework. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 2013; 23(9): 1598-1610. DOI: 10.1109/TCSVT.2013.2254961.
- [10] Jermsurawong J, Ahsan MU, Haidar A, Dong H, Mavridis N. Car parking vacancy detection and its application in 24-hour statistical analysis. 10th International Conference on Frontiers of Information Technology 2012: 84-90. DOI: 10.1109/FIT.2012.24.
- [11] Dalal N, Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *CVPR'05* 2005; 1: 886-893. DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
- [12] Vapnic VN, Chervonenkis AYa. Theory of pattern recognition [In Russian]. Moscow: "Nauka" Publisher; 1974.
- [13] PKLot – A robust dataset for parking lot classification. Source: (<http://web.inf.ufpr.br/vri/news/parking-lot-database>).
- [14] Huang C-C, Dai Y-S, Wang S-J. A surface-based vacant space detection for an intelligent parking lot. Proceedings of 12th international conference on ITS telecommunications 2012: 284-288. DOI: 10.1109/ITST.2012.6425183.
- [15] Huang C-C, Vu HT, Chen Y-R. A multiclass boosting approach for integrating weak classifiers in parking space detection. *ICCE TW* 2015: 314-315. DOI: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216918.
- [16] Fusek R, Mozdřeň K, Šurkala M, Sojka E. AdaBoost for parking lot occupation detection. *CORES* 2013: 681-690. DOI: 10.1007/978-3-319-00969-8\_67.
- [17] Tschentscher M, Koch C, König M, Salmen J, Schlipfing M. Scalable real-time parking lot classification an evaluation of image features and supervised learning algorithms. *IJCNN* 2015: 1-8. DOI: 10.1109/IJCNN.2015.7280319.
- [18] Baroffio L, Bondi L, Cesana M, Redondi A, Tagliasacchi M. A visual sensor network for parking lot occupancy detection in Smart Cities. *WF-IoT* 2015: 745-750. DOI: 10.1109/WF-IoT.2015.7389147.

### Authors' information

**Pavel Yarashevich**, (b. 1991) graduated from Polotsk State University magistracy in 2016, majoring in Mathematical Modeling, Numerical Methods and Complexes of Programs. Currently he works as assistant of Computer Systems and Networks department in PSU. Research interests are computer graphics processing, cryptography and programming. E-mail: [p.v.yarashevich@pdu.by](mailto:p.v.yarashevich@pdu.by).

**Rykhard Bohush**, (b. 1974) graduated from Polotsk State University in 1997. In 2002 he got his PhD in the field of Information Processing at the Institute of Engineering Cybernetics, the National Academy of Sciences of Belarus. Head of Computer Systems and Networks department of Polotsk State University. He is a member of the National Qualifications Framework of Higher Education of Belarus in IT and Electronics Science. His scientific interests include image and video processing, object representation and recognition, intelligent systems, digital steganography. Author of approximately 120 works, including one book on image processing. E-mail: [bogushr@mail.ru](mailto:bogushr@mail.ru).

*Received September 21, 2016. The final version – December 1, 2016.*