

ДВУХУРОВНЕВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ СВЕТОФОРОМ

М. В. Бобырь¹ [0000-0002-5400-6817], **Н. И. Храпова**³ [0000-0001-7947-1427]

^{1,2}*Юго-Западный государственный университет, Курская обл., Курск, 305040
Россия*

¹maxbobyrg@gmail.com, ²KhrapovaNI@yandex.ru

Аннотация

В современном мире проблемы, возникающие в сфере дорожного движения, имеют большую значимость. С целью решения существующих задач разрабатываются различные интеллектуальные системы, одной из которых является система «Умный город». Данная работа посвящена разработке информационно-аналитической системы (ИАС) для управления интеллектуальным светофором. Представленная система состоит из двух уровней, каждый из которых реализует набор определенных операций. Первый уровень отвечает за обнаружение объектов, в частности, пешеходов и автомобилей, находящихся на перекрестке, а второй уровень осуществляет расчёт времени работы сигналов светофора для управляющего сигнала, который передаётся на устройство. Для сравнительного анализа выбран комбинационный метод (HOG+SVM) Histogram of Oriented Gradients, основанный на подсчёте числа направлений градиента на отдельных областях изображения и Support Vector Machines, с помощью которого строятся гиперплоскости в n -мерном пространстве с целью разделения объектов, относящихся к разным классам. Результаты экспериментального исследования, в ходе которого проводилось распознавание объектов на изображениях, показали превосходство разработанной информационно-аналитической системы над существующими. Среднее значение точности выявления пешеходов и автомобилей посредством ИАС составило 69,4%. Кроме того, по результатам проведенного эксперимента сделан вывод, что точность выявления объектов на изображениях прямо пропорциональна расстоянию от видеокамеры до объекта.

Ключевые слова: интеллектуальный светофор, детектирование объектов, машинное обучение, нечётко-логический метод детектирования границ, YOLO, HOG, SVM.

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные системы для управления городским потоком имеют значительную актуальность в современном мире [1]. Задача регулирования транспортного и пешеходного потоков возникает из-за изменяющейся интенсивности дорожного движения в зависимости от времени суток, так как в «часы-пик» (утреннее и вечернее время) наблюдается рост загруженности перекрестков, в отличие от ночного времени, когда улицы практически пусты. Подобные системы позволяют повысить безопасность дорожного движения за счёт решения основных транспортных проблем, таких как высокая загруженность улично-дорожной сети, дорожно-транспортные происшествия и регулирование средней скорости городского потока [2].

В настоящей работе рассмотрено управление городским потоком с помощью системы «Умный город», которая содержит информационно-аналитическую систему, состоящую из двух уровней: детекции числа участников дорожного движения (автомобилей и пешеходов) и расчета времени задержки сигналов светофора.

Для распознавания автомобилей и пешеходов использована нейронная сеть YOLO [3, 4]. Для передачи ей информации необходимо выполнить предобработку изображения, которая включает следующие операции: преобразование в градации серого [5], размытие изображения по Гауссу, детектирование границ и построение контуров [6]. Ранее для построения контуров объектов на изображениях нами был использован алгоритм Канни [7], который имеет недостатки, из-за которых снижается точность распознавания. В данной работе с целью повышения точности распознавания объектов предложено использовать нечётко-логический метод детектирования границ.

С целью проведения сравнительного анализа разработанной системы был выбран комбинационный метод HOG+SVM (Histogram of Oriented Gradients +

Support Vector Machines) [8]. Техника метода HOG [9, 10] (гистограмма направленных градиентов) основана на определении числа направлений градиента в отдельных областях изображений и состоит из пяти шагов: нахождение градиента интенсивности для каждого пикселя; разбиение изображения на ячейки; построение гистограммы, которая указывает направление градиента в каждой ячейке; группировка гистограмм в блоки; нормализация полученных блоков с целью снижения воздействия изменений контраста и освещенности. Недостатками HOG являются вычислительная сложность и чувствительность к шуму на изображении.

SVM [11, 12] (метод опорных векторов) используется в задачах классификации и регрессии и основан на поиске оптимальной гиперплоскости, разделяющей данные на классы. Метод состоит из двух основных этапов: обучение алгоритма на наборе данных, когда каждая точка относится к определенному классу; предсказание класса новой точки данных на основании её расположения относительно гиперплоскости. Недостатками SVM являются чувствительность к шуму и масштабированию данных, ресурсоёмкость, а также сложность выделения наиболее важных признаков для классификации объектов.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Была разработана двухуровневая информационно-аналитическая система управления интеллектуальным светофором. Первый уровень ИАС состоит из семи операций:

1. Получение RGB-изображения с видеокамеры, установленной на перекрестке.
2. Преобразование полученного изображения из RGB в градации серого по формуле

$$I = \frac{R + G + B}{3},$$

где I – интенсивность цвета каждого пикселя, R , G , B – значения интенсивности красного, зелёного и синего цветов в пикселе.

3. Применение операции сглаживания по Гауссу [13] с целью уменьшения влияния шума на изображение по формуле

$$K_{x,y} = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 \frac{1}{b} G_m \cdot I_{x,y},$$

где $K_{x,y}$ – значения интенсивности каждого пикселя; b – коэффициент нормировки, равный сумме элементов матрицы G ; G_m – матрица Гаусса.

4. Детектирование границ объектов с помощью нечётко-логического метода. Данный метод содержит несколько шагов [14]:

4.1. Вычисление значений градиента яркости изображения происходит с помощью свёртки изображения матрицами:

- в вертикальном направлении

$$GX_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Ver \cdot K_{x,y};$$

- в горизонтальном направлении

$$GY_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Gor \cdot K_{x,y}.$$

Далее вычисляется градиент для каждого пикселя с помощью формулы

$$G_{x,y} = \sqrt{GX_{x,y}^2 + GY_{x,y}^2},$$

4.2. Расчёт угла направления градиента по формуле

$$\Theta_{x,y} = \text{round} \left(\text{atan} \left(\frac{GY_{x,y}}{GX_{x,y}} \right) \right),$$

где round – функция для округления результата до целого числа; atan – функция для определения арктангенса отношения градиентов.

4.3. Фаззификация входных и выходных переменных происходит путём вычисления разности градиентов соседних ячеек относительно центральной:

$$\Delta G_i = G - G_i,$$

где i – номер рассматриваемой ячейки.

4.4 Формирование базы нечётких правил представлено в таблице 1.

Таблица 1 – База нечетких правил

Rule	$\Theta_{x,y}$	$\mu(\Delta G1)$	$\mu(\Delta G2)$	$\mu(\Delta G3)$	$\mu(\Delta G4)$	$\mu(\Delta G5)$	$\mu(\Delta G6)$	$\mu(\Delta G7)$	$\mu(\Delta G8)$	Out
R1	0°		Low					High		Edge
R2			High					Low		Edge
R3			High					High		Edge
R1	45°	Low							High	Edge
R2		High							Low	Edge
R3		High							High	Edge
R1	90°				Low	High				Edge
R2					High	Low				Edge
R3					High	High				Edge
R1	135°			Low			High			Edge
R2				High			Low			Edge
R3				High			High			Edge

Далее с помощью операции нечёткого минимума определяется значение степеней нечётких правил [15]:

$$R_i = \min[\mu(\Delta G_i), \mu(\Delta G_i)].$$

4.5 Дефаззификация чёткого значения осуществляется посредством нечётного α -среза, после чего происходит определение границ объектов на изображении.

5 Выделение контуров объектов на изображении производится с помощью алгоритма Suzuki-Abe [16].

6 Распознавание классов объектов происходит с помощью алгоритма YOLO.

7 Блок принятия решений, выходными данными которого является информация о количестве автомобилей и пешеходов, распознанных на входном изображении.

Выходные переменные с первого уровня передаются на второй уровень информационно-аналитической системы. Второй уровень состоит из пяти операций:

1. Определение входных переменных, которыми являются значения количества автомобилей и пешеходов, полученные на первом уровне ИАС.

2. Фаззификация значений входных переменных включает в себя построение функций принадлежности (ФП) и расчёт их степеней с помощью формулы

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \notin [a; c]; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } x \in [a; b]; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } x \in [b; c]; \end{cases}$$

где $\mu(x)$ – характеристическая ФП; a, b, c – вершины треугольника ФП.

3. Выборка решений на основе лингвистических переменных и базы нечетких правил:

3.1. Вычисление степеней истинности предпосылок нечётких правил выполняется с помощью формул

$$R_1 = \theta_t(A_1; B_1);$$

$$R_2 = \theta_t(A_1; B_2);$$

$$R_3 = \theta_t(A_1; B_3);$$

$$R_4 = \theta_t(A_2; B_1);$$

$$R_5 = \theta_t(A_2; B_2);$$

$$R_6 = \theta_t(A_2; B_3);$$

$$R_7 = \theta_t(A_3; B_1);$$

$$R_8 = \theta_t(A_3; B_2);$$

$$R_9 = \theta_t(A_3; B_3);$$

где θ_t – знак, обозначающий операцию нечеткой импликации с использованием одной из t -норм [17].

3.2. Усечение ФП в зависимости от нечетких правил происходит по формулам

$$\begin{aligned} Y_5 &= R_3; \\ Y_4 &= \theta_s(R_2; R_6); \\ Y_3 &= \theta_s(R_1; \max(R_5; R_9)); \\ Y_2 &= \theta_s(R_8; R_4); \\ Y_1 &= R_7, \end{aligned}$$

где θ_s – знак, обозначающий операцию нечеткой импликации с использованием одной из s -норм.

4. Дефаззификация полученных значений [18] выполняется по формуле

$$d_{sum} = \frac{\sum_{i=1}^{11} M_i Y_i}{\sum_{i=1}^{11} Y_i},$$

где M_i – метки выходной ФП, которые задаются синглтонной ФП.

5. Определение выходной переменной, которой является время для регулирования работы сигналов светофора.

Расчёт данных операций и экспериментальные исследования по моделированию системы управления интеллектуальным светофором представлены в статье [19]. Также была разработана и запатентована специализированная программная модель, реализующая регулирование светофора на основе нечеткой логики [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработано специализированное программное обеспечение «Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора» [21]. Для экспериментальных исследований взяты изображения с видеокамеры, установленной на пересечении ул. Карла Маркса и ул. Хуторской города Курска (рисунок 1).

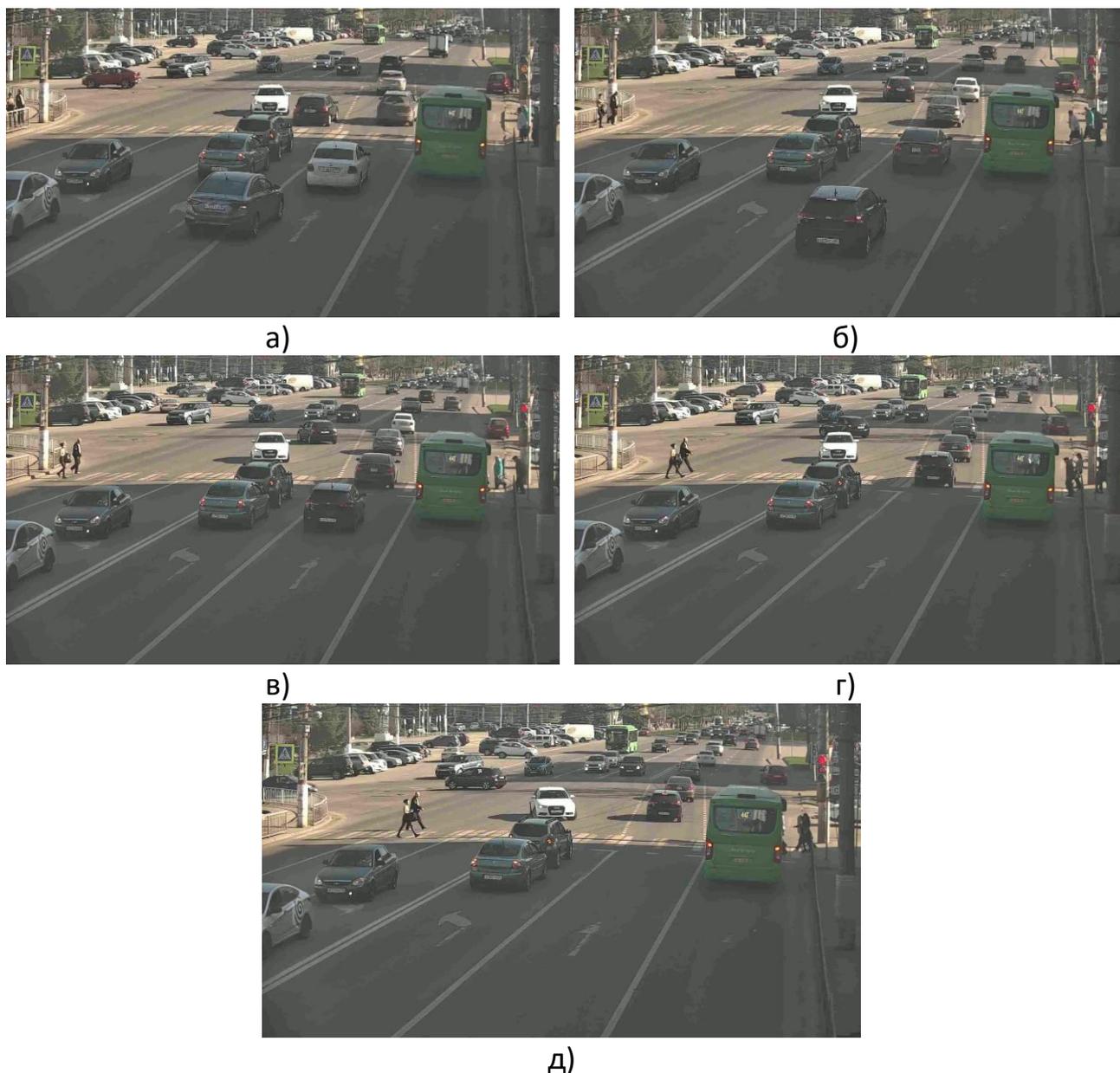
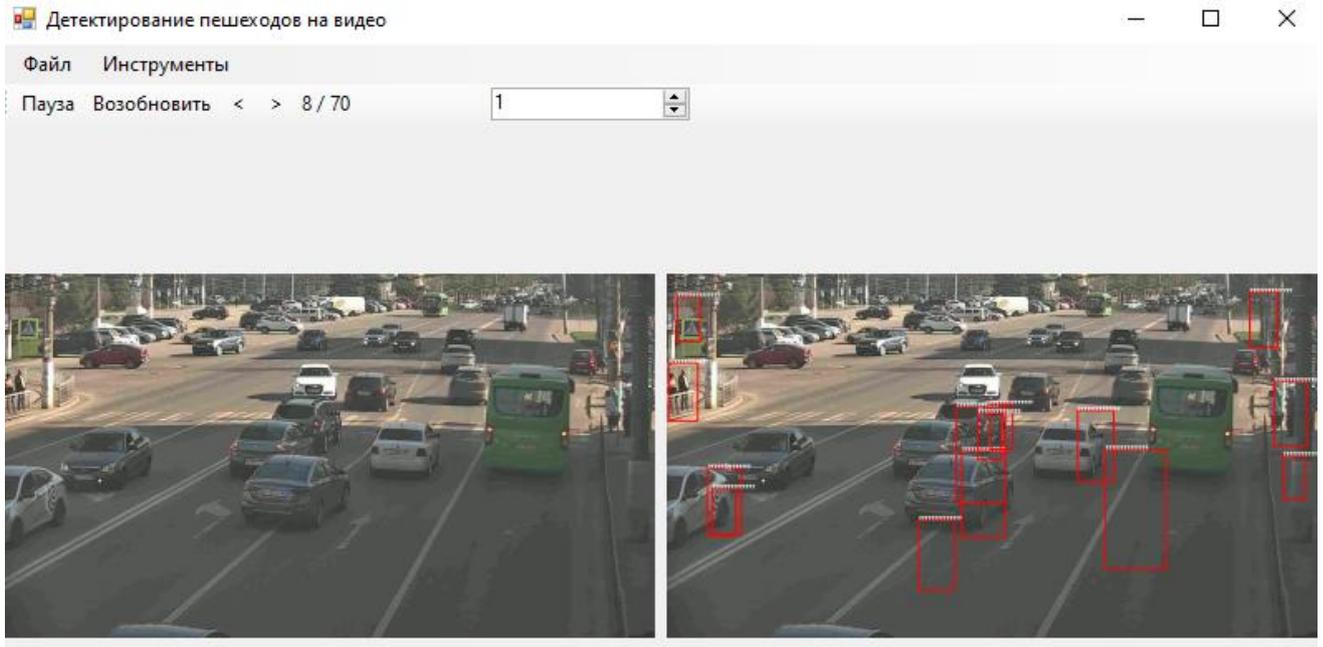


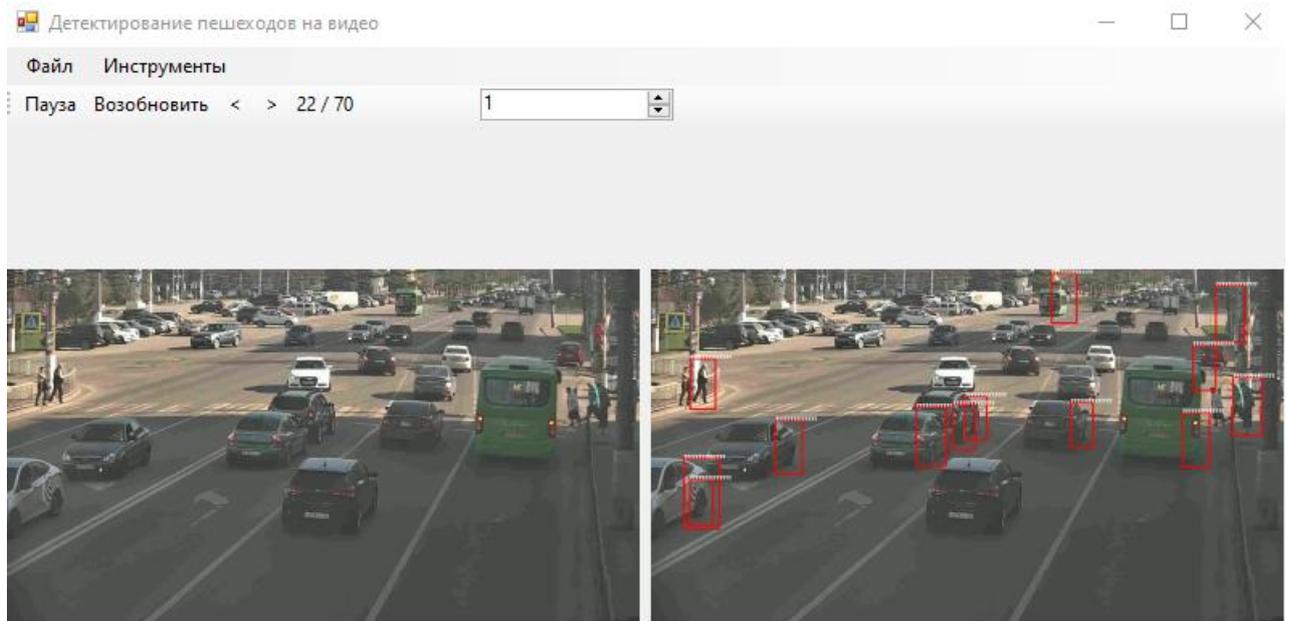
Рис. 1. Детектирование движения людей на пешеходном переходе, исходное изображение: а – кадр 8; б – кадр 22; в – кадр 27; г – кадр 30; д – кадр 34

В ходе экспериментальных исследований распознавание участников дорожного движения производилось с помощью двух методов: HOG+SVM (Histogram of oriented gradients + Support Vector Machines) и разработанной информационно-аналитической системы [22]. Недостатком метода HOG+SVM является возможность распознавания только людей (People), следовательно, эксперимент для автомобилей с помощью данного метода не проводился. Результаты

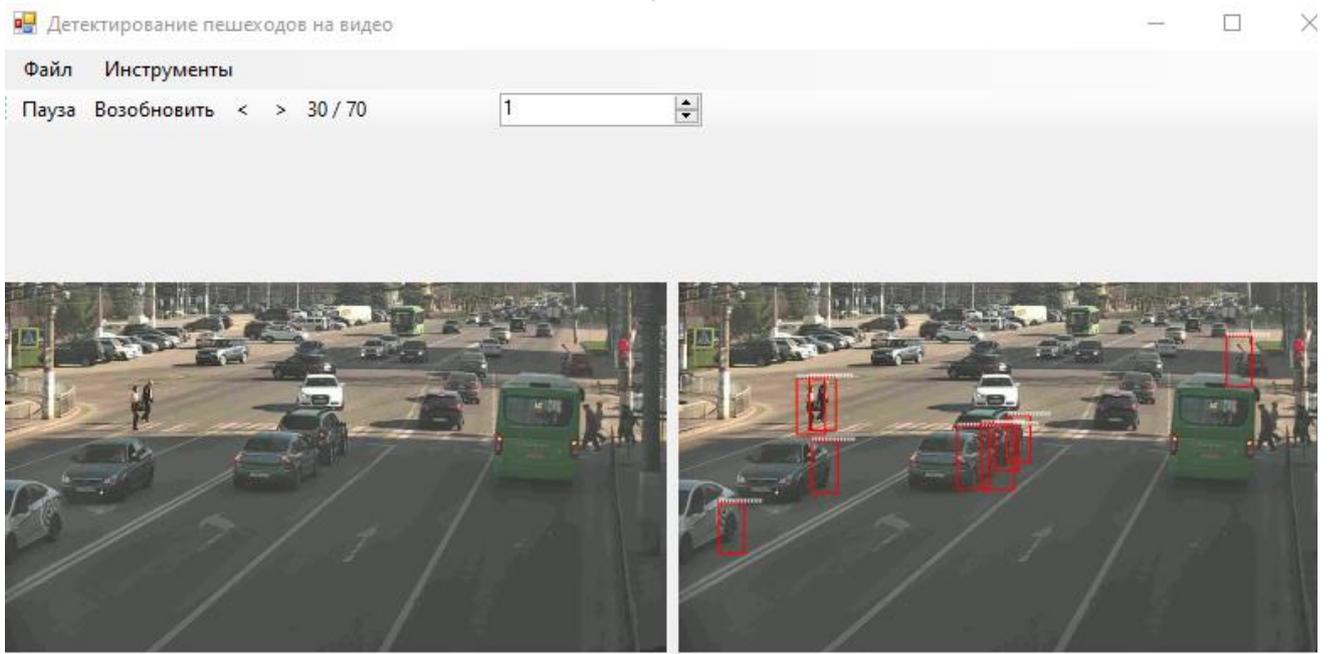
распознавания пешеходов комбинацией методов HOG+SVM представлены на рисунке 2.

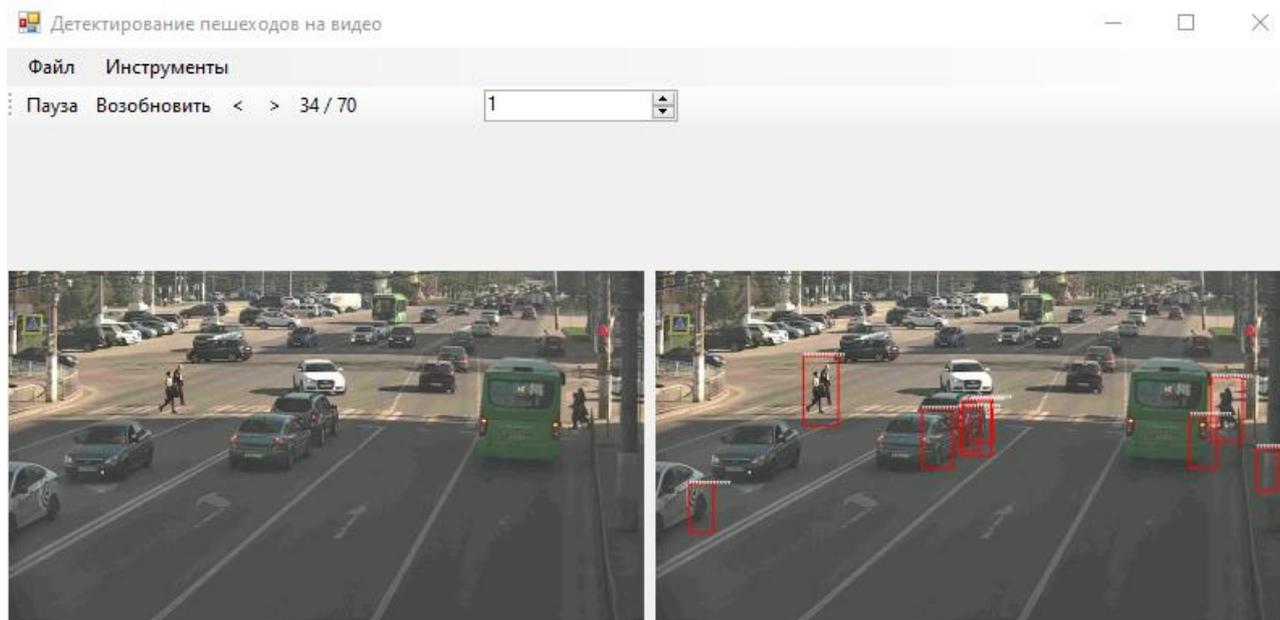


а)



б)





д)

Рис. 2. Детектирование движения людей на пешеходном переходе с помощью комбинации методов HOG+SVM: а – кадр 8; б – кадр 22; в – кадр 27; г – кадр 30; д – кадр 34

Результаты экспериментального исследования сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований детектирования движения людей на пешеходном переходе комбинацией методов HOG+SVM.

Дистанция 51 м.

Номер кадра	Объект	Всего	Количество верно обнаруженных объектов, TP	Количество ложно обнаруженных объектов, FP	Количество пропущенных объектов, FN
8 кадр	Пешеходы	5	2	13	3
22 кадр	Пешеходы	5	2	11	3
27 кадр	Пешеходы	4	2	12	2
30 кадр	Пешеходы	5	2	7	3
34 кадр	Пешеходы	4	2	7	2
Итого			10	50	13

Точность распознавания пешеходов на рассмотренных изображениях рассчитывалась по формуле

$$N = \frac{TP}{TP + FP + FN} \times 100\%,$$

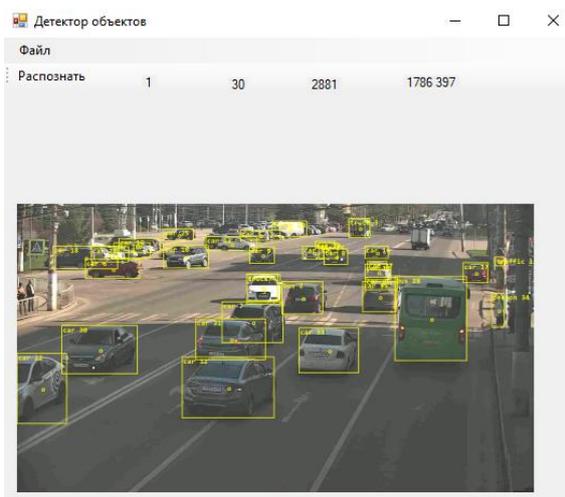
где TP – количество верно обнаруженных объектов; FP – количество ложно обнаруженных объектов; FN – количество пропущенных объектов.

На основе значений из таблицы 1 точность распознавания составила

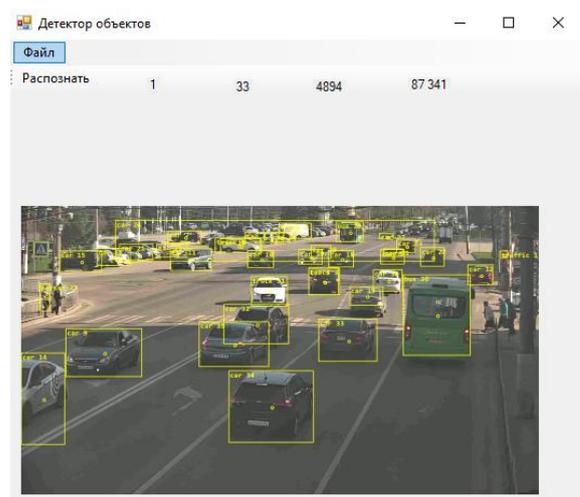
$$N = \frac{10}{10 + 50 + 13} = \frac{13}{73} = 0,1369 \times 100\%.$$

Следовательно, точность распознавания людей на пешеходном переходе с помощью комбинации методов HOG+SVM составила 13,7%.

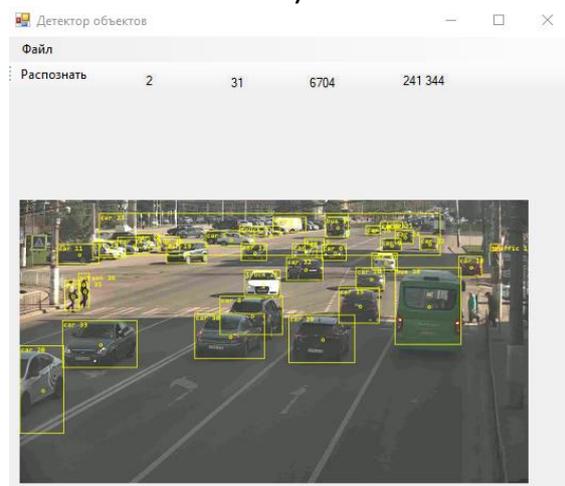
Второй эксперимент проводился с помощью разработанной информационно-аналитической системы. Результаты исследования представлены на рисунке 3.



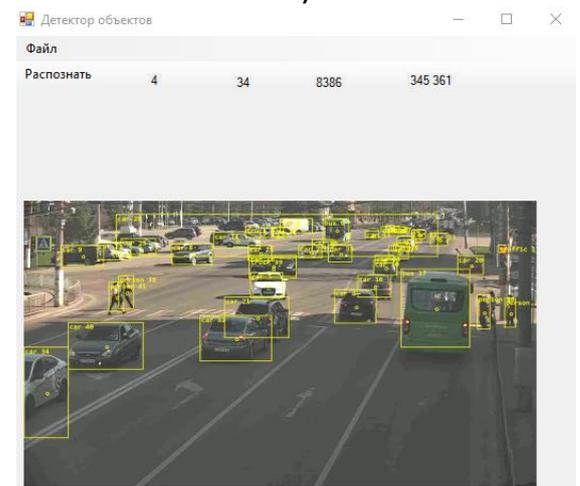
а)



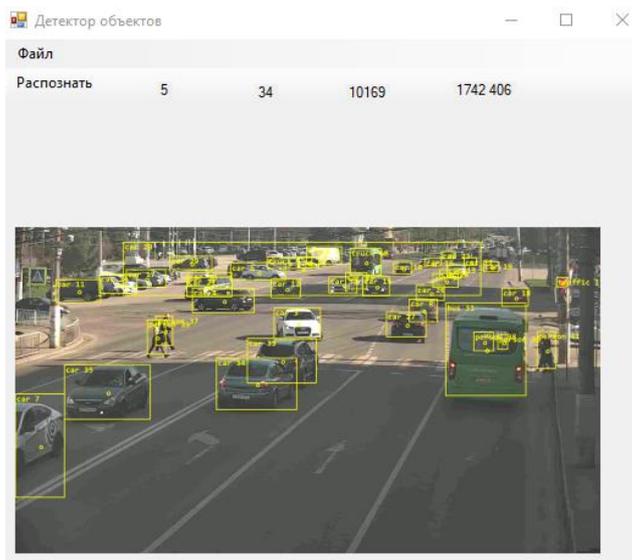
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Детектирование движения людей на пешеходном переходе с помощью ИАС: а – кадр 8; б – кадр 22; в – кадр 27; г – кадр 30; д – кадр 34

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований детектирования движения людей на пешеходном переходе с помощью ИАС

Номер кадра	Объект	Всего	Количество верно обнаруженных объектов, TP	Количество ложно обнаруженных объектов, FP	Количество пропущенных объектов, FN
8 кадр	Пешеходы	5	1	0	4
22 кадр	Пешеходы	5	1	0	4
27 кадр	Пешеходы	4	2	0	2
30 кадр	Пешеходы	5	4	0	1
34 кадр	Пешеходы	4	3	0	1
Итого			11	0	12

Точность распознавания пешеходов на рассмотренных изображениях составила

$$N = \frac{11}{11 + 0 + 12} = \frac{11}{23} = 0,4782 \times 100\%.$$

Следовательно, точность распознавания людей на пешеходном переходе с помощью метода ИАС составила 47,8%, что выше в 3,5 раза по сравнению с комбинационным методом HOG+SVM.

В таблице 4 представлены результаты распознавания автомобилей с помощью ИАС. При проведении данного эксперимента учитывались автомобили, находящиеся на ближайшем перекрестке.

Таблица 4. Результаты экспериментальных исследований детектирования движения автомобилей на перекрестке с помощью ИАС

Номер кадра	Объект	Всего	Количество верно обнаруженных объектов, <i>TP</i>	Количество ложно обнаруженных объектов, <i>FP</i>	Количество пропущенных объектов, <i>FN</i>
8 кадр	Автомобиль	11	11	0	0
22 кадр	Автомобиль	11	11	1	0
27 кадр	Автомобиль	10	10	1	0
30 кадр	Автомобиль	10	10	1	0
34 кадр	Автомобиль	10	9	1	1
Итого			51	4	1

Точность распознавания автомобилей, находящихся на перекрестке, на рассмотренных изображениях составила

$$N = \frac{51}{51 + 4 + 1} = \frac{51}{56} = 0,9107 \times 100\%.$$

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что автомобили, стоящие перед стоп-линией по направлению движения и находящиеся на перекрестке, распознаются с точностью около 91%. Однако, если рассматривать объекты, находящиеся за перекрестком, точность распознавания значительно снижается, и появляются ложно обнаруженные объекты.

Рассчитаем среднее арифметическое значение точности распознавания объектов с помощью информационно-аналитической системы на основе данных, полученных в ходе экспериментального исследования:

$$\frac{47,8\% + 91\%}{2} = 69,4\%$$

Следовательно, среднее значение точности выявления объектов посредством ИАС составляет 69,4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрены два метода для распознавания объектов на изображении: существующий метод Histogram of oriented gradients + Support Vector Machines и разработанная информационно-аналитическая система для управления интеллектуальным светофором. Результаты экспериментального исследования, в ходе которого проводилось детектирование объектов на изображениях, показали превосходство разработанной информационно-аналитической системы над существующими методами HOG+SVM. Выявление пешеходов на перекрестке с помощью ИАС выполнено с точностью 47,8%, в то время как комбинационный метод HOG+SVM справился с поставленной задачей с результатом 13,7%, что в 3,5 раза ниже результата ИАС. Среднее значение точности детектирования пешеходов и автомобилей, находящихся на ближайшем перекрестке, с помощью разработанной информационно-аналитической системы равняется 69,4%. Результаты эксперимента также доказывают, что точность распознавания объектов напрямую зависит от расстояния от видеокамеры до объекта.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 23-21-00071 «Разработка модели компьютерного зрения для интеллектуальной навигации робототехнических систем, основанной на построении трёхмерных сцен по картам глубин».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евстигнеев И.А.* Основы создания интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах федерального значения России. М.: Издательство «Перо», 2016. 260 с.
2. ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения».
3. *Муаль М.Н.Б., Козырев Д.В., Уанкпо Г.Ж.К., Нибасумба Э.* Разработка нейросетевого метода в задаче классификации и распознавании изображения //

Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 3. С. 507–518.

4. Брехт Э.А., Коншина В.Н. Применение нейронной сети YOLO для распознавания дефектов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2022. № 2(30). С. 41–47.

5. Sala Filip A. Design of false color palettes for grayscale reproduction // Displays. 2017. №46. P. 9–15.

6. Чернухин Н.А. Комбинированный метод детектирования границ на рентгенографических медицинских изображениях, использующий методику активных контуров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 88. С. 530–544.

7. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 1986. № 8(6). P. 679–698.

8. Ярошевич П.В., Богуш Р.П. Алгоритм классификации изображений парковочных мест автостоянки на основе гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41, № 1. С. 110–117.

9. Singh A.K., Shukla V.P., Tiwari Sh., Biradar S.R. Wavelet Based Histogram of Oriented Gradients Feature Descriptors for Classification of Partially Occluded Objects // International Journal of Intelligent Systems and Applications. 2015. Vol. 7, No. 3. P. 54–61.

10. Gornale Sh.S., Patravali P.U., Marathe K.S., Hiremath P.S. Determination of Osteoarthritis Using Histogram of Oriented Gradients and Multiclass SVM // International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. 2017. Vol. 9, No. 12. P. 41–49.

11. Михайлов И.С., Зеар Аунг, Йе Тху Аунг. Разработка модификации метода опорных векторов для решения задачи классификации с ограничениями на предметную область // Программные продукты и системы. 2020. № 3. С. 439–448.

12. Зенков В.В. Применение аппроксимации дискриминантной функции Андерсона и метода опорных векторов для решения некоторых задач классификации // Автоматика и телемеханика. 2020. № 1. С. 147–160.

13. *Милостная Н.А.* Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. 2023. 350 с.

14. *Бобырь М.В., Архипов А.Е., Горбачев С.В.* Нечетко-логические методы в задаче детектирования границ объектов // Информатика и автоматизация. 2022. Т. 21, № 2. С. 376–404.

15. *Спицын В.Г.* Разработка экспертных систем на основе нечетких правил вывода // Методические указания к лабораторным работам, Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 33 с.

16. *Suzuki Satoshi, Keiichi Abe.* Topological structural analysis of digitized binary images by border following // Comput. Vis. Graph. Image Process. 1985. Vol. 30. P. 32–46.

17. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление; пер. с англ. 4-е изд., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2020. 801 с.

18. *Бобырь М.В., Кулабухов С.А.* Моделирование процесса управления температурным режимом в зоне резания на основе нечеткой логики // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 3. С. 76–82.
<https://doi.org/10.3103/S1052618817030049>.

19. *Бобырь М.В., Храпова Н.И., Ламонов М.А.* Система управления интеллектуальным светофором на основе нечеткой логики // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 4. С. 162–176.

20. *Бобырь М.В., Милостная Н.А., Храпова Н.И.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661796 Российская Федерация. Программа для регулирования светофора на основе нечёткой логики: № 2021660730: заявл. 08.07.2021: опубл. 15.07.2021; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет».

21. *Бобырь М.В., Храпова Н.И.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662790 Российская Федерация. Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора: № 2024661177: заявл. 20.05.2024:

опубл. 30.05.2024; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет».

22. Бобырь М.В., Милостная Н.А., Храпова Н.И. О подходе к детектированию движения пешеходов методом гистограмм направленных градиентов // Электронные библиотеки. 2024. Т. 27, №4. 19 с.

THE TWO-LEVEL INFORMATION AND ANALYTICAL CONTROL SYSTEM FOR INTELLIGENT TRAFFIC LIGHTS

M. V. Bobyr¹ [0000-0002-5400-6817], N. I. Khrapova² [0000-0001-7947-1427]

^{1, 2}Southwest State University, Kursk, Russia

¹fregat_mn@rambler.ru, ²KhrapovaNI@yandex.ru

Abstract

In the modern world, the problems arising in the field of traffic are of great importance. In order to solve existing problems, various intelligent systems are being developed, one of which is the Smart City system. This work is devoted to the development of an information and analytical system (IAS) for controlling an intelligent traffic light. The presented system consists of two levels, each of which contains a set of specific operations. The first level is responsible for detecting objects, in particular pedestrians and cars at the intersection, and the second level calculates the operating time of traffic light signals for the control signal that is transmitted to the device. For comparative analysis, the combined method (HOG+SVM) Histogram of oriented gradients was chosen, based on counting the number of gradient directions on individual image areas and Support Vector Machines, which are used to construct hyperplanes in n-dimensional space in order to separate objects belonging to different classes. The results of an experimental study, during which the recognition of objects in images was carried out, showed the superiority of the developed information and analytical system over existing methods. The average accuracy of detecting pedestrians and cars through the

IAS was 69.4%. In addition, according to the experiment, it was concluded that the accuracy of detecting objects in images is directly proportional to the distance from the video camera to the object.

Keywords: *intelligent traffic light, object detection, machine learning, fuzzy logic boundary detection method, YOLO, HOG, SVM.*

REFERENCES

1. *Evstigneev I.A.* Fundamentals of the creation of intelligent transport systems on highways of federal importance in Russia. M.: Publishing house "Pero", 2016. 260 p.
2. GOST R 50597-93 "Highways and streets requirements for the operational condition permissible under the conditions of ensuring traffic safety".
3. *Mual M.N.B., Kozyrev D.V., Uankpo G.J.K., Nibasumba E.* Development of a neural network method in the problem of image classification and recognition // Modern information technologies and IT education. 2021. Vol. 17, No. 3. P. 507–518.
4. *Brecht E.A., Konshina V.N.* Application of the YOLO neural network for defect detection // Intelligent technologies in transport. 2022. No. 2(30). P. 41–47.
5. *Sala Filip A.* Design of false color palettes for grayscale reproduction // Displays. 2017. №46. P. 9–15.
6. *Chernukhin N.A.* The combined method of detecting boundaries on radiographic medical images using the technique of active contours // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2013. No. 88. P. 530–544.
7. *Canny J.* A computational approach to edge detection // IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 1986. № 8(6). P. 679–698.
8. *Yaroshevich P.V., Bogush R.P.* Algorithm for classifying images of parking lots based on histograms of oriented gradients and the method of support vectors // Computer optics. 2017. Vol. 41, No. 1. P. 110–117.
9. *Singh A.K., Shukla V.P., Tiwari Sh., Biradar S.R.* Wavelet Based Histogram of Oriented Gradients Feature Descriptors for Classification of Partially Occluded Objects // International Journal of Intelligent Systems and Applications. 2015. Vol. 7, No. 3. P. 54–61.

10. *Gornale Sh.S., Patravali P.U., Marathe K.S., Hiremath P.S.* Determination of Osteoarthritis Using Histogram of Oriented Gradients and Multiclass SVM // International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. 2017. Vol. 9, No. 12. P. 41–49.

11. *Mikhailov I.S., Zear Aung, Ye Thu Aung.* Development of a modification of the method of support vectors for solving the problem of classification with domain constraints // Software products and systems. 2020. No. 3. P. 439–448.

12. *Zenkov V.V.* Application of approximation of the discriminant Anderson function and the support vector machine method for solving some classification problems // Automation and Telemekhanics. 2020. No. 1. P. 147–160.

13. *Milostnaya N.A.* Methodology of synthesis of intelligent highly productive neuro-fuzzy systems of technical vision: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. 2023. 350 p.

14. *Bobyry M.V., Arkhipov A.E., Gorbachev S.V.* Fuzzy logic methods in the problem of detecting object boundaries // Informatics and Automation. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 376–404.

15. *Spitsyn V.G.* Development of expert systems based on fuzzy inference rules // Methodological guidelines for laboratory work, Tomsk: TPU Publishing House, 2011. 33 p.

16. *Suzuki Satoshi, Keiichi Abe.* Topological structural analysis of digitized binary images by border following // Comput. Vis. Graph. Image Process. 1985. Vol. 30. P. 32–46.

17. *Pegat A.* Fuzzy modeling and control; trans. from English. 4th ed., electron. M.: Laboratory of Knowledge, 2020. 801 p.

18. *Bobyry M.V., Kulabukhov S.A.* Simulation of control of temperature mode in cutting area on the basis of fuzzy logic // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2017. Vol. 46. P. 288–295. <https://doi.org/10.3103/S1052618817030049>.

19. *Bobyry M.V., Khrapova N.I., Lamonov M.A.* Intelligent traffic light control system based on fuzzy logic // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. Vol. 25, No. 4. P. 162–176.

20. *Bobyry M.V., Milostnaya N.A., Khrapova N.I.* Certificate of state registration of the computer program No. 2021661796 Russian Federation. The program for traffic light regulation based on fuzzy logic: No. 2021660730: application 08.07.2021: publ.

15.07.2021; the applicant is the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwestern State University".

21. *Bobyry M.V., Khrapova N.I.* Certificate of state registration of the computer program No. 2024662790 Russian Federation. The program for detecting objects at a pedestrian crossing and determining the time of holding traffic light control signals: No. 2024661177: application 20.05.2024: publ. 30.05.2024; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwestern State University".

22. *Bobyry M.V., Milostnaya N.A., Khrapova N.I.* On the approach to detecting pedestrian movement by the method of histograms of directional gradients // *Electronic libraries. 2024. Vol. 27, No. 4. 19 p.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БОБЫРЬ Максим Владимирович. Доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры «Программная инженерия», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». Области исследований: интеллектуальные системы управления, адаптивные нейро-нечеткие системы вывода, распознавание и обработка изображения, робототехнические системы.

Maxim V. BOBYR. Doctor of technical sciences, professor. Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University. Research areas: intelligent control systems, adaptive neuro-fuzzy inference systems, image recognition and processing, robotic systems.

Email: maxboby@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5400-6817



ХРАПОВА Наталья Игоревна. Аспирант кафедры «Программная инженерия», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». Область исследования: распознавание сложных объектов с использованием нечеткой логики.

Natalia Igorevna KHRAPOVA. Postgraduate student of the Department of Software Engineering at the Southwest State University. Research area: recognition of complex objects using fuzzy logic.

Email: KhrapovaNI@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7947-1427

Материал поступил в редакцию 25 июня 2024 года