

УДК 004.93  
004.81

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-124-137>



## Онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода

М.В. Бобырь<sup>1</sup> ✉, С.Г. Емельянов<sup>1</sup>, Н.И. Храпова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: maxbobyrg@gmail.com

### Резюме

**Цель исследования.** Разработка онтологической модели управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода с возможностью подсчёта числа пешеходов и автомобилей, находящихся на перекрёстке, и регулирования временных интервалов работы сигналов светофора в зависимости от их количества.

**Методы.** Сбор базы данных для онтологической модели производится с помощью системы технического зрения. Для определения границ объектов используется когнитивная модель принятия решения о наличии/отсутствии границ. Классификация объектов осуществляется посредством алгоритма YOLO. Подсчёт количества пешеходов и транспортных средств выполняется в математической модели подсчёта количества детектируемых объектов на изображении. Расчёт времени для регулирования продолжительности работы сигналов светофора происходит благодаря математической модели интеллектуального управления светофором. Предложенная онтологическая модель содержит несколько этапов: сбор данных, предобработка изображений, выделение границ объектов, определение классов и подклассов участников дорожного движения, подсчёт количества пешеходов и автомобилей, расчёт времени, на которое необходимо регулировать продолжительность работы сигналов интеллектуального светофора.

**Результаты.** Создана специализированная программная модель, которая позволяет детектировать классы объектов и рассчитывать время задержки работы разрешающих сигналов для регулирования интеллектуального светофора. Номер свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора» – 2024662790. Также получен патент на изобретение «Устройство управления светофором на основе нечеткой логики» – 2827781, позволяющий генерировать управляющие сигналы для интеллектуального светофора.

**Заключение.** Результаты экспериментальных исследований показали высокую эффективность разработанной онтологической модели управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода.

**Ключевые слова:** онтологическая модель; интеллектуальный светофор; управление пешеходным переходом; детектирование контуров; классификация объектов; Canny; YOLO.

© Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Храпова Н.И., 2024

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Госзадания Минобрнауки России по теме «Исследование алгоритмов, моделей и методов повышения эффективности функционирования сложных технических систем» (соглашение № 0851-2020-0032).

**Для цитирования:** Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Храпова Н.И. Онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024; 28(4): 124-137. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-124-137>.

Поступила в редакцию 05.11.2024

Подписана в печать 29.11.2024

Опубликована 10.12.2024

## Ontological model for managing waiting time for traffic light signals by road users in a pedestrian crossing zone

Maksim V. Bobyr <sup>1</sup> ✉, Sergey G. Emelyanov <sup>1</sup>, Natalia I. Khrapova <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: maxbobyr@gmail.com

### Abstract

**Purpose of research.** Development of an ontological model for managing the waiting time for traffic light signals by road users in a pedestrian crossing zone, with the capability to count the number of pedestrians and vehicles at the intersection and regulate the timing intervals of traffic light signals based on their quantity.

**Methods.** The database for the ontological model is collected using a computer vision system. A cognitive decision-making model is used to determine object boundaries. Object classification is performed using the YOLO algorithm. The counting of pedestrians and vehicles is carried out within a mathematical model for counting detectable objects in an image. The calculation of time for regulating the duration of traffic light signals is achieved through a mathematical model of intelligent traffic light control. The proposed ontological model includes several stages: data collection, image preprocessing, object boundary detection, classification of road users into classes and subclasses, counting the number of pedestrians and vehicles, and calculating the time required to adjust the duration of intelligent traffic light signals.

**Results.** A specialized software model has been developed, which enables the detection of object classes and the calculation of delay times for traffic light signals to regulate an intelligent traffic light. The state registration certificate for the computer program "Program for Detecting Objects at a Pedestrian Crossing and Determining Traffic Light Signal Delay Times" is numbered 2024662790. Additionally, a patent for the invention "Traffic Light Control Device Based on Fuzzy Logic" (No. 2827781) has been obtained, allowing for the generation of control signals for an intelligent traffic light.

**Conclusion.** The results of experimental studies have demonstrated the high efficiency of the developed ontological model for managing the waiting time for traffic light signals by road users in a pedestrian crossing zone.

**Keywords:** *ontological model; intelligent traffic light; pedestrian crossing control; contour detection; object classification; Canny; YOLO.*

**Conflict of interest.** *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

**Funding.** *The work was supported by the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on the topic "Research of algorithms, models and methods for improving the efficiency of complex technical systems" (Agreement No. 0851-2020-0032).*

**For citation:** Bobyr M. V., Emelyanov S. G., Khrapova N. I. Ontological model for managing waiting time for traffic light signals by road users in a pedestrian crossing zone. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University.* 2024; 28(4): 124-137 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-124-137>.

Received 05.11.2024

Accepted 29.11.2024

Published 10.12.2024

\*\*\*

## Введение

Пешеходные переходы – специализированные области на дорогах, где пешеходы могут безопасно пересечь проезжую часть<sup>1</sup>. Они имеют важное значение для обеспечения комфорта передвижения людей. Тем не менее, в современных городах на нерегулируемых перекрёстках часто наблюдается недостаточное соблюдение правил на пешеходных переходах, что нередко становится причиной дорожно-транспортных происшествий и конфликтов между участниками дорожного движения (ДД) [1-3]. На регулируемых перекрёстках в основном используются системы регулирования ДД, основанные на пофазном управлении, при котором не учитывается количество пешеходов и транспортных средств,

находящихся на дороге в определенный момент времени<sup>2</sup>.

Одним из перспективных направлений развития улично-дорожной сети в городах является разработка систем регулирования движения с учётом актуальных параметров, например, интенсивно-

<sup>2</sup> Патент № 2608123 С Российская Федерация, МПК G08G 1/08. способ регулирования движения транспортных средств на перекрестке транспортных магистралей / Е. А. Оленев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ). № 2015124211 : заявл. 22.06.2015; опубл. 13.01.2017;

Патент № 2486599 С2 Российская Федерация, МПК G08G 1/08. способ регулирования движения транспортных потоков на перекрестке / А. М. Плотников, П. А. Кравченко, М. А. Плотников ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "СПб ГАСУ-ТУДД". № 2011135708/11: заявл. 23.08.2011; опубл. 27.06.2013;

Патент на полезную модель № 111330 U1 Российская Федерация, МПК G08G 1/01. система управления движением на многополосных перекрестках / А. М. Плотников, П. А. Кравченко, Р. М. Архестов, А. В. Андреев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "СПбГАСУ-ТУДД". № 2011113715/11: заявл. 04.04.2011 : опубл. 10.12.2011.

<sup>1</sup> ГОСТР 52766–2007 Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007. 27 с.

сти передвижения участников ДД, с целью минимизирования времени, требующегося для пересечения регулируемого перекрёстка всеми объектами ДД<sup>1</sup> [4].

В статье [5] рассматривается проблема вычисления оптимальной длительности фазы разрешающего сигнала светофора на перекрёстке. Автор использует метод имитационного транспортного моделирования для повышения эффективности работы транспортной системы<sup>2</sup> [6]. Входными данными модели являются значения интенсивности потоков, начальная длительность фаз, кроме того, учитываются разрешенные направления движения на перекрёстке и траектория передвижений участников ДД. Экспериментальные исследования показывают, что рассмотренный метод адаптивен к изменению дорожной ситуации, и позволяет сократить на 10% время ожидания зелёного сигнала на светофорах.

Статья [7] посвящена разработке системы интеллектуального управления трафиком на регулируемых перекрёстках, которая поможет решить проблему пробок на дорогах. Рассматриваемая система основана на нечёткой логике

---

<sup>1</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661796 Российская Федерация. Программа для регулирования светофора на основе нечёткой логики / М. В. Бобырь, Н. А. Милостная, Н. И. Храпова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». № 2021660730: заявл. 08.07.2021; опублик. 15.07.2021.

<sup>2</sup> ГОСТР 56829–2015 Интеллектуальные транспортные системы. М.: Стандартинформ, 2015. 10 с.

[8], а принцип её работы заключается в динамическом изменении длительности фаз сигналов светофора в зависимости от параметров транспортных потоков. В работе представлены результаты компьютерного моделирования работы представленной системы на участках улично-дорожной сети, которые показали, что эффективность регулирования трафика повышается на 13% по сравнению с существующими системами «гибкого» управления и на 39% по сравнению с системами «жесткого» управления.

Большинство существующих работ содержат описание систем управления, основывающихся только на регулировании транспортных потоков. Однако актуальным вопросом также остаётся учёт числа пешеходов, ожидающих разрешающего сигнала светофора для перехода проезжей части.

## Материалы и методы

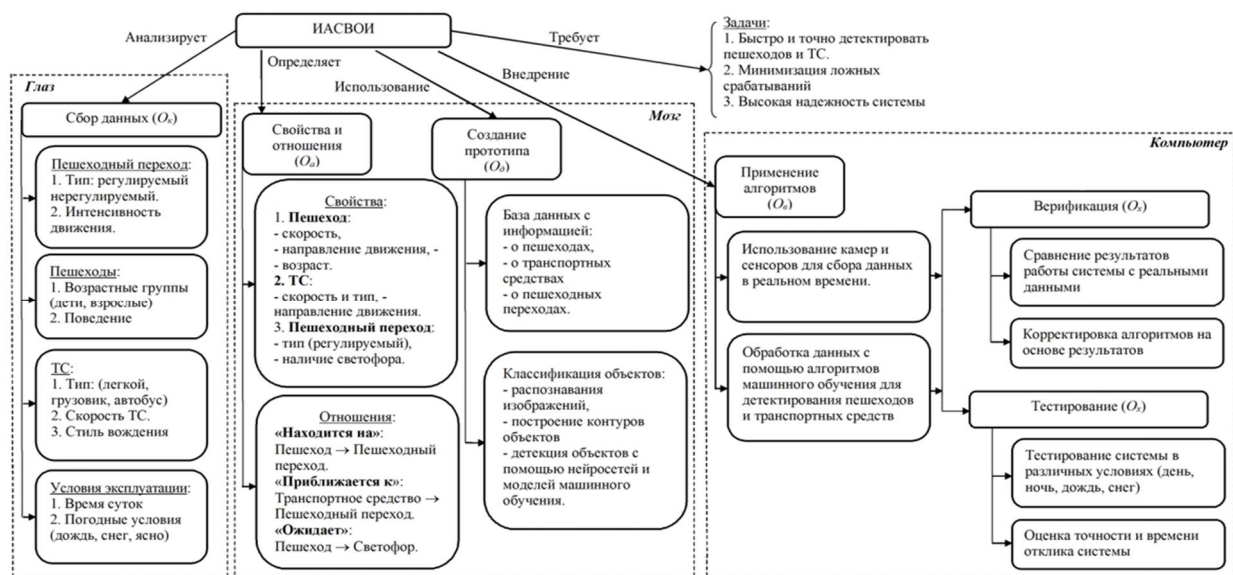
Онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками в зоне пешеходного перехода предполагает создание системы правил и процедур, которые позволят рационально управлять движением на перекрёстке. Данная модель включает в себя следующие основные аспекты:

- **Определение правил движения.** На пешеходных переходах должны действовать четкие правила движения для пешеходов и водителей. Эти правила должны быть доступными и понятными для всех участников дорожного движения.

• Организация потоков движения.  
Для предотвращения конфликтов на пешеходных переходах и сокращения времени ожидания разрешающих сигналов светофоров для всех участников движения необходимо организовывать движение пешеходов и автомобилей таким образом, чтобы учитывать интенсивность потоков во всех направлениях и минимизировать вероятность возникновения аварий.

На рис. 1 представлена онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода, основанная на информационно-аналитической системе восприятия и обработки видеoinформации (ИАСВОИ) [9].

Разработанная онтологическая модель содержит несколько этапов, представленных в табл. 1.



**Рис. 1.** Онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода

**Fig. 1.** The ontological model for managing the waiting time for a traffic light signal by road users in a pedestrian crossing area

Рассмотрим когнитивную модель принятия решений о существовании границы подробнее<sup>1</sup>.

Входные переменные формируются с помощью нахождения разности градиентов смежных ячеек относительно цен-

тральной, при этом рассматривается окно  $3 \times 3$ . Графическое представление данной операции изображено на рис. 2.

На рис. 3 представлено формирование двух матриц со значениями степеней активации нечетких правил.

Далее проводится проверка возможных состояний наличия границ вокруг рассматриваемой ячейки. Вариации возможных состояний представлены на рис. 4.

<sup>1</sup> Храпова Н. И. Онтологическая модель нейро-нечёткого управления пешеходным переходом в системе глаз-мозг-компьютер: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2024. 132 с.

**Таблица 1.** Этапы онтологической модели

**Table 1.** The stages of the ontological model

Этап / Stage	Шаги / Steps	Формула / Formula
Предобработка изображения	Преобразование в градации серого	$I_{x,y} = \frac{R_{x,y} + G_{x,y} + B_{x,y}}{3}$
	Сглаживание полутонового изображения по Гауссу	$K_{x,y} = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 \frac{1}{b} G_m \cdot I_{x,y}$
Когнитивная модель принятия решения о наличии границ объектов	Вычисление значений градиента яркости изображения	$GX_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Ver_{x,y} \cdot K_{x,y}$ $GY_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Gor_{x,y} \cdot K_{x,y}$
	Вычисление градиента для каждого пикселя	$G_{x,y} = \sqrt{GX_{x,y}^2 + GY_{x,y}^2}$
	Расчёт угла направления градиента	$\Theta_{x,y} = round\left(atan\left(\frac{GY_{x,y}}{GX_{x,y}}\right)\right)$
	Фаззификация входных и выходных переменных	$\Delta G_i = G - G_i$
	Вычисление входных степеней активации нечётких правил	$\mu(\Delta G_i)_{Low} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta G_i < a \\ \frac{b - \Delta G_i}{b - a}, & \text{если } a < \Delta G_i < b \\ 0, & \text{если } \Delta G_i > b \end{cases}$
	Вычисление выходных степеней активации нечётких правил	$\mu(\Delta G_i)_{High} = \begin{cases} 0, & \text{если } \Delta G_i < a \\ \frac{\Delta G_i - a}{b - a}, & \text{если } a < \Delta G_i < b \\ 1, & \text{если } \Delta G_i > b \end{cases}$
	Вычисление выходных степеней активации нечётких правил	$Edge = \begin{cases} 0, & \text{если } Edge = 0 \\ 1, & \text{если } Edge = 255 \end{cases}$
	Формирование базы нечётких правил	См. таблица 2
	Определение значений степеней нечётких правил	$R_i = \min[\mu(\Delta G_i), \mu(\Delta G_i)]$
Дефаззификация чёткого значения	$Defuz = \begin{cases} 1, & \text{если } \max(R1, R2, R3) \geq Threshold \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$	



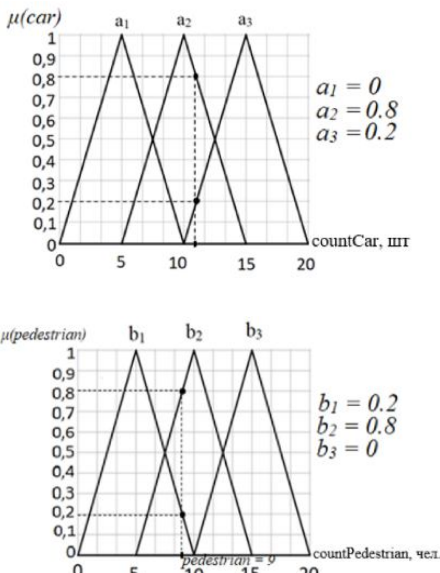
Этап / Stage	Шаги / Steps	Формула / Formula
<p>Математическая модель подсчёта числа распознанных объектов на изображении</p>	<p>Определение классов объектов</p>	<pre>List&lt;YoloItem&gt;items=yolo.Detect(memoryStream.ToArray()).ToList&lt;YoloItem&gt;(); // создание списка для хранения распознанных объектов</pre>
	<p>Вычисление количества автомобилей и пешеходов</p>	<pre>foreach (YoloItem item in items) { // цикл, в котором подсчитывается количество распознанных объектов     if (item.Type == "pedestrian")         countPedestrian++; // подсчёт количества пешеходов     if (item.Type == "car"    item.Type == "truck")         countCar++; } // подсчёт количества автомобилей</pre>
<p>Математическая модель интеллектуального управления светофором</p>	<p>Фаззификация значений входных переменных, которая включает построение функций принадлежности и расчёт их степеней</p>	 $\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \notin [a; c]; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } x \in [a; b]; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } x \in [b; c]; \end{cases}$
	<p>Нахождение степеней истинности</p>	$R_1 = \min(a_1; b_1); R_4 = \min(a_2; b_1); R_7 = \min(a_3; b_1);$ $R_2 = \min(a_1; b_2); R_5 = \min(a_2; b_2); R_8 = \min(a_3; b_2);$ $R_3 = \min(a_1; b_3); R_6 = \min(a_2; b_3); R_9 = \min(a_3; b_3).$
	<p>Усечение функций принадлежности</p>	$Y_5 = R_3; Y_4 = \max(R_2; R_6);$ $Y_3 = \max(R_1; R_5; R_9);$ $Y_2 = \max(R_8; R_4); Y_1 = R_7$
	<p>Дефаззификация полученных значений</p>	$t_{delay} = [D(y_f - y_s)] + y_s$
	<p>Расчёт времени работы 1 и 3 режимов светофоров</p>	$t_{pez} = t_{min} + t_{delay}$
<p>Вычисление времени полного цикла работы ИС</p>	$t_u = t_{pez} + t_{yellow} + t_{pez} + t_{yellow} = 2(t_{pez} + t_{yellow})$	



Рис. 2. Вычисление разности градиентов смежных ячеек

Fig. 2. The calculating gradient difference of adjacent cells

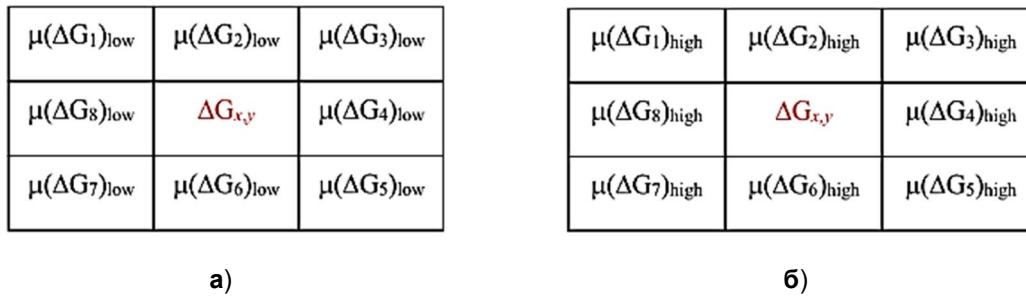


Рис. 3. Степени активации в нечетких правилах для: а – терма Low; б – терма High

Fig. 3. The arrangement of activation degrees in fuzzy rules for: а – terms Low; б – terms High

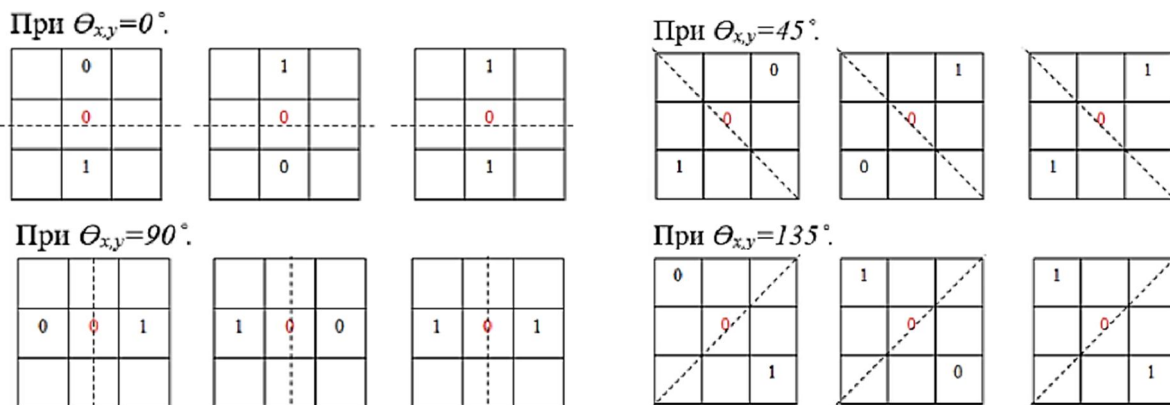


Рис. 4. Проверка возможных состояний наличия границы

Fig. 4. The checking for possible border states

Формирование базы нечётких правил в когнитивной модели принятия решения о наличии границ объектов представлено в табл. 2.

По данным из табл. 2 делается вывод о наличии или отсутствии границы. Таким образом происходит определение границ всех объектов на полученном изображении, по которым в дальнейшем классифицируются пешеходы и транспортные средства [10, 11].

В целом, онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения на пешеходных переходах представляет собой инновационный подход к организации движения на дорогах, который позволяет эффективно управлять пешеходными и транспортными потоками и обеспечить минимальное время ожидания пересечения перекрёстка.



Таблица 2. База нечётких правил

Table 2. The base of fuzzy rules

Градус, правило Угол градиента	0°			45°			90°			135°		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
$\mu(\Delta G1)$				Low	High	High						
$\mu(\Delta G2)$	Low	High	High									
$\mu(\Delta G3)$										Low	High	High
$\mu(\Delta G4)$							Low	High	High			
$\mu(\Delta G5)$							High	Low	High			
$\mu(\Delta G6)$										High	Low	High
$\mu(\Delta G7)$	High	Low	High									
$\mu(\Delta G8)$				High	Low	High						
Результат	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge	Edge

### Результаты и их обсуждение

На рис. 5 представлены результаты распознавания участников дорожного движения с помощью разработанной онтологической модели на изображениях, полученных с видекамеры, установленной в г. Курске. Экспериментальные исследования, заключающиеся в распознавании детектируемых объектов и расчёте времени задержки работы разрешающих сигналов с целью дальнейшего регулирования интеллектуального светофора, проводились на разработанном специализированном программном обеспечении<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662790 Российская Федерация. Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора / М. В. Бобырь, Н. И. Храпова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет". № 2024661177; заявл. 20.05.2024; опубл. 30.05.2024.

Кроме того, получен патент на изобретение «Устройство управления светофором на основе нечеткой логики», позволяющий генерировать управляющие сигналы для интеллектуального светофора<sup>2</sup>.

Результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, представлены в табл. 3.

Корректность расчёта времени продолжительности работы сигналов светофоров напрямую зависит от точности распознавания объектов, находящихся на перекрёстке. Следовательно, целесообразно оценить коэффициент точности детектирования контуров объектов с помощью показателя  $FoM$  [12, 13].

<sup>2</sup> Патент № 2827781 С2 Российская Федерация, МПК G08G 1/01, G08G 1/08. Устройство управления светофором на основе нечеткой логики / М. В. Бобырь, Н. И. Храпова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет". № 2023101536; заявл. 25.01.2023; опубл. 02.10.2024.



**Рис. 5.** Результаты экспериментальных исследований: **а** – кадр 1; **б** – кадр 2; **в** – кадр 3; **г** – кадр 4; **д** – кадр 5; **е** – кадр 6

**Fig. 5.** The results of experimental studies: **a** – frame 1; **б** – frame 2; **в** – frame 3; **г** – frame 4; **д** – frame 5; **е** – frame 6

**Таблица 3.** Числовые результаты проведенных экспериментов**Table 3.** The numerical results of the conducted experiments

	Количество пешеходов / Number of foot moves	Количество транспортных средств / Number of vehicles	Время задержки сигнала светофора, с / Delay time of the traffic light signal, s
Эксперимент 1	2	23	27,5
Эксперимент 2	3	22	27
Эксперимент 3	5	28	28,6
Эксперимент 4	6	29	29,3
Эксперимент 5	4	24	27,8
Эксперимент 6	3	22	27,5

Данный показатель служит для оценки степени близости распознанных границ к фактическим границам объекта [14].

$$FoM = \frac{1}{\max(N_t, N_d)} \sum_{i=1}^{N_d} \frac{1}{1 + \alpha \cdot d_i^2} \rightarrow 1,$$

где  $N_t$  – количество точек реальных границ;  $N_d$  – количество точек распознанных границ;  $d_i$  – расстояние между  $i$ -й граничной точкой и ближайшей реальной граничной точкой;  $\alpha$  – параметр, по умолчанию равный  $\alpha=1/9$ , который определяет степень влияния расстояний между найденными точками.

Точность распознавания границ объектов с помощью разработанной онтологической модели управления временем ожидания разрешающих сигналов участниками дорожного движения составляет 0,81.

## Выводы

В представленной работе была разработана онтологическая модель, направленная на управление временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода. В процессе проведения экспериментальных исследований была создана специализированная программная модель, которая позволяет распознать классы детектируемых объектов и рассчитать время для регулирования продолжительности работы сигналов интеллектуального светофора. успешно справляется с поставленными задачами.

## Список литературы

1. Слободчикова Н. А., Плюта К. В. Безопасность пешеходных переходов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2019. Т. 5, № 3. С. 91-99.

2. Волков В. С., Набатникова Е. А., Лебедев Е. Г. Некоторые вопросы безопасности движения на нерегулируемых пешеходных переходах в городе // Евразийский союз ученых. 2020. № 12-5(81). С. 26-32.

3. Павленко П. Ф. Автоматическая система раннего оповещения водителей о наличии пешеходов на пешеходном переходе (Безопасный пешеходный переход) // Проблемы автоматики и управления. 2013. № 2(25). С. 48-53.

4. Бобырь М. В., Храпова Н. И., Ламонов М. А. Система управления интеллектуальным светофором на основе нечеткой логики // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(4): 162-176. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176>.

5. Кузнецов Т. А. Оптимизация движения транспортного потока на регулируемом перекрестке с использованием имитационного моделирования // Политехнический молодежный журнал. 2022. № 7(72).

6. Амиров М. Ш., Амиров С. М. Единая транспортная система. Второе издание, стереотипное. М.: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2023. 178 с.

7. Стрижко М. А., Червинский В. В. Система интеллектуального управления транспортными потоками на перекрестках со светофорным регулированием // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2024. Т. 20, № 2. С. 48-55.

8. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: [пер. с англ.]. 4-е изд., электрон. М. : Лаборатория знаний, 2020. 801 с.

9. Бобырь М. В., Храпова Н. И. Двухуровневая информационно-аналитическая система управления интеллектуальным светофором // Электронные библиотеки. 2024. Т. 27, № 5. С. 696-717.

10. 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. С. 429-447.

11. Бобырь М. В., Храпова Н. И. Информационно-аналитическая система детектирования движения объектов на пешеходном переходе // Онтология проектирования. 2024. Т. 14, № 4(54). С. 531-541.

12. Кочегуров А. И., Дубинин Д. В., Герингер В. Модифицированная оценка Прэтта-Яскорского в обобщенном показателе качества алгоритмов контурного детектирования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 9. С. 168-177.

13. Geringer V., Dubinin D., Kochegurov A. The results of a complex analysis of the modified pratt-yaskorskiy performance metrics based on the two-dimensional markov-renewal-process // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9875. P. 187-196.

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

### References

1. Slobodchikova N. A., Pluta K. V. Pedestrian crossing safety. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii = Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2019; 5(3): 91-99 (In Russ.).

2. Volkov V. S., Nabatnikova E. A., Lebedev E. G. Some issues of traffic safety at unregulated pedestrian crossings in the city. *Evrasiiskii soyuz uchenykh = Eurasian Union of Scientists*. 2020; (12-5): 26-32 (In Russ.).

3. Pavlenko P. F. Automatic early warning system for drivers about the presence of pedestrians at a pedestrian crossing (Safe pedestrian crossing). *Problemy avtomatiki i upravleniya = Automation and control problems*. 2013; (2): 48-53 (In Russ.).

4. Bobyr M.V., Khrapova N. I., Lamonov M. A. Smart Traffic Light Control System Based on Fuzzy Logic. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(4): 162-176 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176>.

5. Kuznetsov T. A. Optimization of traffic flow at a controlled intersection using simulation modeling. *Politekhnicheskii molodezhnyi zhurnal = Polytechnic Youth Journal*. 2022; (7). (In Russ.).

6. Amirov M. S., Amirov S. M. Unified transport system. Moscow: KnoRus; 2023. 178 p. (In Russ.).

7. Strizhko M. A., Chervinsky V. V. Intelligent traffic flow management system at intersections with traffic light regulation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2024; 20(2): 48-55 (In Russ.).

8. Pegat A. Fuzzy modeling and control. Moscow: Laboratoriya znaniy; 2020. 801 p. (In Russ.).

9. Bobyr M. V., Khrapova N. I. Two-level information and analytical control system for intelligent traffic lights. *Elektronnye biblioteki = Electronic libraries*. 2024; 27(5): 696-717. (In Russ.).

10. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Khrapova N. I. On the approach to detecting pedestrian movement by the method of histograms of directional gradients. *Elektronnye biblioteki = Electronic libraries*. 2024; 27(4): 429-447. (In Russ.).

110. Bobyr M. V., Khrapova N. I. Information and analytical system for detecting the movement of objects at a pedestrian crossing. *Ontologiya proektirovaniya = The ontology of design*. 2024; 14(4): 531-541. (In Russ.).

12. Kochegurov A. I., Dubinin D. V., Geringer V. I. Modified Pratt-Yasorsky estimation in a generalized indicator of the quality of contour detection algorithms. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2021; 332(9): 168-177. (In Russ.).

13. Geringer V., Dubinin D., Kochegurov A. The results of a complex analysis of the modified pratt-yaskorskiy performance metrics based on the two-dimensional markov-renewal-process. *Lecture Notes in Computer Science*. 2016; 9875: 187-196.

14. Bobyr M. V., Arkhipov A. E., Gorbachev S. V., et al. Fuzzy logic methods in the problem of detecting object boundaries. *Informatika i avtomatizatsiya = Informatics and Automation*. 2022; 21(2): 376-404. (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Бобырь Максим Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: fregat\_mn@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5400-6817>, Researcher ID: G-2604-2013

**Maxim V. Bobyr**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Computer Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [fregat\\_mn@rambler.ru](mailto:fregat_mn@rambler.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5400-6817>, Researcher ID: G-2604-2013

**Емельянов Сергей Геннадьевич**, доктор технических наук, профессор, ректор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: [rector@swsu.ru](mailto:rector@swsu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3012-0383>, Researcher ID: E-3511-2013

**Sergei G. Emelianov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Rector, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [rector@swsu.ru](mailto:rector@swsu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3012-0383>, Researcher ID: E-3511-2013

**Храпова Наталия Игоревна**, аспирант кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: [KhrapovaNI@yandex.ru](mailto:KhrapovaNI@yandex.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7947-1427>

**Natalia I. Khrapova**, Post-Graduate Student of the Software Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [KhrapovaNI@yandex.ru](mailto:KhrapovaNI@yandex.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7947-1427>