

На правах рукописи

Храпова Наталия Игоревна

**Онтологическая модель нейро-нечёткого
управления пешеходным переходом в системе
глаз-мозг-компьютер**

Специальность 5.12.4. Когнитивное моделирование
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Курск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Юго-Западный государственный университет» на кафедре программной инженерии.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бобырь Максим Владимирович

Официальные оппоненты: **Казанцев Виктор Борисович**
доктор физико-математических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского», кафедра
нейротехнологий института биологии и
биомедицины, заведующий кафедрой
(г. Нижний Новгород)

Бушуев Дмитрий Александрович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»,
кафедра технической кибернетики, заведующий
кафедрой (г. Белгород)

Ведущая организация: **ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр Российской
академии наук»** (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «20» декабря 2024 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.435.07, созданного на базе Юго-Западного государственного университета, по адресу: 305000, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета и на официальном сайте университета <https://swsu.ru/upload/iblock/215/j9trufmh6314fdfguwfuzapi3dnj2db7/Dissertatsiya-KHrapova-N.I.pdf>

Отзывы на автореферат высылать по адресу: 305000, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, Юго-Западный государственный университет.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 года

Учёный секретарь
диссертационного совета
24.2.435.07

Халин Юрий Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Актуальным научным и практическим направлением развития когнитивных систем является разработка моделей, методов и специализированных устройств, обеспечивающих управление пешеходными переходами в системе «Умный город». Вследствие изменяющейся интенсивности дорожного движения в разное время суток, например, в час пик наблюдается возрастание загруженности перекрёстков, в ночное время интенсивность, наоборот, снижается. Поэтому входная информация, поступающая на вход информационно-аналитических систем, носит неопределённый или нечёткий характер. В связи с этим использование нечёткой логики, позволяющей оперировать такими лингвистическими переменными, как «малое количество людей на пешеходном переходе», «большое количество автомобилей на пешеходном переходе», является одним из перспективных направлений эволюции подобных систем.

В данном случае когнитивные системы применяются для распознавания объектов и событий, а также для предсказания возможного развития ситуаций на улицах городов с целью управления дорожным движением. Когнитивные системы собирают данные с помощью комплексов видеофиксации и обрабатывают их посредством алгоритмов искусственного интеллекта, в частности, нейронных или нейро-нечетких сетей. Прежде чем видеоинформация об интенсивности движения на пешеходном переходе попадает в нейронную сеть для классификации объектов, таких как «пешеход» и «транспортное средство», на изображении осуществляется выделение границ объектов с помощью соответствующих детекторов, например, Собеля или Канни. Ограничением первого детектора является невозможность его настройки, а второй в свою очередь плохо реагирует на изменение градиента вогнутой или выпуклой формы распознаваемых контуров, что проявляется в потере более 30% границ при незначительном движении объекта. Таким образом, точность нейронных сетей снижается из-за погрешностей методов предварительной обработки изображений. В связи с этим возникает *научное противоречие*, связанное с повышением достоверности классификации объектов на пешеходном переходе при обеспечении заданной точности.

Исходя из изложенного, формируется необходимость разработки онтологической модели управления пешеходным переходом в системе глаз-мозг-компьютер, включающей обработку изображений, построение контуров объектов, распознавание и классификацию объектов, подсчёт их количества и формирование управляющих сигналов для интеллектуального светофора (ИС).

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в исследования в области систем управления сложными техническими системами с использованием современных интеллектуальных инструментов, таких как нейронные сети и нечеткая

логика, внесли как российские, так и зарубежные учёные: Каляев И.А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р., Казанцев В.Б., Новиков Д.А., Мещеряков Р.В., Ронжин А.Л., Грибова В.В., Мясников В.В., Л. Заде, А. Кофман, Д. Дюбуа, Т. Тэрано, М. Сугено, Е. Мамдани, Т. Такаги. Ограничением нечётко-логических моделей, применяемых в существующих работах, является использование в процессе дефаззификации метода центра тяжести. Данный метод имеет ряд недостатков, наиболее важным из которых является сужение интервала дефаззификации, что приводит к частичной потере входной информации. В связи с чем, совершенствование методов обработки информации с помощью нейронных сетей и нечётко-логических моделей является значимым научным и практическим направлением для внедрения в серийное производство систем управления пешеходным переходом.

Вышеизложенное указывает на актуальность поставленной научно-технической задачи разработки онтологической модели управления пешеходным переходом (ОМУПП).

Связь работы с научными программами. Актуальность исследования подтверждается его выполнением в рамках гранта РФ № 23-21-00071 (Разработка модели компьютерного зрения для интеллектуальной навигации робототехнических систем, основанной на построении трехмерных сцен по картам глубин), Госзадания Минобрнауки России по теме «Исследование алгоритмов, моделей и методов повышения эффективности функционирования сложных технических систем» (соглашение № 0851-2020-0032), а также соответствием Указу Президента РФ от 7.07.2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ» в части технологии информационных, управляющих, навигационных систем (обеспечение перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта).

Цель диссертационной работы – повышение достоверности распознавания объектов на пешеходном переходе для обеспечения безопасности дорожного движения.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены **основные задачи**:

1. Анализ существующих информационно-аналитических систем управления пешеходным переходом в системе «Умный город».

2. Создание онтологической модели управления пешеходным переходом, позволяющей объединить в единую структуру классы, атрибуты и отношения между ними в системе глаз-мозг-компьютер.

3. Синтез нечётко-логической математической модели вычисления количества распознанных объектов на изображении, использующейся для

классификации понятий «пешеход» и «транспортное средство» в режиме, близком к реальному времени.

4. Разработка нечётко-логической математической модели интеллектуального управления светофором, формирующей модель поведения ИС в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе.

5. Экспериментальные исследования функционирования ОМУПП, включающие оценку достоверности распознанных объектов на пешеходном переходе и времени срабатывания управляющих сигналов светофора в зависимости от их количества.

Объект исследования: онтологическая модель нейро-нечёткого управления пешеходным переходом.

Предмет исследования: вычислительные процессы в онтологической модели нейро-нечёткого управления пешеходным переходом.

Методы исследования. В диссертационной работе для решения поставленных задач использовались следующие методы: машинное обучение, нейронные сети, адаптивные нейро-нечёткие системы вывода, библиотека алгоритмов компьютерного зрения, методы детектирования и классификации объектов, основы теории построения алгоритмов.

Научная новизна исследования направлена на расширение и углубление спектра исследований в области разработки онтологии поведения систем управления пешеходным переходом, а также создание комплекса математических, алгоритмических и программно-аппаратных моделей распознавания движущихся объектов на перекрёстке и передачи управляющего сигнала на интеллектуальный светофор в зависимости от их количества на основе нечётко-логической машины вывода.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Онтологическая модель управления пешеходным переходом, отличающаяся комбинированным способом вычисления числа объектов заданных классов, основанная на объединении нейронных сетей и нечёткой логики в единую модель, позволяющая в режиме близком к реальному времени формировать управляющие сигналы в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе.

2. Нечётко-логическая математическая модель интеллектуального управления светофором, отличающаяся наличием базы нечётких правил, связывающей время срабатывания управляющих сигналов светофора с количеством распознанных объектов на пешеходном переходе, позволяющая в режиме, близком к реальному времени, формировать зависимость между этими переменными.

3. Нечётко-логический метод вычисления времени задержки управляющего сигнала светофора в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе, позволяющий комбинировать расчётные процедуры разработанных математических

моделей в единый вычислительный процесс, отличающийся наличием базы нечётких правил, формирующий ОМУПП в зависимости от количества распознанных объектов.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке методов, алгоритмов, моделей распознавания движения объектов на пешеходном переходе и определения их количества для вычисления времени задержки управляющих сигналов ИС, основанных на нечётко-логическом подходе и реализованных в программах для ЭВМ и подтверждённых патентом РФ на изобретение.

1. Разработаны устройство управления светофором на основе нечёткой логики (Патент на изобретение №2827781), позволяющее увеличить пропускную способность пешеходного перехода на 23,4%, и специализированные программные продукты: программа для ЭВМ № 2021661796 «Программа для регулирования светофора на основе нечёткой логики», №2024662790 «Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора», предназначенные для имитации работы системы управления перемещением пешеходов.

2. Разработан комплекс специализированного программного обеспечения, позволяющий по распознанным контурам объектов на основе нечёткого метода построения границ осуществить распознавание объектов, находящихся на пешеходном переходе, и осуществить дальнейшую их классификацию по типам «пешеход» и «транспортное средство»: программа для ЭВМ № 2022660309 «Программа детектирования границ объектов на основе фильтра Канни»; программа для ЭВМ № 2022660350 «Программа нечётко-логического детектирования выделения границ на изображении»; программа для ЭВМ № 2022661172 «Программа обнаружения контуров границ на основе комбинации детектора Канни и нечёткого метода выделения краев объектов»; программа для ЭВМ № 2024660940 «Программа детектирования движения объектов на пешеходном переходе». Предложенный программный комплекс, основанный на нечётко-логическом методе детектирования границ, позволил, во-первых, увеличить точность распознавания контуров по отношению к детектору Канни в 1,04 раза, а по отношению к оператору Собея в 1,08 раза, а во-вторых, увеличить точность распознавания движущихся объектов по отношению к комбинации способов гистограмм направленных градиентов и метода опорных векторов в 1,69 раза.

3. Разработан комплекс специализированного программного обеспечения, позволяющий в режиме реального времени определять расстояние от распознанных объектов до видеокамеры: программа для ЭВМ № 2022681075 «Программа для определения расстояния от видеокамеры до распознаваемого объекта».

4. Разработано специализированное программное обеспечение для имитации работы быстродействующего дефазификатора, основанного на

методе отношения площадей: программа для ЭВМ № 2022617281 и 2022618052 «Программа на основе нечёткого вывода для управления термоэлементом на основе быстродействующего дефаззификатора отношения площадей. Модификация 1 и Модификация 2», соответственно.

Реализация результатов работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены в АО «Курский Электроаппаратный Завод» и АО «Курский завод «Маяк» - филиал АО ННПО им. М.В. Фрунзе» в условиях опытно - промышленных испытаний системы детектирования объектов на пешеходном переходе.

Предложенные методы управления перемещением пешеходов, основанные на вышеуказанных математических моделях, используются в образовательном процессе кафедры программной инженерии Юго-Западного государственного университета в рамках дисциплин «Компьютерное зрение», «Системы искусственного интеллекта», «Методы и алгоритмы обработки изображений».

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Соответствие паспорту специальности. Согласно паспорту научной специальности 5.12.4. Когнитивное моделирование (технические науки) диссертационные исследования соответствуют пунктам 3, 5 и 10. В части пункта 3 «Создание онтологий, структуризация типичных ситуаций, сценарное прогнозирование и управление в экспериментальных и прикладных когнитивных исследованиях» создана онтологическая модель управления пешеходным переходом (ОМУПП). В части пункта 5 «Обработка информации в информационно-аналитических системах поддержки интеллектуальной деятельности. Роль когнитивной науки при моделировании экспертизы человека-специалиста в работах по искусственному интеллекту (инженерии знаний). Когнитивные аспекты восприятия, понимания и прогнозирования на основе обработки больших массивов информации» разработана информационно-аналитическая система восприятия и обработки видеoinформации на пешеходном переходе (ИАСВОИ), с помощью которой производится распознавание и подсчёт объектов на пешеходном переходе для формирования управляющих сигналов ИС. В части пункта 10 «Взаимодействие человека и машины (робототехнических устройств) в различных областях практики. Решение задач в режиме, близком к реальному времени, и вычислительное моделирование для интерфейсов мозг-компьютер, глаз-компьютер и глаз-мозг-компьютер» к интерфейсу «глаз» относятся операции выделения контуров объектов на изображениях, полученных с видеокамеры, реализованные в нечётко-логической математической модели вычисления количества распознанных предметов на изображении, использующейся для детектирования объектов, таких как автомобили и люди на пешеходном переходе в режиме, близком к реальному времени, к интерфейсу «мозг» относится классификатор типов объектов, основанный на нейронной сети

YOLO, и нечётко-логическая база правил, позволяющая синтезировать онтологию поведения управления пешеходным переходом в зависимости от количества объектов на нём, к классу «компьютер» относятся вычислительное устройство управления светофором на основе нечёткой логики (Патент на изобретение №2827781) и разработанные программы для ЭВМ, позволяющие в режиме, близком к реальному времени, контролировать и управлять передвижением пешеходов и автомобилей на пешеходном переходе.

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математического аппарата машинного обучения, нейронных сетей, адаптивных нейро-нечётких систем вывода, алгоритмов компьютерного зрения, методов детектирования границ объектов и их классификации, основ теории построения алгоритмов; соответствием результатов экспериментальных исследований выдвигаемым гипотезам, качественным и количественным результатам предшествующих исследований; публикациями в научных рецензируемых изданиях российского и международного уровней.

Апробация результатов исследования. Основные теоретические положения и научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на международных и всероссийских научно-технических конференциях: «Doctoral Symposium on Human Centered Computing (Human 2023)» (India, 2023 г.); «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений (Распознавание-2021 г., 2023 г.)» (г. Курск, 2021 г., 2023 г.); «Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы (ИИС – 2022 г., 2024 г.)» (г. Курск, 2022 г., 2024 г.); «Регион искусственного интеллекта» (г. Череповец, 2022 г.); «Актуальные вопросы современной науки: теория и практика научных исследований» (г. Пенза, 2022 г.); «Исторические, философские, методологические проблемы современной науки» (г. Курск, 2023 г.); «Программная инженерия: современные тенденции развития и применения (ПИ-2023 г., 2024 г.)» (г. Курск, 2023 г., 2024 г.); на научно-технических семинарах кафедр «Вычислительная техника» и «Программная инженерия» ЮЗГУ (г. Курск, 2020-2024 гг.).

Личный вклад автора. Выносимые на защиту научные положения разработаны соискателем лично. В научных работах, выполненных в соавторстве, личный вклад соискателя состоит в следующем: в работах [1, 9, 10] представлена разработка нечётко-логической математической модели вычисления количества распознанных объектов на изображении, в [4, 8, 19] создана нечётко-логическая математическая модель интеллектуального управления светофором, в [2, 3] разработана ОМУПП, в [17, 18] осуществлена имитация работы быстродействующего дефаззификатора, в [13] предложен метод определения расстояния от

распознаваемых объектов до видеокамеры, в [14-16] рассмотрен метод детектирования границ объектов, в [5, 6, 7, 11, 12, 25, 27] проведено имитационное моделирование процесса распознавания и классификации объектов на изображении.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликованы 27 научных работ, в том числе 6 статей в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 1 работа, входящая в международную базу данных Scopus, 1 патент на изобретение и 11 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований. Основная часть работы изложена на 132 страницах машинописного текста и содержит 23 рисунка, 22 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, определяются область исследования, цель и задачи, научная новизна и практическая значимость работы. Выделяются основные положения, выносимые на защиту, приводится информация об апробации и общей структуре диссертации.

В первой главе проведён анализ существующих информационно-аналитических систем управления пешеходным переходом в системе «Умный город». На рисунке 1 представлена их классификация.



Рисунок 1. Классификация систем управления дорожным движением



Рисунок 2. Этапы нечётко-логического вывода

Анализ существующих систем контроля дорожного движения показал, что для их управления наиболее часто используются нейронные сети и нечётко-логические модели принятия решений. Ограничением нейронных сетей является передача на их вход изображений, обработанных детектором Канны, который недостаточно точно определяет вогнутую или выпуклую формы распознаваемых контуров. Для нечётких систем свойственно использование в процессе дефазсификации метода центра тяжести, снижающего количество информационных признаков на входе нечётко-логической системы за счет наличия ошибки сужения

интервала дефаззификации. В разработанной ОМУПП с целью устранения вышеуказанных недостатков использовались нечётко-логический метод распознавания контуров, реагирующий на изменение форм объектов, и дефаззификатор, основанный на методе отношения площадей, который позволяет учитывать все входные информационные признаки.

Во второй главе разработаны онтологическая модель управления пешеходным переходом в системе глаз-мозг-компьютер, нечётко-логические математические модели вычисления количества распознанных объектов на изображении и интеллектуального управления светофором, когнитивная модель принятия решения о наличии границ, а также предложен алгоритм определения площадей классифицированных объектов.

Онтологическая модель управления пешеходным переходом представляет собой систему, состоящую из набора понятий и отношений между ними, и задается в виде кортежа:

$$O = \left\langle \begin{matrix} 9 & 13 & 9 & 18 & 2 \\ O_k, O_a, O_d, O_x, O_e \\ \kappa=1 & a=1 & d=1 & x=1 & e=1 \end{matrix} \right\rangle, \quad (1)$$

где O_k – онтологическая модель классов объектов; O_a – онтологическая модель свойств атрибутов; O_d – онтологическая модель свойств данных; O_x – онтологическая модель свойств характеристик; O_e – онтологическая модель машины нечётко-логического вывода.

ОМУПП в системе глаз-мозг-компьютер представлена на рисунке 3.

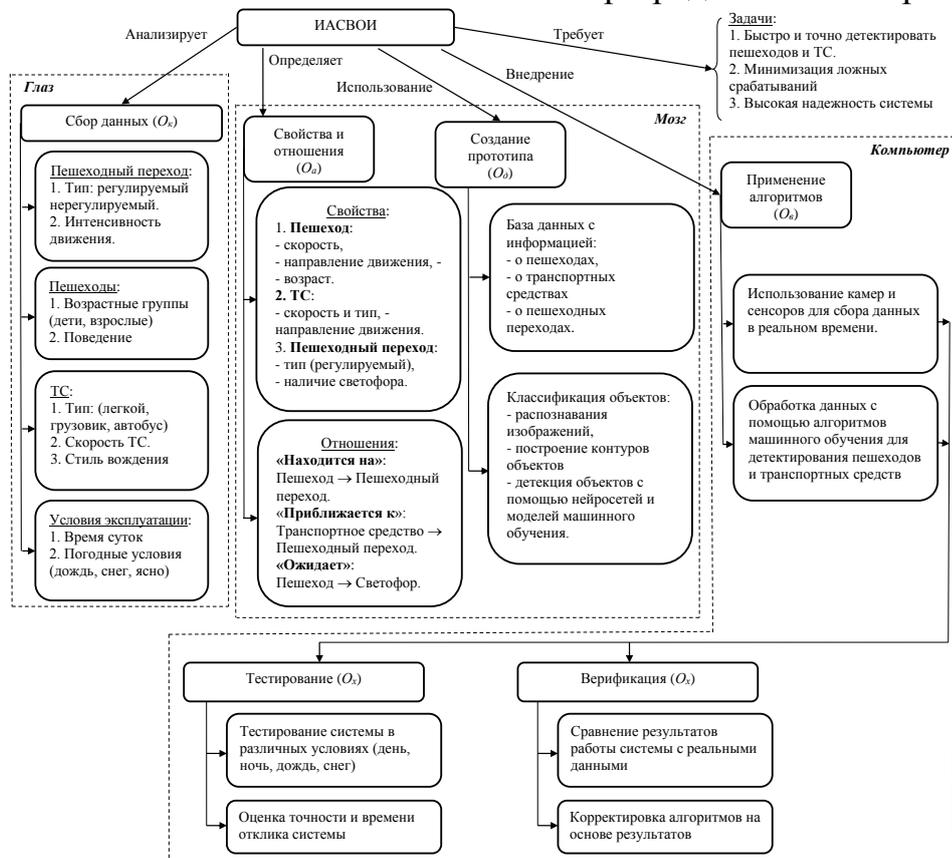


Рисунок 3. Структурная модель онтологической системы управления пешеходным переходом в системе глаз-мозг-компьютер

Разработанная **нечётко-логическая математическая модель вычисления количества распознанных объектов на изображении**, используемая для классификации понятий «пешеход» и «транспортное средство» в режиме, близком к реальному времени, содержит 6 этапов:

1. Получение RGB изображения с видеокамеры, установленной на перекрёстке, и преобразование его из RGB в градации серого по формуле:

$$I_{x,y} = \frac{R_{x,y} + G_{x,y} + B_{x,y}}{3}, \quad (2)$$

где $I_{x,y}$ – интенсивность цвета каждого пикселя; $x = 1 \dots w$ – положение пикселя в столбце, где w – ширина изображения; $y = 1 \dots h$ – положение пикселя в строке, где h – высота изображения; $R_{x,y}$, $G_{x,y}$, $B_{x,y}$ – значения интенсивности красного, зелёного и синего цветов в пикселе.

2. Сглаживание полутонового изображения с помощью фильтра Гаусса с целью уменьшения влияния шума на изображение по формуле:

$$K_{x,y} = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 \frac{1}{b} G_m \cdot I_{x,y}, \quad (3)$$

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

3. Детектирование контуров объектов с помощью нечётко-логического метода:

3.1 Вычисление значений градиента яркости изображения происходит с помощью свёртки изображения матрицами:

- в вертикальном направлении - в горизонтальном направлении

$$GX_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Ver_{x,y} \cdot K_{x,y}, \quad (4) \quad GY_{x,y} = \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 Gor_{x,y} \cdot K_{x,y}, \quad (5)$$

где $Ver_{x,y}$ – элементы вертикальной матрицы; $Gor_{x,y}$ – элементы горизонтальной матрицы.

Далее реализуется вычисление градиента для каждого пикселя с помощью формулы

$$G_{x,y} = \sqrt{GX_{x,y}^2 + GY_{x,y}^2}, \quad (6)$$

3.2 Расчёт угла направления градиента происходит по формуле

$$\Theta_{x,y} = \text{round} \left(\text{atan} \left(\frac{GY_{x,y}}{GX_{x,y}} \right) \right), \quad (7)$$

где round – функция округления результата до целого числа; atan – функция вычисления арктангенса градиентов $GY_{x,y}$ и $GX_{x,y}$.

3.3 Фаззификация входных и выходных переменных происходит путём вычисления разности градиентов соседних ячеек относительно центральной в окне 3×3 :

$$\Delta G_i = G - G_i, \quad (8)$$

где i – номер рассматриваемой ячейки в матрице 3×3 относительно центральной ячейки.

На рисунке 4 представлены графики входной и выходной функций принадлежности.

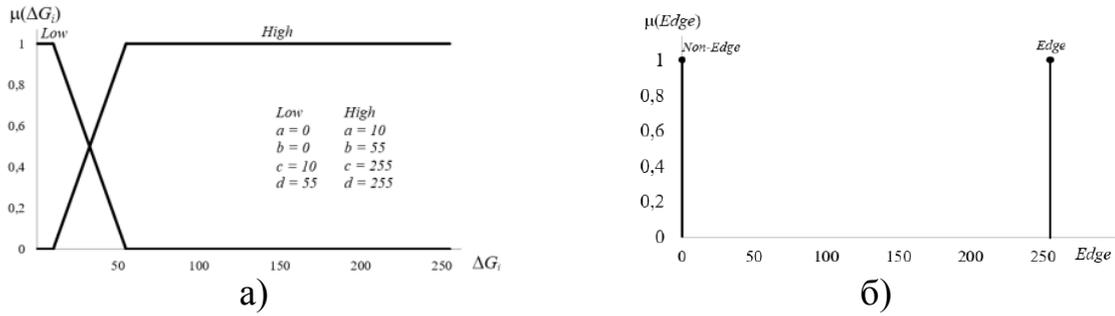


Рисунок 4. Фаззификация: а) график входных функций принадлежности; б) график выходной функции принадлежности

Степени активации нечётких правил вычисляются по следующим формулам:

Степень активации:

- ВХОДНАЯ

$$\mu(\Delta G)_{Low} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta G < a \\ \frac{b - \Delta G}{b - a}, & \text{если } a < \Delta G < b, \\ 0, & \text{если } \Delta G > b \end{cases} \quad \mu(\Delta G)_{High} = \begin{cases} 0, & \text{если } \Delta G < a \\ \frac{\Delta G - a}{b - a}, & \text{если } a < \Delta G < b, \\ 1, & \text{если } \Delta G > b \end{cases} \quad (9)$$

- ВЫХОДНАЯ

$$Edge = \begin{cases} 0, & \text{если } Edge = 0 \\ 1, & \text{если } Edge = 255 \end{cases} \quad (10)$$

3.4 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:

$$R_i = \min[\mu(\Delta G_i), \mu(\Delta G_i)]. \quad (11)$$

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

$$Defuz = \begin{cases} 1, & \text{если } \max(R1, R2, R3) \geq Threshold \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

где *threshold* – пороговое значение (α -срез).

4. Распознавание классов объектов на основе детектора YOLO.

```
List<YoloItem>items=yolo.Detect(memoryStream.ToArray()).ToList<YoloItem>(); // создание списка для хранения распознанных объектов
```

Процедура 1. Помещение в лист распознанных объектов

5. Подсчёт количества автомобилей и пешеходов, распознанных на входном изображении, происходит с помощью цикла foreach, в котором, если детектируемый объект принадлежит заданному классу, происходит увеличение счётчика на 1.

```
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" || item.Type == "bus" || item.Type == "motorcycle")
        countCar++; } // подсчёт количества автомобилей
```

Процедура 2. Подсчет количества распознанных объектов (Программа для ЭВМ №2024660940).

Формулы (2) – (12) синтезируют **нечётко-логическую математическую модель вычисления количества распознанных объектов на изображении.**

Когнитивная модель принятия решения о наличии границ содержит 4 этапа:

1. Для формирования входных переменных используется разность градиентов смежных ячеек относительно центральной в окне 3×3 (рисунок 5).



Рисунок 5. Разность градиентов относительно центральной ячейки

Причем разность между градиентом центральной ячейки с её смежными восьмью ячейками в окне 3×3 определяется по формуле (8).

2. С помощью формул (9) вычисляется степень активации каждого из нечетких правил и формируются две матрицы (рисунок 6).



Рисунок 6. Расположение степеней активации в нечетких правилах:

а) для терма Low; б) для терма High

3. Проверяются возможные состояния наличия границы вокруг центральной ячейки в окне 3×3 (рисунок 7).

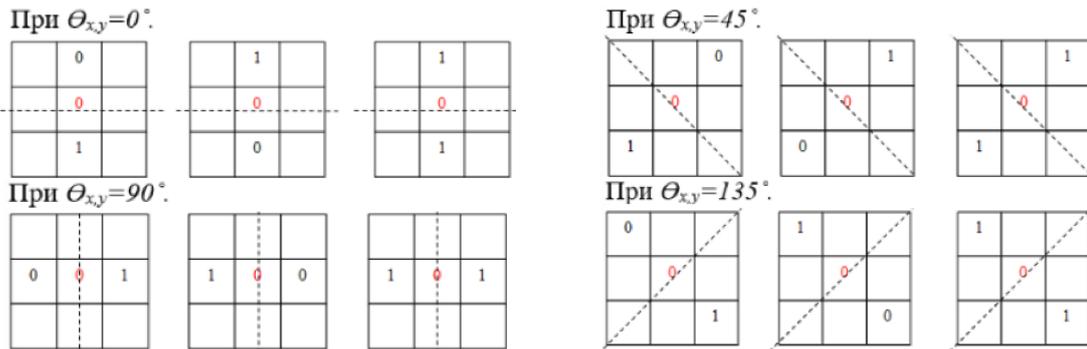


Рисунок 7. Возможные состояния наличия границы вокруг центральной ячейки в окне 3×3

4. На основе таблицы 1 делается вывод о наличии границы.

Также во второй главе разработана **нечётко-логическая математическая модель интеллектуального управления светофором**, формирующая модель поведения ИС в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе.

1. Фаззификация значений входных переменных включает в себя построение функций принадлежности (ФП) (рис.8а, 8б) и расчёт их степеней с помощью формулы (13).

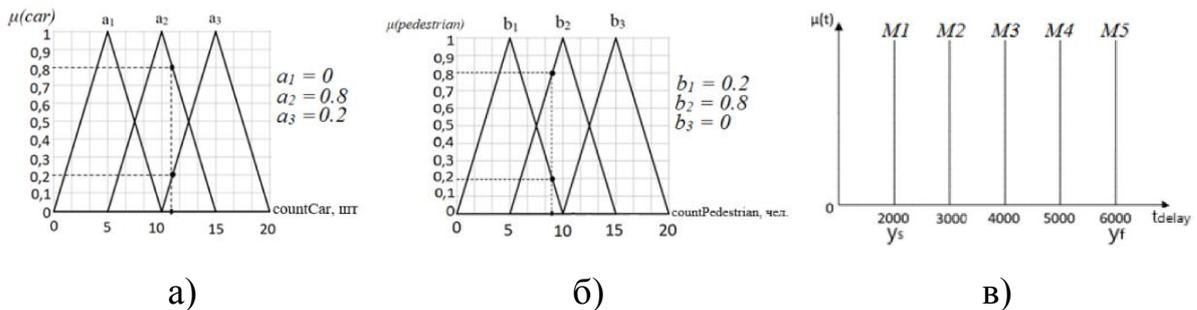


Рисунок 8. График функции принадлежности входной и выходной переменной а) «countCar», б) «countPedestrian»; в) выходная переменная, время задержки сигнала светофора (t_{delay})

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \notin [a; c]; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } x \in [a; b]; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } x \in [b; c]; \end{cases} \quad (13)$$

где $\mu(x)$ – характеристическая ФП, используемая для переменных countCar и countPedestrian; a, b, c – вершины треугольника ФП.

2. Выборка решений на основе лингвистических переменных и базы нечётких правил:

2.1 Вычисление степеней истинности предпосылок нечётких правил выполняется с помощью формул (14).

$$\begin{aligned} R1 &= \min(a1; b1); R4 = \min(a2; b1); R7 = \min(a3; b1); \\ R2 &= \min(a1; b2); R5 = \min(a2; b2); R8 = \min(a3; b2); \\ R3 &= \min(a1; b3); R6 = \min(a2; b3); R9 = \min(a3; b3). \end{aligned} \quad (14)$$

2.2 Усечение ФП в зависимости от нечётких правил происходит по формулам (15).

$$Y5 = R3; Y4 = \max(R2; R6); Y3 = \max(R1; R5; R9);$$

$$Y2 = \max(R8; R4); Y1 = R7. \quad (15)$$

3. Дефаззификация полученных значений, в процессе которой вычисляется время задержки управляющего сигнала интеллектуального светофора, выполняется по одной из формул (16).

– Метод центра тяжести – Метод отношения площадей

$$t_{delay} = \frac{\sum_{i=1}^{countCar} M_i Y_i}{\sum_{i=1}^{countCar} Y_i} \cdot \quad t_{delay} = [D(y_f - y_s)] + y_s \cdot \quad (16)$$

где M_i – метки выходной ФП, которые задаются синглтонной ФП (рис.8в); D – коэффициент отношения площадей; y_s и y_f формируют ядро выходной переменной.

В процессе имитационного моделирования рассмотренной математической модели построена новая поверхность, характеризующая зависимость между количеством распознанных объектов на пешеходном переходе и временем задержки управляющего сигнала ИС (рисунок 9).

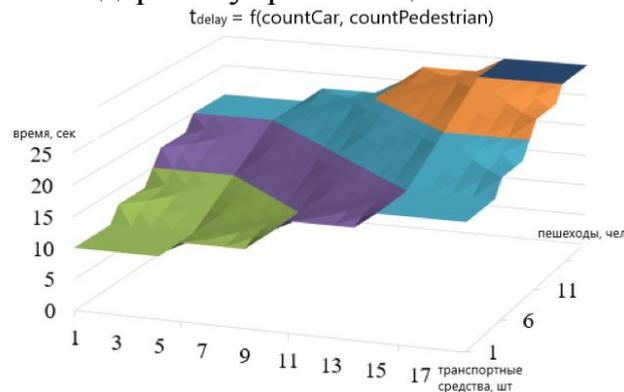


Рисунок 9. Зависимость между количеством распознанных объектов на пешеходном переходе и временем задержки управляющего сигнала ИС

4. Составление циклограммы работы для двух ИС, которая работает в четырёх режимах регулирования, два из которых являются основными и два промежуточными. В первом режиме предполагается, что на одном светофоре включается лампа красного света, а на втором светофоре – включён зелёный свет. Второй режим является промежуточным перед сменой сигналов устройства. При этом к лампам, горящим в режиме 1, добавляется мигающий жёлтый свет. Происходит пять коротких включений сигнала жёлтого цвета, после чего устройства переходят в третий режим, который полностью противоположен первому режиму. В четвертом режиме происходит переход на режим 1, после чего цикл возобновляется. Циклограмма работы двух ИС представлена в диссертационном исследовании.

5. Расчёт времени работы 1 и 3 режимов светофоров по формуле:

$$t_{pez} = t_{min} + t_{delay}, \quad (17)$$

где t_{min} – минимальное время задержки управляющего сигнала ИС.

Переменная t_{min} устанавливается для корректной работы ИС в ситуации, когда время задержки t_{delay} равно нулю.

6. Вычисление времени полного цикла работы ИС, состоящего из четырёх режимов, происходит по формуле:

$$t_u = t_{pez} + t_{yellow} + t_{pez} + t_{yellow} = 2(t_{pez} + t_{yellow}). \quad (18)$$

Формулы (13) – (18) формируют **нечётко-логическую математическую модель интеллектуального управления светофором** (программа для ЭВМ №2021661796). Новизна данной нечётко-логической математической модели заключается в формировании зависимости между количеством распознанных объектов на пешеходном переходе и временем задержки управляющего сигнала ИС (рисунок 9).

С целью уточнения классификации по возрастным группам детектируемых пешеходов (взрослый или ребёнок) посредством определения площади классифицированных объектов во второй главе диссертационного исследования разработан рекурсивный алгоритм закрашивания областей распознанных объектов, состоящий из следующих основных этапов: проверка условия выхода из рекурсии, поиск всех элементов массива, определение элементов для закрашивания, заливка выбранной области.

В третьей главе разработаны нечётко-логический метод вычисления времени задержки управляющего сигнала светофора, устройство управления интеллектуальным светофором, информационно-аналитическая система восприятия и обработки видеoinформации на пешеходном переходе, проведено имитационное моделирование устройства управления светофором.

Нечётко-логический метод вычисления времени задержки управляющего сигнала светофора в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе состоит из следующей последовательности операций:

1. Получение информации с видеокамер и преобразование RGB изображения в градации серого по формуле (2) с дальнейшим сглаживанием полутонового изображения по формуле (3).

2. Детектирование контуров объектов на сглаженном полутоновом изображении с помощью математической модели нечётко-логического распознавания границ объектов:

2.1 Определение градиента контуров объектов по формулам (4)÷(6) и вычисление его угла направления по формуле (7).

2.2 Фазификация входных и выходных переменных (рисунок 4) для первого уровня ИАСВОИ. В качестве входных переменных выступают восемь перепадов разности градиентов, вычисленных относительно центральной ячейки в окне 3×3 по формуле (8), при этом их степени активации вычисляются по формуле (9). В качестве выходной переменной выступают два логических значения, которые в зависимости от условия формулы (10) возвращают «ноль» - пиксель не является граничным или «единица» - пиксель является граничным (рисунок 7).

2.3 Формирование базы нечётких правил (таблица 1), позволяющей задать зависимость между входными и выходными переменными системы.

2.4 Дефаззификация результирующего значения, которое позволяет по формуле (12) определить, является ли рассматриваемый пиксель границей или нет.

3. Передача в нейронную сеть YOLO изображений с распознанными контурами и классификация их по классам «транспортное средство» и «пешеход» с помощью дескриптора YOLO (процедура 1).

4. Подсчёт количества распознанных объектов классов «транспортное средство» (countCar) и «пешеход» (countPedestrian) с помощью процедуры 2.

5. Фаззификация входных и выходной переменных (рисунок 8) для второго уровня ИАСВОИ. В качестве входных переменных для второго уровня ИАСВОИ используются переменные countCar и countPedestrian вычисленные на п.4 при этом их степень активации вычисляется с помощью формулы (13). Для выходной переменной используются синглтонные функции принадлежности, которые задают пределы минимального и максимального времени срабатывания управляющего сигнала светофора.

6. Разработка базы нечетких правил, формирующей зависимость между количеством распознанных автомобилей и пешеходов на перекрёстке и временем задержки управляющего сигнала светофора на основе композиционного правила Заде, реализованного с помощью максиминной нечётко-логической импликации по формулам (14) (минимум) и (15) (максимум).

7. Дефаззификация времени задержки управляющего сигнала ИС на основе метода отношения площадей по формуле (16).

8. Составление циклограммы работы ИС.

9. Вычисление времени каждого из циклов (формула 17) и полного времени работы ИС (формула 18).

Новизной разработанного метода является наличие новых баз нечетких правил, включающих взаимосвязь между разницей градиентов интенсивности в окне 3×3 и синглтонной функцией наличия/отсутствия границ объекта, позволяющей выделять их на изображении, и взаимосвязь между количеством распознанных объектов на пешеходном переходе и временем задержки управляющего сигнала ИС (рисунок 9).

Проведено имитационное моделирование разработанного устройства управления светофором (рисунок 10).

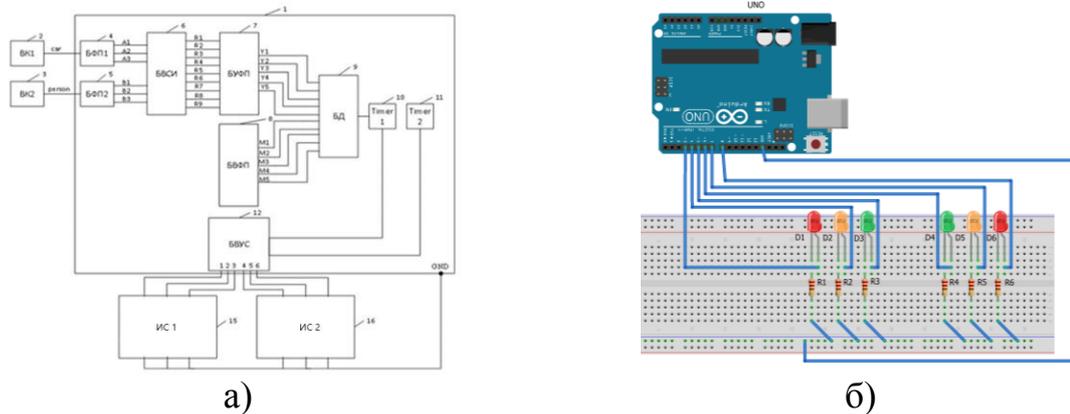


Рисунок 10. Устройство управления ИС (Патент на изобретение № 2827781):
 а) структурная схема, где ВК1 и ВК2 – видеорекамеры; БФП1 и БФП2 – блоки функций принадлежности; БВСИ – блок вычисления степеней истинности; БУФП – блок усечения функций принадлежности; БВФП – блок выходных функций принадлежности; БД – блок дефаззификации; Timer1 и Timer2 – таймеры; БВУС – блок выдачи управляющего сигнала; VD1÷VD6 – светодиоды; R1÷R6 – резисторы; б) схема подключения светодиодов, где: UNO – микроконтроллер Arduino UNO; D1, D6 – красные светодиоды; D2, D5 – жёлтые светодиоды; D3, D4 – зелёные светодиоды; R1-6 – резисторы номиналом 220 Ом

Принцип работы устройства управления ИС на основе нечёткой логики заключается в расчёте времени задержки переключения сигналов с красного на зелёный цвет в зависимости от числа автомобилей и пешеходов на перекрёстке. Входными данными устройства управления ИС являются видеоизображения, полученные от видеорекамер ВК1 2 и ВК2 3 с пешеходных переходов. Далее с помощью нечётко-логической математической модели вычисления количества распознанных предметов на изображении осуществляется их подсчёт. Данная информация поступает в блоки функций принадлежности БФП1 4 и БФП2 5, входящих в микроконтроллер 1. В данных блоках, используя формулу (13), происходит вычисление степеней ФП для каждой из переменных, представленных на рисунке 5а и рисунке 5б. Полученные значения степеней ФП $a_1 \div a_3$ и $b_1 \div b_3$ поступают в блок вычисления степеней истинности БВСИ 6, где по формуле (14) происходит расчет степеней истинности предпосылок нечётких правил R1-R9. Далее эти значения передаются в блок усечения функций принадлежности БУФП 7, где по формуле (15) происходит их усечение, и формируются переменные $Y_1 \div Y_5$, которые поступают на вход блока дефаззификации БД 9, в котором по формуле (16) на основе метода отношения площадей вычисляется время задержки управляющего сигнала ИС. Вычисленное значение t_{delay} передаётся в блок Timer1 10. Блок Timer2 11 хранит установленное значение времени мигания жёлтого сигнала светофора (по умолчанию $t_{yellow} = 2$ сек, за это время проходит 10 тактов, в течение которых жёлтый сигнал горит 5 тактов и 5 тактов находится в выключенном состоянии). Значения времени мигания жёлтого сигнала t_{yellow} и времени задержки t_{delay} из блоков 10 и 11 подаются на входы блока выдачи управляющего сигнала

БВУС 12, в котором по формуле (17) вычисляется время регулирования управляющего сигнала ИС $t_{рег}$ с учетом минимального времени задержки t_{min} . В зависимости от режима работы ИС блок выдачи управляющего сигнала БВУС формирует время переключения режимов и сигналы, подаваемые на светодиоды VD1÷VD6.

Было проведено экспериментальное моделирование, в котором менялись значения транспортного и пешеходного потока (рисунок 11). Полученная диаграмма показывает время задержки сигналов ИС в зависимости от данных о количестве автомобилей ($countCar = 11$) и пешеходов ($countPedestrian = 9$) на перекрёстке. Время задержки сигналов светофора при введенных значениях равно 3,5 сек.

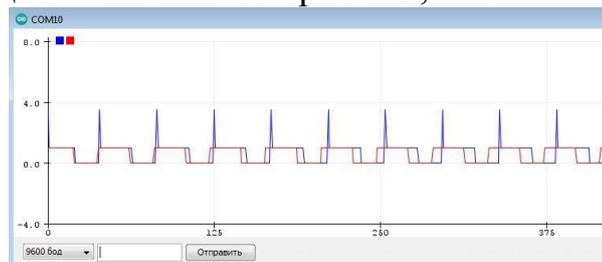


Рисунок 11. Диаграмма изменения времени задержки управляющих сигналов ИС
Структурная схема разработанной ИАСВОИ приведена на рисунке 12.

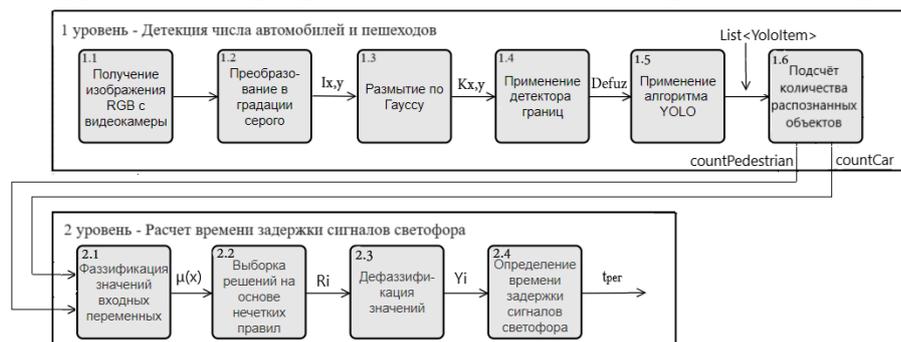


Рисунок 12. Структурная схема ИАСВОИ

Разработанная ИАСВОИ является основой для построения онтологической модели управления пешеходным переходом (рисунок 3).

В четвёртой главе проведены экспериментальные исследования функционирования ОМУПП, включающие оценку достоверности распознанных объектов на пешеходном переходе и времени срабатывания управляющих сигналов светофора в зависимости от их количества. Для экспериментальных исследований были взяты изображения с видеокamer, установленных на улицах города Курска.

В ходе экспериментальных исследований распознавание участников дорожного движения производилось с помощью двух методов: HOG+SVM (Histogram of oriented gradients + Support Vector Machines) и разработанной ОМУПП. Примеры результатов распознавания пешеходов комбинацией методов HOG+SVM представлены на рисунке 13.

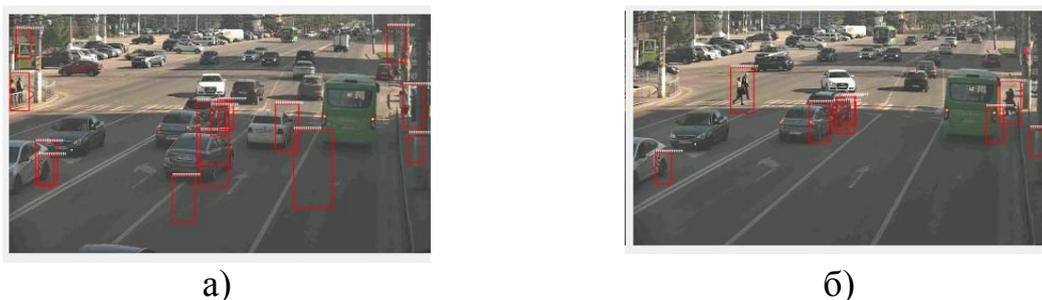


Рисунок 13. Детектирование движения людей на пешеходном переходе с помощью комбинации методов HOG+SVM: а – кадр 8; б – кадр 34

Второй эксперимент проводился с помощью, разработанной ОМУПП. Результаты исследования представлены на рисунке 14.



Рисунок 14. Детектирование движения людей на пешеходном переходе с помощью ОМУПП: а – кадр 8; б – кадр 34

Достоверность распознавания объектов на пешеходном переходе является комплексной величиной и включает в себя два коэффициента:

1. Точность распознавания контуров объектов на основе показателя Pratt's Figure of Merit (FoM) (формула 19), который определяет точность работы детектора границ, и оценивает, насколько близко обнаруженные границы находятся к истинным краям объектов на эталонном изображении.

$$FoM = \frac{1}{\max(N_t, N_d)} \sum_{i=1}^{N_d} \frac{1}{1 + \alpha \cdot d_i^2} \rightarrow 1, \quad (19)$$

где N_t – количество истинных (реальных) граничных точек; N_d – количество обнаруженных граничных точек; d_i – расстояние между i -й обнаруженной граничной точкой и ближайшей истинной граничной точкой на эталонном изображении, вычисляется на основе формулы Евклидова расстояния; α — параметр, определяющий степень влияния расстояний между найденными точками (по умолчанию $\alpha=1/9$).

Результаты сравнительного анализа работы алгоритмов детектирования границ сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ методов распознавания границ

Метод	Точность распознавания границ объектов (FoM)
Оператор Собеля	0,75
Детектор Канны	0,78
ОМУПП	0,81

2. Достоверность распознанных объектов на изображениях:

$$N = \frac{TP}{TP + FP + FN} \rightarrow 100\%, \quad (20)$$

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

Результаты проведённых исследований сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты детектирования движения объектов

№ кадра	Объект	Всего	Количество верно обнаруженных объектов, TP		Количество ложно обнаруженных объектов, FP		Количество пропущенных объектов, FN	
			HOG+SVM	ОМУПП	HOG+SVM	ОМУПП	HOG+SVM	ОМУПП
8	Пешеход	5	2	1	13	0	3	4
34	Пешеход	4	2	3	7	0	2	1

Анализ значений таблицы 3 и формулы (20) позволил сформировать сравнительную таблицу 4.

Таблица 4. Сравнительный анализ достоверности распознавания объектов

Метод	Достоверность распознавания объектов (N)
HOG+SVM	41,1%
ОМУПП	69,5%

Следовательно, достоверность распознавания объектов с помощью, разработанной ОМУПП в 1,69 раза выше по сравнению с рассмотренным комбинационным методом HOG+SVM.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической задачи повышения безопасности дорожного движения за счёт разработки ОМУПП получены следующие основные результаты:

1. Проведён анализ существующих информационно-аналитических систем управления перемещением пешеходов в системе «Умный город».

2. Создана онтологическая модель управления пешеходным переходом, позволяющая повысить достоверность распознавания объектов на пешеходном переходе на основе оценки коэффициента достоверности по отношению к методу HOG+SVM в 1,69 раз.

3. Разработана нечётко-логическая математическая модель вычисления количества распознанных предметов на изображении, использующаяся для детектирования объектов, таких как автомобили и люди на пешеходном переходе в режиме, близком к реальному времени, позволяющая улучшить точность распознавания контуров объектов по отношению к детекторам Собеля в 1,08 раза и Канни в 1,04 раза.

4. Разработана нечётко-логическая математическая модель интеллектуального управления светофором, формирующая время задержки управляющего сигнала в зависимости от количества распознанных объектов на пешеходном переходе.

5. Экспериментальные исследования подтверждают повышение достоверности управления пешеходным переходом при использовании разработанной ОМУПП.

Рекомендации. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для разработки устройств управления перемещением пешеходов и внедрены на улицах городов.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Повышение быстродействия разработанной системы за счёт рекомендаций распараллеливания вычислительных процессов в ней для практической реализации на базе параллельно-конвейерных устройств.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК по специальности диссертации

1. **Храпова Н.И.** О подходе к детектированию движения пешеходов методом гистограмм направленных градиентов / М.В. Бобырь, Н.А. Милостная, Н.И. Храпова // Электронные библиотеки. – 2024. – Т. 27, № 4. – 19 с.
2. **Храпова Н.И.** Двухуровневая информационно-аналитическая система управления интеллектуальным светофором / М.В. Бобырь, Н.И. Храпова // Электронные библиотеки. – 2024. – Т. 27, № 5. – 18 с.
3. **Храпова Н.И.** Информационно-аналитическая система детектирования движения объектов на пешеходном переходе / М.В. Бобырь, Н.И. Храпова // Онтология проектирования. – 2024. – Т.14, № 4. – С.117-128.
4. **Храпова Н.И.** Система управления интеллектуальным светофором на основе нечёткой логики / М.В. Бобырь, Н.И. Храпова, М.А. Ламонов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 162-176.

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК

Минобрнауки России по смежным научным специальностям

5. **Храпова Н.И.** Визуальное программирование метода отношения площадей / М.В. Бобырь, Н.И. Храпова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2024. – Т. 28, № 1. – С. 163-179.
6. **Храпова Н.И.** Рекурсивный алгоритм закрашивания областей распознанных объектов / М.В. Бобырь, Н.И. Храпова, О.Г. Супрунова, А.А. Дородных // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 126-139.

Публикации, индексируемые в наукометрической базе Scopus

7. **Khrapova N.I.** Research of the Influence of the Fuzzy Rules Number on the Learning of a Neuro-Fuzzy System / Bobyr, M., Milostnaya, N., Khrapova, N., Suprunova, O. // In Intelligent Human Centered Computing. Human 2023. Springer Tracts in Human-Centered Computing. Springer, Singapore. – 2023. – Pp. 362–373.

Патенты

8. Патент на изобретение №2827781 С1 Российская Федерация, МПК G08G 1/01, G08G 1/08. Устройство управления светофором на основе нечёткой логики / М.В. Бобырь, **Н.И. Храпова**; заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». – № 2023101536, заявл. 25.01.2023; опубл. 25.07.2024.

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662790 Российская Федерация. Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов

светофора / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 20.05.2024, опубл. 30.05.2024.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660940 Российская Федерация. Программа детектирования движения объектов на пешеходном переходе / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Архипов А.Е., Милостная Н.А.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 25.04.2024, опубл. 14.05.2024.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612631 Российская Федерация. Программа для заливки распознанной метки / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Супрунова О. Г.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 23.01.2023, опубл. 06.02.2023.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612094 Российская Федерация. Оптимизация числа проходов при фильтрации изображений / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 25.01.2023, опубл. 30.01.2023.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681075 Российская Федерация. Программа для определения расстояния от видеокамеры до распознаваемого объекта / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Дородных А.А., Белозеров А.П.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 01.11.2022, опубл. 09.11.2022.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661172 Российская Федерация. Программа обнаружения контуров границ на основе комбинации детектора Канни и нечёткого метода выделения краев объектов / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 30.05.2022, опубл. 16.06.2022.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660350 Российская Федерация. Программа нечётко-логического детектирования выделения границ на изображении / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 30.05.2022, опубл. 02.06.2022.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660309 Российская Федерация. Программа детектирования границ объектов на основе фильтра Канни / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 30.05.2022, опубл. 01.06.2022.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617281 Российская Федерация. Программа на основе нечёткого вывода для управления термозлементом на основе быстродействующего дефаззификатора отношения площадей. Модификация 1 / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 18.04.2022, опубл. 19.04.2022.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618052 Российская Федерация. Программа на основе нечёткого вывода для управления термозлементом на основе быстродействующего дефаззификатора отношения площадей. Модификация 2 / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Архипов А.Е.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 18.04.2022, опубл. 28.04.2022.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661796 Российская Федерация. Программа для регулирования светофора на основе нечёткой логики / **Храпова Н.И.**, Бобырь М.В., Милостная Н.А., Ламонов М.А., Бхаттачарья С.; правообладатель: Юго-Западный государственный университет. – заявл. 08.07.2021, опубл. 15.07.2021.

Научные статьи, опубликованные в других изданиях РИНЦ

20. **Храпова Н.И.** Структура информационно-аналитической системы для регулирования движения городского потока на перекрёстке / Н.И. Храпова // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы: материалы X Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2024. – С. 100-102.

21. **Храпова Н.И.** Концептуальная схема управления интеллектуальным светофором для модели «Умный город» / Н.И. Храпова // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения: материалы VII-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 122-124.

22. **Храпова Н.И.** Алгоритм закрашивания областей на основе рекурсии / Н.И. Храпова // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений: материалы XVII Международной научно-технической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 235-237.

23. **Храпова Н.И.** Использование нечёткой логики в задачах распознавания образов / Н.И. Храпова // Исторические, философские, методологические проблемы современной науки: сборник научных статей 6-й Международной научной конференции молодых учёных. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 320-324.

24. **Храпова Н.И.** Интеллектуальный алгоритм для управления сложными объектами / Н.И. Храпова // Регион искусственного интеллекта: материалы Всероссийской студенческой научной конференции. – Череповец: Череповецкий государственный университет, 2022. – С. 247-252.

25. **Храпова Н.И.** Параллельный алгоритм вычисления координат распознанной цветовой метки / М.В. Бобырь, А.А. Дородных, Н.И. Храпова // Актуальные вопросы современной науки: теория и практика научных исследований: сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пенз. гос. технол. университет, 2022. – С. 144-146.

26. **Храпова Н.И.** Нечётко-логический метод распознавания цветowych меток / Н.И. Храпова // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 167-169.

27. **Храпова Н.И.** Разработка аппаратно-программной модели устройства распознавания цветowych меток для управления исполнительными механизмами мехатронного комплекса / К.А. Мозалев, Н.И. Храпова // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 116-118.