



Информационно-аналитическая система детектирования движения объектов на пешеходном переходе

© 2024, М.В. Бобырь✉, Н.И. Храпова

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), Курск, Россия

Аннотация

Для регулирования пешеходного и транспортного потоков на перекрёстках внедряются системы, которые используют модели, обеспечивающие изменение временных промежутков работы сигналов светофоров в зависимости от количества пешеходов и автомобилей, находящихся на перекрёстке. Подобные системы содержат видеокамеры, фиксирующие передвижение участников дорожного движения, что позволяет улучшить контроль и регулирование дорожного движения в режиме реального времени. В данной работе представлена информационно-аналитическая система управления транспортным и пешеходным потоками, которая основана на нейронной модели YOLO, позволяющей распознать объекты. В этой системе выполняются следующие операции: преобразование исходного изображения в градации серого; размытие изображения по Гауссу; детектирование границ объектов с помощью фильтра Канни и нечётко-логического метода детектирования контуров объектов; контурная обработка, в процессе которой каждому найденному контуру присваивается определённый номер. Нейронная сеть сопоставляет обнаруженные контуры с данными из обучающей выборки и принимается решение о том, является ли рассматриваемый объект человеком или автомобилем. Приведены результаты экспериментальных исследований описанных алгоритмов для решения задачи распознавания объектов. В экспериментах использовалась модификация ранее разработанного программного обеспечения и изображения перекрёстков с пешеходными переходами, взятые с видеокамер, установленных на улицах города Курска. По результатам экспериментов показатель точности распознавания объектов составил 72,4%.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, пешеходный переход, детектирование объектов, нечёткая логика, фильтр Канни, выделение контуров, нейронная модель.

Цитирование: 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. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-4-531-541.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Задачи идентификации объектов рассматриваются в различных предметных областях (ПрО): медицина [1], авиация [2], дистанционное зондирование Земли [3], дорожное движение [4, 5]. С целью выявления нарушений правил дорожного движения, фиксирования дорожно-транспортных происшествий, поиска автотранспортных средств или установления местоположения человека может использоваться информация о распознавании лиц участников дорожного движения [6], номерных знаков [7], а также автомобилей и пешеходов.

В данной работе рассматривается распознавание автомобилей и пешеходов с целью управления их потоками. В [8] предложена система управления светофором, которая в зависимости от количества участников движения, находящихся на пешеходном переходе, на основе нечётких правил регулирует время работы зелёных и красных сигналов светофора. Разработано специализированное программное обеспечение (СПО) «Программа для регулиро-

вания светофора на основе нечёткой логики» [9], алгоритм работы которого модифицирован в данной работе.

Существуют открытые решения типа *OpenCV* (*Open Computer Vision Library*, библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и алгоритмов общего назначения), которые позволяют решать подобные задачи. Наиболее распространённым из этих библиотек является нейронная сеть (НС) *YOLO* (от англ. *You Only Look Once*), которая способна детектировать объекты в режиме реального времени [10, 11]. Другими известными моделями машинного обучения, используемыми для детектирования объектов, являются конволюционные НС [12, 13].

Алгоритмы на основе глубоких и рекуррентных НС могут улучшить детектирование пешеходов, особенно в сложных условиях, таких как плохое освещение или интенсивное движение [14]. Методы ансамблевого обучения используются для улучшения точности детектирования путём объединения результатов нескольких моделей [15]. Комбинированные модели создаются путём соединения различных методов компьютерного зрения, с помощью которых строятся гиперплоскости в n -мерном пространстве с целью разделения объектов, относящихся к разным классам [16]. Общим недостатком данных моделей является использования фильтра Канни [17] для выделения контуров на изображении. В работе [18] показано, что данный детектор плохо реагирует на градиент изменения выпуклой и вогнутой формы.

В данной работе используется модифицированный алгоритм нечётко-логического метода выделения контуров объектов, реализованный на первом уровне двухуровневой информационно-аналитической системы управления транспортным потоком (ДИАСУТП), позволяющий детектировать участников дорожного движения с целью расчёта времени задержек сигналов светофоров на перекрёстке.

1 Методическая основа ДИАСУТП

1.1 Онтология предметной области

Онтологическая модель (ОМ) процесса управления транспортным потоком (ТП) позволяет структурировать знания при расчёте времени срабатывания управляющих сигналов светофора и обеспечивает формальное представление функциональности системы в целом. ОМ ДИАСУТП состоит из набора понятий и описания взаимоотношений между ними. Фрагмент описания ОМ представлен на рисунке 1. Для описания процесса управления ТП на пешеходном переходе используется список понятий, в котором определены атрибуты и взаимоотношения между ними (см. таблицу 1).

Структура вычислительных процессов детектирования объектов в ДИАСУТП, позволяющей распознать объекты на перекрёстке в режиме реального времени представлена на рисунке 2. Система состоит из двух уровней: детекция числа автомобилей и пешеходов; расчёт времени задержки сигналов светофора. Первый уровень содержит следующие вычислительные процессы: преобразование исходного изображения в градации серого; размытие изображения по Гауссу; детектирование границ объектов с помощью алгоритма Канни или нечётко-логического метода детектирования контуров объектов [18]; выявление необходимых объектов по выделенным признакам с помощью алгоритма *YOLO*; принятие решений об итоговом количестве автомобилей и пешеходов.

Второй уровень ДИАСУТП содержит пять этапов: определение чётких входных переменных; фаззификация значений входных переменных; выборка решений на основе нечётких правил; дефаззификация значений; определение времени задержки сигналов светофора. Подробно данный уровень описан в работах [8, 9].

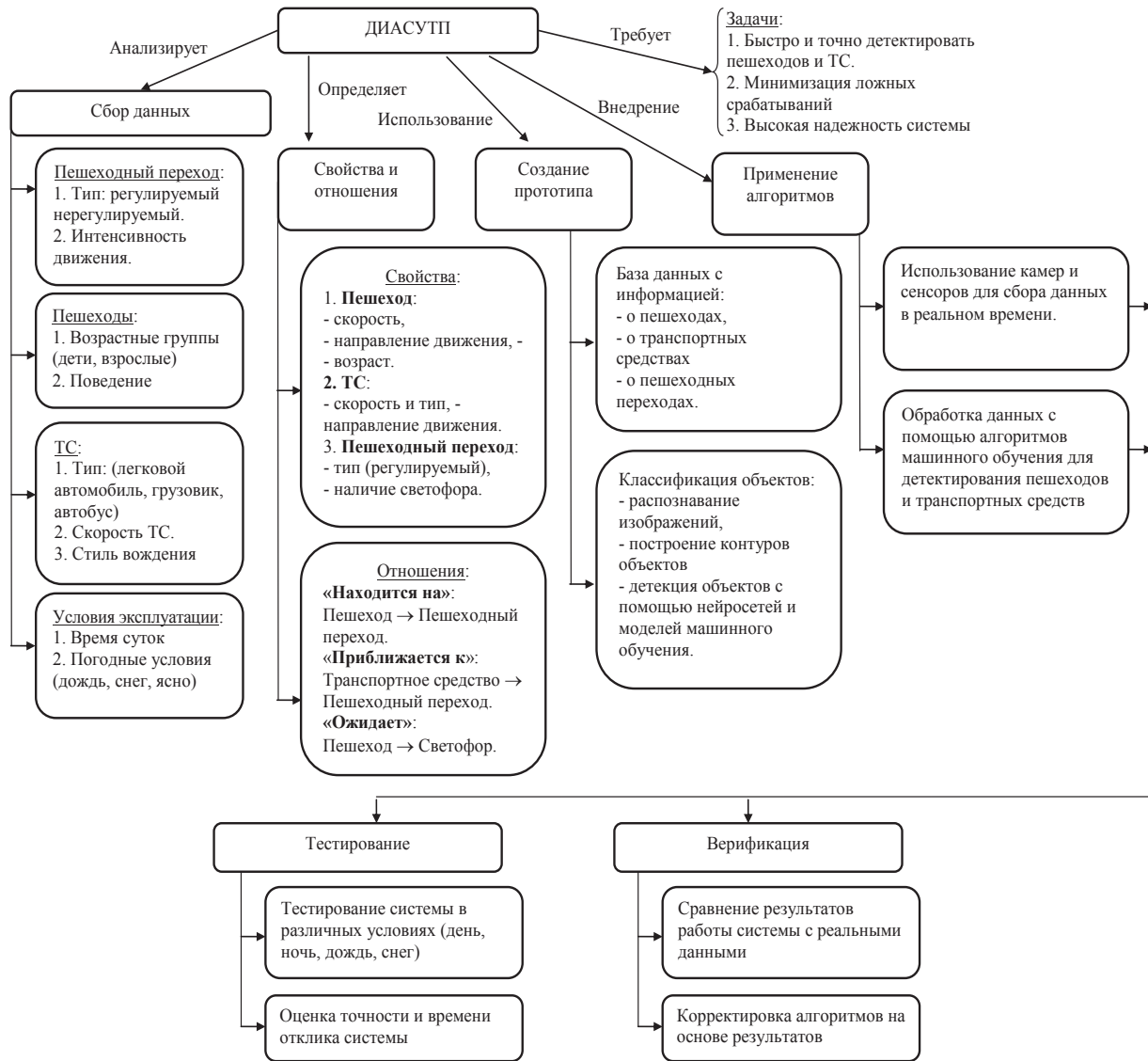


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии управления транспортным потоком (ТС – транспортное средство)

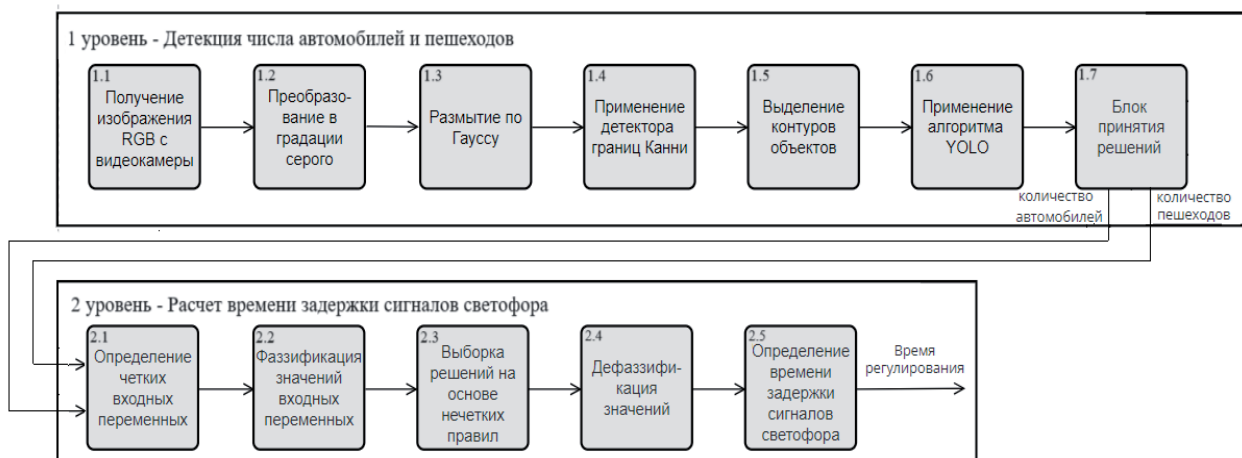


Рисунок 2 – Структура вычислительных процессов в двухуровневой информационно-аналитической системе управления транспортным потоком

Таблица 1 – Фрагмент спецификации понятий онтологической модели управления транспортным потоком

Понятия	Атрибуты	Отношения с атрибутами
Сбор данных	Данные о пешеходном переходе, поведение транспорта и пешеходов, вид дорожных условий	ДИАСУТП
Свойства и отношения	Детектирование объектов на пешеходном переходе и определение данных о их перемещении	ДИАСУТП
Создание прототипа	База данных и классификация объектов на основе машинного обучения и нейронных сетей	ДИАСУТП
Применение алгоритмов	Использование специализированных устройств для анализа данных на пешеходном переходе, применение нейронных сетей для классификации объектов на пешеходном переходе	ДИАСУТП
Тестирование	Анализ данных о работе ДИАСУТП	Применение алгоритмов
Верификация	Оценка точности работы ДИАСУТП	Применение алгоритмов
Пешеход	Скорость, направление движения, возраст	Свойства и отношения
Транспорт	Скорость, тип, направление движения	Свойства и отношения
Пешеходный переход	Тип, расположение	Свойства и отношения
Направление движения	Находится на..., приближается к...	Свойства и отношения

1.2 Преобразование в градации серого цвета

На начальном этапе работы ДИАСУТП происходит получение исходного изображения, полученного с видеокамеры. На втором этапе осуществляется преобразование исходного изображения в формате *RGB* в градации серого. Для этой цели требуется рассчитать значения интенсивности каждого отдельного пикселя, используя формулу [19]:

$$I_{x,y} = 0,299R_{x,y} + 0,587G_{x,y} + 0,114B_{x,y},$$

где $I_{x,y}$ – интенсивность яркости градации серого в пикселе ($I_{x,y} \in [0, 255]$) на изображении с координатами вдоль оси абсцисс ($x=1..w$) и вдоль оси ординат ($y=1..h$); w – ширина изображения в пикселях; h – высота изображения в пикселях; R – значение интенсивности красного цвета в пикселе; G – значение интенсивности зелёного цвета в пикселе; B – значение интенсивности синего цвета в пикселе.

Преобразованное изображение подаётся на третий блок 1.3 первого уровня ДИАСУТП (рисунок 2), где происходит размытие по Гауссу.

1.3 Размытие изображения по Гауссу

Третий этап работы ДИАСУТП позволяет уменьшить влияние шума на изображение. Сглаживание полутонового изображения происходит с помощью поэлементного умножения матриц $I_{x,y}$ и Гаусса с размером окна 5×5 .

1.4 Детекторы границ объектов

1.4.1 Детектор Канни

Алгоритм Канни используется для обнаружения границ искомым объектов на изображении [17]. Недостаток алгоритма Канни заключается в том, что он распознаёт только линейные области изображения. Это связано с тем, что в данном методе анализируется рамка на изображении с размером окна 3×3 . Поэтому целесообразно использовать нечётко-логический метод детектирования границ объектов [18], который позволяет распознавать вогнуто-выпуклую форму объектов благодаря анализу рамки в окне с размером 5×5 .

1.4.2 Нечётко-логический метод детектирования границ объектов

Нечётко-логический метод основан на модификации детектора Канни и использовании нечётких правил для определения градиента границ. Вычисления, соответствующие алгоритму Канни, повторяются до этапа определения угла направления градиента яркости. Далее осуществляется фазификация входных переменных, которыми являются разности градиентов между центральной и смежными ячейками, и формирование базы нечётких правил [20]. Сформированная база состоит из четырёх или шестнадцати нечётких правил в зависимости от выбранной модификации рассматриваемого метода. Дефазификация чёткого значения выполняется при помощи метода центра тяжести. С помощью нечётких α -срезов производится бинаризация полученного изображения и выделение границ объектов на нём. В отличие от детектора Канни данный метод реагирует на различные изменения градиента относительно центральной ячейки, что позволяет распознавать вогнутые и выпуклые формы объектов. Использование описанного метода позволяет повысить производительность вычислительных операций во время распознавания границ объектов посредством сокращения числа проходов по исходному изображению.

В процессе обработки изображений после операции детектирования границ осуществляется распознавание контуров. Изображения контуров подаются на вход НС. Для выделения контуров используется алгоритм *Suzuki-Abe* [21].

1.5 Алгоритм YOLO

Назначение алгоритма *YOLO* – распознать класс объекта и выделить его ограничивающей рамкой на финальном изображении. По завершении работы алгоритма выходное изображение содержит объекты, выделенные рамкой.

Ограничением точности предлагаемого метода является ухудшение погодных условий, например, возникновение тумана или метели, во время которых видеокамеры не могут передать качественное изображение из-за изменения интенсивности света. В таких случаях могут возникать погрешности распознавания объектов.

1.6 Циклограмма формирования управляющего сигнала

Циклограмма работы для двух светофоров включает четыре режима регулирования, два из которых являются основными и два промежуточными. В первом режиме предполагается, что на Светофоре_1 включается красный свет, а на Светофоре_2 – зелёный свет. Вторым режимом является промежуточным перед сменой сигналов устройства. При этом к лампам, горящим в режиме 1, добавляется лампа с мигающим жёлтым светом. Происходит пять коротких включений сигнала жёлтого света, после чего устройства переходят в третий режим, который полностью противоположен первому. В четвёртом режиме происходит переход на режим 1, после чего цикл повторяется. Циклограмма работы двух светофоров сведена в таблицу 2.

Расчёт времени работы первого и третьего режимов светофоров осуществляется по формуле: $t_{pez} = t_{min} + t_{delay}$, где t_{min} – минимальное время задержки управляющего сигнала светофора; t_{delay} – время задержки управляющего сигнала. Переменная t_{delay} определяется на выходе второго уровня ДИАСУТП, детальный расчёт представлен в работах [8, 9]. Переменная t_{min} является настраиваемым параметром (по умолчанию $t_{min} = 10$ с) и используется для работы светофора в ситуации, когда время задержки t_{delay} равно нулю. Время полного цикла работы светофора, состоящего из четырёх режимов, определяется по формуле: $t_{ц} = t_{pez} + t_{yellow} + t_{pez} + t_{yellow} = 2(t_{pez} + t_{yellow})$, где t_{yellow} – время задержки жёлтого сигнала светофора (настраиваемый параметр, по умолчанию $t_{yellow} = 2$ с).

Таблица 2 – Циклограмма работы светофоров

Светофор		Светофор_1			Светофор_2		
Режим	Цвет лампы	красный	жёлтый	зелёный	зелёный	жёлтый	красный
1		1	0	0	1	0	0
	Время свечения	$t_{рез} = t_{min} + t_{delay}$					
2		1	1/0 10 тактов	0	1	1/0 10 тактов	0
	Время мигания	t_{yellow} (10 тактов мигания за 2 с)					
3		0	0	1	0	0	1
	Время свечения	$t_{рез} = t_{min} + t_{delay}$					
4		0	1/0 10 тактов	1	0	1/0 10 тактов	1
	Время мигания	t_{yellow} (10 тактов мигания за 2 с)					

2 Экспериментальные исследования

По представленному алгоритму создано модифицированное СПО на языке C# в среде *Microsoft Visual Studio 2022*. На вход СПО подаются изображения с видеокамер, выходными данными являются обработанные изображения, на которых детектируемый объект выделен рамкой. Для экспериментальных исследований были взяты изображения с видеокамер, установленных на перекрёстках города Курска (пересечение ул. Карла Маркса и ул. Хуторской (см. рисунок 3), площадь Перекальского (см. рисунок 4).

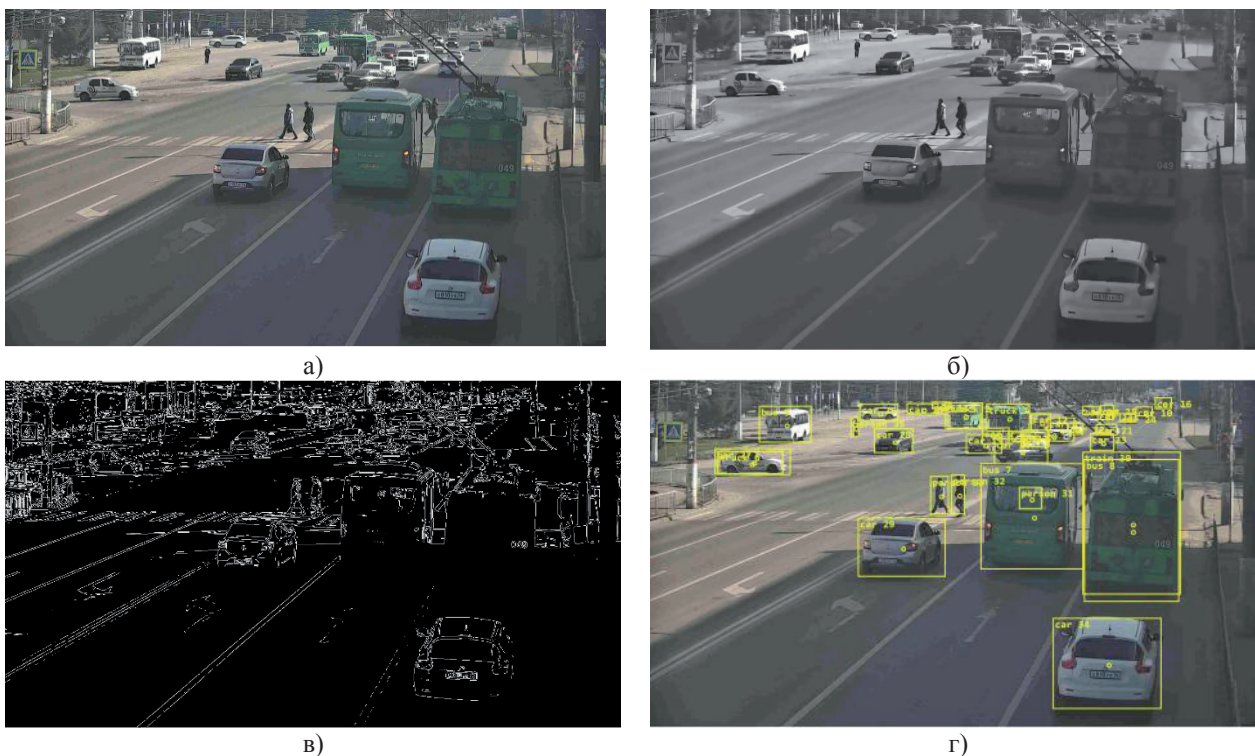


Рисунок 3 – Результаты первого экспериментального исследования:

- а) исходное изображение; б) преобразованное в градации серого и размытое по Гауссу изображение;
- в) детектированные границы объектов; г) результирующее изображение с распознанными объектами (выделены рамками)

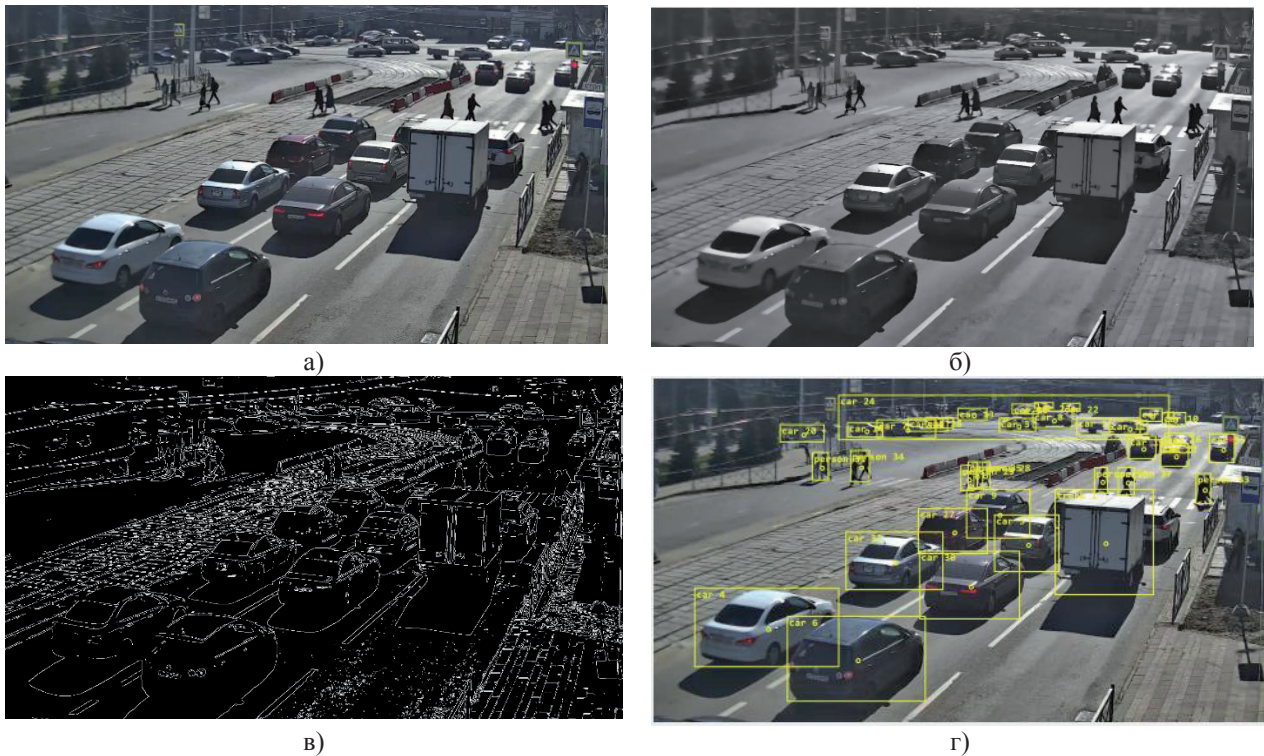


Рисунок 4 – Результаты второго экспериментального исследования:

- а) исходное изображение; б) преобразованное в градации серого и размытое по Гауссу изображение;
- в) детектированные границы объектов; г) результирующее изображение с распознанными объектами (выделены рамками)

Экспериментальные исследования показали хорошие результаты работы ДИАУСП, что видно на результирующих изображениях, на которых обнаруженные объекты выделены рамкой. Однако выявлены некоторые погрешности распознавания, например, при частичной видимости объекта ИС *YOLO* не распознаёт его наличие. В этих случаях распознавание осуществлялось визуально. Для этого каждый кадр из видеопоследовательности, на котором рамками были выделены распознанные объекты, сохранялся в базе данных и оценивался вручную. В ходе этого эксперимента на каждом кадре визуально оценивалось количество правильно и неправильно распознанных объектов, а также оценивалось, пропущен объект или нет. Результаты экспериментов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований

Эксперимент	Объекты	Всего	Кол-во верно обнаруженных объектов, <i>TP</i>	Кол-во ложно обнаруженных объектов, <i>FP</i>	Кол-во пропущенных объектов, <i>FN</i>
1	Пешеходы	3	2	0	1
	Автомобили	4	4	1	0
2	Пешеходы	10	7	1	3
	Автомобили	10	8	0	2
Итого		27	21	2	6

Точность распознавания объектов на изображениях в экспериментах вычисляется 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.

Согласно значениям из таблицы 3 точность составляет 72,4%.

Заключение

В данной работе представлена ДИАСУТП, позволяющая распознавать автомобили и пешеходов на перекрестке в режиме реального времени для решения задачи регулирования городского потока. Для экспериментальных исследований использовалось модифицированное СПО и изображения перекрестков с пешеходными переходами, взятые с видеокamer, установленных на улицах города Курска. Результаты экспериментов показали работоспособность предложенного алгоритма детектирования объектов.

Список источников

- [1] **Сойникова Е.С., Батищев Д.С., Михелев В.М.** О распознавании форменных объектов крови на основе медицинских изображений. *Научный результат. Информационные технологии*. 2018. Т.3, №3. С.54-65. DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-7.
- [2] **Яковлев Е.Л.** Модель оценивания вычислительной сложности интеллектуального распознавания объектов на изображениях на борту беспилотных летательных аппаратов // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2018. № 3(15). С. 27-32.
- [3] **Шошина К.В., Аleshko P.A., Березовский В.В., Васендина И.С., Шошин А.С., Гурьев А.Т.** Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, № 3(49). С.437-454. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454.
- [4] **Морев К.И., Целых А.Н.** Система анализа автомобильного трафика на объекте (в логистике), основанная на распознавании изображения с камеры видеонаблюдения. *Альманах современной науки и образования*. 2017. № 2(116). С.93-96.
- [5] **Копейкин Р.Е., Глазков В.В., Пашева Т.А.** Сравнительная характеристика методов распознавания изображения для задачи распознавания дорожных знаков. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2023. №3. С.63-67.
- [6] **Колоденкова А.Е.** Онтология идентификации человека по движениям тела и лицу в видеонаблюдениях. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, № 1(47). С.55-74. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-55-74.
- [7] **Убоженко Н.В.** Анализ эффективности методов распознавания символов в рамках задачи распознавания номерного знака автотранспорта. *Перспективы развития информационных технологий*. 2013. №12. С.41-45.
- [8] **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. DOI: 10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176.
- [9] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661796. **М.В. Бобырь, Н.А. Милостная, Н.И. Храпова** [и др.] Заявка № 2021660730. Дата поступления 08.07.2021. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.07.2021.
- [10] **Астапова М.А., Уздяев М.Ю.** Детектирование дефектов неисправных элементов линий электропередач при помощи нейронных сетей семейства YOLO. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021. Т.9, № 4(35), 16 с. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.035.
- [11] **Никитин Д.В., Тараненко И.С., Катаев А.В.** Детектирование дорожных знаков на основе нейросетевой модели YOLO. *Инженерный вестник Дона*. 2023. № 7(103). С.91-99.
- [12] **Чуйков Р.Ю., Юдин Д.А.** Обнаружение транспортных средств на изображениях загородных шоссе на основе метода Single shot multibox Detector. *Научный результат. Информационные технологии*. 2017. Т.2, № 4. С.50-58. DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-50-58.
- [13] **Яскеляйнен Я.С., Хакимов А.А., Мутанна М.С.А., Мутханна А.С.А., Киричёк Р.В.** Разработка системы распознавания пешеходов в режиме реального времени для ее применения в концепции умного города. *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2018. Т.6, №3. С.123-136.
- [14] **Лысанов М.К., Сай С.В.** Распознавание объектов дорожного движения с помощью глубокой нейронной сети. *Информационные технологии XXI века*. 2019. С.263-268.
- [15] **Hossain A., Sun X., Das S., Jafari M., Codjoe J.** Investigating older driver crashes on high-speed roadway segments: a hybrid approach with extreme gradient boosting and random parameter model. *Transportmetrica A Transport Science*, 2024. DOI: 10.1080/23249935.2024.2362362.

- [16] **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. DOI: 10.26907/1562-5419-2024-27-4-429-447.
- [17] **Canny J.A.** computational approach to edge detection. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1986, № 8(6). P.679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- [18] **Бобырь М.В., Архипов А.Е., Горбачев С.В., Цао Ц., Бхаттачарья С.Б.** Нечетко-логические методы в задаче детектирования границ объектов. *Информатика и автоматизация*. 2022. Т.21, №2. С.376-404. DOI: 10.15622/ia.21.2.6.
- [19] **Sala Filip A.** Design of false color palettes for grayscale reproduction. *Displays*, 2017. №46. P.9–15.
- [20] **Колоденкова А.Е., Верещагина С.С., Фаворская Е.А., Осипова Е.А.** Подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечётких правил. *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №1(51). С.134-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-134-144.
- [21] **Suzuki S., Keiichi A.** Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Comput. Vis. Graph. Image Process*, 1985, Vol.30. P.32-46.

Сведения об авторах



Бобырь Максим Владимирович, 1978 г. рождения. Окончил Курский государственный технический университет (КГТУ) в 2000 г., к.т.н. (2003 г.). Д.т.н., профессор кафедры программной инженерии ЮЗГУ. Председатель первого в России диссертационного совета ЮЗГУ по специальности «Когнитивное моделирование» (технические науки). В списке научных трудов более 450 работ в области систем управления сложными объектами на основе интеллектуальных систем технического зрения. Author ID (РИНЦ): 276211; Author ID (Scopus): 57191724301; Researcher ID (WoS): G-2604-2013; ORCID: 0000-0002-5400-6817. fregat_mn@rambler.ru ✉.



Храпова Наталия Игоревна, 1998 г. рождения. Аспирант кафедры программной инженерии ЮЗГУ. Победитель Всероссийских и региональных соревнований в сфере информационных технологий. В списке научных трудов около 30 работ. Author ID (РИНЦ): 1148965; Researcher ID (WoS): KFT-1075-2024; ORCID: 0000-0001-7947-1427. KhrapovaNI@yandex.ru.

Поступила в редакцию 27.06.2024, после рецензирования 20.09.2024. Принята к публикации 22.10.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-531-541

Information and analytical system for detecting the movement of objects on a pedestrian crossing

© 2024, М.В. Бобырь ✉, Н.И. Храпова

Southwest State University, Kursk, Russia

Abstract

To manage pedestrian and vehicle flows at intersections, systems are implemented that use adaptive traffic light models, adjusting time intervals based on the volume of pedestrians and vehicles. These systems include video cameras that monitor road user movements, enhancing real-time traffic control. This paper introduces an information and analytical system for managing transport and pedestrian flows using the YOLO neural model, which enables object recognition. The system performs several operations: converting the original image to gray scale, applying Gaussian blurring, detecting object boundaries through the Canny filter and fuzzy logic for edge detection, and contour processing, where each identified contour is assigned a unique number. The neural network then compares detected contours to the training sample data, determining whether the object is a person or a vehicle. The paper presents experimental results for these algorithms in object recognition. Modified software and images of intersections with pedestrian crossings captured from

street video cameras in Kursk were used in the experiments. The recognition accuracy rate from the experiments was 72.4%.

Keywords: information and analytical system, pedestrian crossing, object detection, fuzzy logic, boundary detection, Canny boundary detector, contour detection, neural model.

For citation: *Bobyry MV, Khrapova NI.* Information and analytical system for detecting the movement of objects on a pedestrian crossing [In Russian]. *Ontology of designing.* 2024; 14(4): 531-541. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-4-531-541.

Financial Support: The work was supported by the Russian National Science Foundation grant 23-21-00071 – "Development of a computer vision model for intelligent robotic navigation through the construction of three-dimensional scenes using depth maps."

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Fragment of the traffic flow control ontology

Figure 2 – The structure of computational processes in a two-level information and analytical system for traffic flow management

Figure 3 – The results of the first experimental study: a) the original image; b) the image converted to grayscale and Gaussian blurring of the image; c) detecting objects edges; d) the resulting image with recognized objects which are highlighted with frames.

Figure 4 – Results of the second experimental study: a) the original image; b) the image converted to grayscale and Gaussian blurring of the image; c) t detecting objects edges; d) the resulting image with recognized objects which are highlighted with frames.

Table 1 – Specification of concepts in the ontological model for traffic flow management

Table 2 – Traffic light operation cyclogram

Table 3 – Results of experimental studies

References

- [1] *Soynikova ES, Batishchev DS, Mikhelev VM.* On the recognition of shaped blood objects based on medical images [In Russian]. *Scientific result. Information technology.* 2018; 3: 54-65. DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-7.
- [2] *Yakovlev EL.* A model for estimating the computational complexity of intelligent object recognition in images on board unmanned aerial vehicles [In Russian]. *Intelligent technologies in transport.* 2018; 3(15): 27-32.
- [3] *Shoshina KV, Aleshko RA, Berezovsky VV., Vasendina IS., Shoshin AS., Guryev AT.* Thematic interpretation of aerial photographs of forest areas based on conceptual modeling [In Russian]. *Ontology of designing.* 2023; 3(49): 437-454. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454.
- [4] *Morev KI, Tselykh AN.* A system for analyzing car traffic at an object (in logistics) based on image recognition from a video surveillance camera [In Russian]. *Almanac of Modern Science and Education.* 2017; 2(116): 93-96.
- [5] *Kopeikin RE, Glazkov VV, Pasheva TA.* Comparative characteristics of image recognition methods for the task of recognizing road signs [In Russian]. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region.* 2023; 3: 63-67.
- [6] *Kolodenkova AE.* Ontology of human identification by body movements and face in video surveillance [In Russian]. *Ontology of designing.* 2023; 1(47): 55-74. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-55-74.
- [7] *Ubozhenko NV.* Analysis of the effectiveness of character recognition methods within the framework of the task of recognizing a vehicle license plate [In Russian]. *Prospects for the development of information technology.* 2013; 12: 41-45.
- [8] *Bobyry MV, Khrapova NI, Lamonov MA.* Intelligent traffic light control system based on fuzzy logic [In Russian]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta.* 2021; 4: 162-176. DOI: 10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176.
- [9] Certificate of state registration of a computer program No. 2021661796 [In Russian]. *Bobyry MV, Milostnaya NA, Khrapova NI.* [et al.]. Application No. 2021660730. Date of receipt 08.07.2021. It was registered in the Register of Computer Programs on 07.15.2021.
- [10] *Astapova MA, Uzdyayev MY.* Detection of defects in faulty elements of power lines using neural networks of the YOLO family [In Russian]. *Modeling, optimization and information technology.* 2021; 4(35). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.035.

- [11] **Nikitin DV, Taranenko IS, Kataev AV.** Detection of road signs based on the YOLO neural network model [In Russian]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023; 7(103): 91-99.
- [12] **Chuikov RY, Yudin DA.** Detection of vehicles on images of suburban highways based on the Single shot multibox Detector method [In Russian]. *Scientific result. Information technology*. 2017; 2(4): 50-58. DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-50-58.
- [13] **Yaskelainen YS, Khakimov AA, Muthanna MSA, Muthanna ASA, Kirichek RV.** Development of a pedestrian recognition system in real time for its application in the concept of a smart city [In Russian]. *Information technologies and telecommunications*. 2018; 6(3): 123-136.
- [14] **Lysanov MK, Sai SV.** Recognition of traffic objects using a deep neural network [In Russian]. *Information technologies of the XXI century*. 2019. P. 263-268.
- [15] **Hossain A, Sun X, Das S, Jafari M, Codjoe J.** Investigating older driver crashes on high-speed roadway segments: a hybrid approach with extreme gradient boosting and random parameter model. *Transportmetrica A Transport Science*, 2024. DOI: 10.1080/23249935.2024.2362362.
- [16] **Bobyry MV, Milostnaya NA, Khrapova NI.** On the approach to detecting pedestrian movement using the method of histograms of directed gradients [In Russian]. *Electronic libraries*. 2024; 27(4): 429-447. DOI: 10.26907/1562-5419-2024-27-4-429-447.
- [17] **Canny JA.** computational approach to edge detection. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1986, № 8(6), p. 679–98. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- [18] **Bobyry MV, Arkhipov AE, Gorbachev SV, Cao Ts Bhattacharya SB.** Fuzzy logic methods in the problem of detecting object boundaries [In Russian]. *Informatics and Automation*. 2022; 21(2): 376-404. DOI: 10.15622/ia.21.2.6.
- [19] **Sala FA.** Design of false color palettes for grayscale reproduction. *Displays*, 2017; 46: 9-15.
- [20] **Kolodenkova AE, Vereshchagina SS, Favorskaya EA, Osipova EA.** An approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 1(51): 134-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-134-144.
- [21] **Suzuki S, Keiichi A.** Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Comput. Vis. Graph. Image Process*. 1985; 30: 32-46.

About the authors

Maxim Vladimirovich Bobyr (b. 1978) graduated from Kursk State Technical University (KSTU) in 2000, Ph.D. (2003). Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Software Engineering at Southwestern State University. Chairman of the first dissertation Council of Southwestern State University in Russia in the specialty "Cognitive modeling" (technical sciences). The list of scientific papers includes more than 450 works in the field of control systems for complex objects based on intelligent vision systems. Author ID (RSCI): 276211; Author ID (Scopus): 57191724301; Researcher ID (WoS): G-2604-2013; ORCID: 0000-0002-5400-6817. fregat_mn@rambler.ru. ✉

Natalia Igorevna Khrapova (b. 1998) is a postgraduate student of the Department of Software Engineering at Southwestern State University. The winner of the All-Russian and regional competitions in the field of information technology. There are about 30 works in the list of scientific papers. Author ID (RSCI): 1148965; Researcher ID (WoS): KFT-1075-2024; ORCID: 0000-0001-7947-1427. KhrapovaNI@yandex.ru.

Received June 27, 2024. Revised September 20, 2024. Accepted October 22, 2024.