

Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения



Чебыкин Иван Андреевич – ООО «ТраффикДэйта», Пермь, Россия.*

Иван ЧЕБЫКИН

Целью статьи является описание практического применения технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта для решения задач проектирования дорожной инфраструктуры.

В статье методом сравнительного анализа оцениваются традиционные способы количественного и качественного анализа транспортных потоков по показателям трудоёмкости и точности, указаны преимущества и недостатки рассмотренных способов. Предложен новый метод анализа транспортного потока, основанный на применении беспилотных летательных аппаратов и технологии компьютерного зрения на базе свёрточных нейронных сетей. Рассмотренный метод позволяет полностью автоматизировать сбор и анализ данных о транспортных потоках. В статье описывается первое применение предложенного метода при выполнении транспортно-экономических изысканий в рамках проектирования объекта «Северный обход г. Перми». Описаны преимущества применённого метода по отношению к традиционным. Для реализации данного проекта было разработано программное обеспечение для анализа транспортных потоков по видеоматериалам.

В статье рассматривается мониторинг дорожного движения, описаны его цели, задачи, указан необходимый функционал системы автоматизации мониторинга дорожного движения, перечислены параметры дорожного движения, которые она должна определять. Рассматривается методология реализации автоматизированной системы мониторинга дорожного движения по видеоматериалам на одном участке дороги.

Представлен проект системы мониторинга дорожного движения, позволяющий расширить рассмотренный ранее подход на всю улично-дорожную сеть. Описаны технологии, позволяющие реализовать данную систему на основе видеоаналитики материалов с камер видеонаблюдения. Предложен метод реидентификации автомобиля, продемонстрирована реализация данного метода. Метод позволяет строить матрицу корреспонденции автомобилей, зафиксированных на камерах видеонаблюдения, расположенных на разных участках дорожной сети, а также определять все параметры дорожного движения для всей УДС.

В выводах обозначаются перспективы развития разработанного программного обеспечения с точки зрения применения в интеллектуальных транспортных системах.

Ключевые слова: дорожное движение, мониторинг, данные о транспортном потоке, транспортное моделирование, транспортно-экономические изыскания, компьютерное зрение, искусственный интеллект, видеоаналитика, параметры дорожного движения, интеллектуальные транспортные системы.

*Информация об авторе:

Чебыкин Иван Андреевич – инженер-проектировщик транспортных сооружений, генеральный директор ООО «ТраффикДэйта», Пермь, Россия, info@trafficdata.ru.

Статья поступила в редакцию 22.03.2020, актуализирована 27.08.2020, принята к публикации 28.08.2020.

For the English text of the article please see p. 81.

В данной статье ставится *цель* рассмотреть возможности, которые могут предоставить для транспортной отрасли технологии компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Впервые в России транспортно-экономические изыскания были выполнены с применением искусственного интеллекта в рамках проектирования объекта «Северный обход г. Перми», выполняемого ОАО «Институт Гипростроймост». Учёт интенсивности движения осуществлялся посредством видеосъёмки с беспилотного летательного аппарата и последующего анализа видеоматериалов с помощью программного комплекса TrafficData по методологии транспортных исследований.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УЧЁТА ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Достаточно подробно провёл анализ «современных» методов учёта интенсивности движения профессор МАДИ М. Р. Якимов в своей монографии [1]. На примере исследований, проводимых в Перми, профессор Якимов рассмотрел три основных способа, применяемых на практике:

1. Ручной способ – непосредственный сбор данных производится учётчиками. «Это специально обученные люди, которые стоят на перекрёстках в течение дня и проводят замеры интенсивности движения с различных направлений».

2. Полуавтоматический – сбор информации осуществляется с помощью видеоборудования, которое позволяет производить видеосъёмку на всём обследуемом перекрёстке, а обработка собранной информации производится вручную.

3. Автоматический – с помощью детекторов учёта транспорта, способ актуален для участков улично-дорожной сети, где установлено оборудование.

Способы оценивались по следующим показателям:

- единовременные затраты;
- текущие затраты;
- временные затраты на сбор/обработку информации;
- оценка качества собранных данных.

Метод сравнительного анализа показал, что наиболее затратным, с финансовой точки зрения, является третий способ, так как он требует установки датчиков под

каждую полосу движения. Соответственно первый способ является наименее затратным. На обработку собранных материалов по первому способу был потрачен один час, по второму способу – три часа, по третьему – 15 мин. Самым точным является второй способ, так как он позволяет производить подсчёт автомобилей с видеозаписи несколько раз, что исключает фактор человеческой ошибки. Поэтому полуавтоматический способ был принят за эталонный. При сравнении с эталоном первый способ показал относительные отклонения от 3 до 33,5 %, третий – от 7 до 57 %. Такие погрешности третьего способа вызваны неточностями при считывании информации и несовершенством устройств, имеющихся в распоряжении исследователей.

Таким образом, сравнительный анализ показал, что для получения исходной информации для единичных перекрёстков необходимо использовать полуавтоматический способ сбора информации. Если использование полуавтоматического способа сбора информации невозможно на исследуемом перекрёстке, то целесообразно использовать натуральный способ сбора данных. Сбор данных с использованием датчиков учёта транспорта показал достоверность получаемых данных, погрешности составляют более 20 %.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С приходом в нашу жизнь квадрокоптеров способ с видеофиксацией стал ещё более актуальным, так как теперь мы не привязаны к местам, где установлены камеры наблюдения за дорожной обстановкой, и можем охватывать перекрёсток целиком, что позволяет одновременно фиксировать движение автомобилей по всем направлениям. Однако статистический анализ затрат на аналогичные задачи показал, что обработка таких видеоматериалов представляет определённую сложность. Например, определить интенсивность движения в каждом из девяти направлений на круговой развязке в створе улицы генерала Буткова (г. Калининград) оказалось достаточно трудно.

Развитие технологий компьютерного зрения и машинного обучения позволило авто-





Рис. 1. Съёмка кругового пересечения с квадрокоптера (предоставлено ОАО «Институт Гипростроймост»).

материзировать данную задачу. Построенный на базе новейших архитектур свёрточных сетей разработанный программный комплекс дал возможность довести полуавтоматический способ, описанный М. Р. Якимовым, до полностью автоматизированного. В очередной раз искусственный интеллект избавил человека от рутинного утомительного труда.

С его помощью существенно снижаются трудозатраты на сбор данных о транспортных потоках для перекрёстка, участка дороги. В результате чего в рамках обычных транспортно-экономических изысканий методом простого математического анализа удалось вывести реальное распределение интенсивности движения в течение всего дня. Теперь нет необходимости пользоваться коэффициентами неравномерности для определения среднесуточной интенсивности, приведёнными в [2]. Известно, что данные коэффициенты определены на основе замеров, выполненных на МКАД с помощью датчиков [3]. По существу, эти данные являются частным случаем и не могут использоваться повсеместно.

Таким образом автоматизируется сбор данных на перекрёстке или на участке дороги *методом анализа видеоизображений с помощью компьютерного зрения*, например, с целью оптимизации транспортных потоков по методу *математического моделирования*.

В России, в рамках осуществления государственной программы «Безопасные и качественные дороги» Министерство транспорта Российской Федерации утвердило приказы о необходимости выполнения мониторинга дорожного движения [4; 5]. Для реализации этих мероприятий

в объёмах страны необходимо автоматизировать макроисследования.

Аналогичные системы начали появляться и за рубежом, особенно в Европе и Северной Америке, где регулярно проводится мониторинг дорожного движения по основным транспортным артериям агломераций, а также в городах. Яркими примерами являются продукты таких компаний, как DataFromSky (Чехия), GoodVision (Великобритания), Miovision (Канада).

МОНИТОРИНГ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Для начала сформулируем цели мониторинга дорожного движения. В России, в соответствии с анализом документов [4; 5], цели следующие:

- оценить текущее качество организации дорожного движения;
- определить приоритетные мероприятия повышения качества организации дорожного движения дорожной сети;
- оценить эффективность мероприятий, предпринятых для повышения качества организации дорожного движения.

Для достижения этих целей необходимо, чтобы система мониторинга дорожного движения (СМДД) могла решать следующие задачи:

- определять параметры дорожного движения;
- накапливать данные о параметрах движения;
- формировать отчёты об изменениях параметров движения в наглядном виде.

Речь идёт о параметрах дорожного движения, указанных в [2; 5] и изображённых на рис. 2.

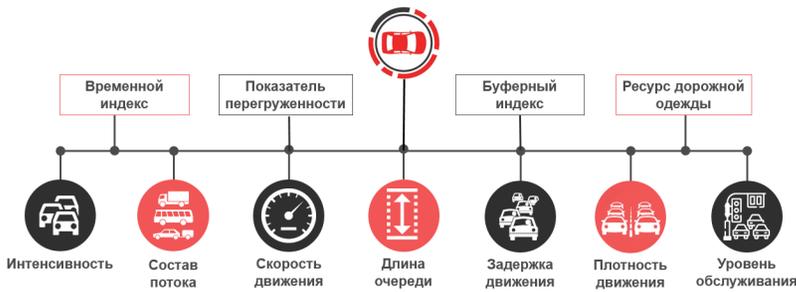


Рис. 2. Параметры дорожного движения (выполнено автором).

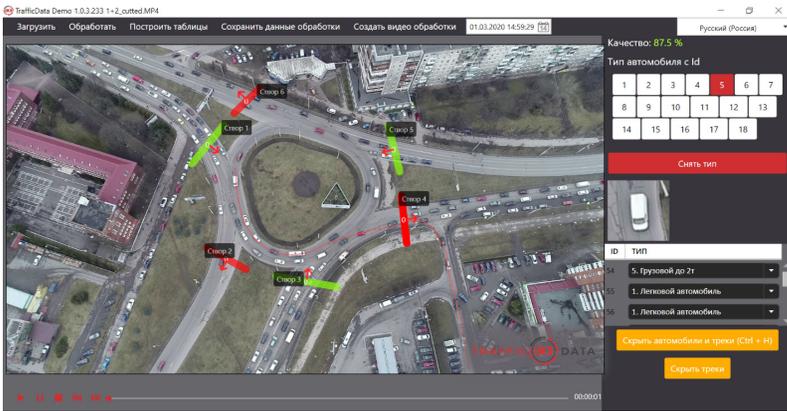


Рис. 3. Расстановка створов на видео в интерфейсе (предоставлено автором).

Для решения описанных выше задач систематизированы и адаптированы к автоматизированной реализации указанные приказы Министерства транспорта Российской Федерации и сформулирована методика автоматизации мониторинга дорожного движения. Также на базе этой методики был разработан проект организации СМДД, который позволяет определять все параметры движения для оценки качества дорожного движения не только на каждом участке дороги (перекрёстке, между перекрёстками), но и на всей трассе, или сети дорог в режиме 24/7.

Для того чтобы решать поставленные задачи, СМДД должна обладать следующим функционалом:

- круглосуточно выполнять видеосъёмку дорожной сети;
- обрабатывать видеоматериалы в поточном режиме со скоростью выше, чем видео поступают;
- считывать регистрационные номера автомобилей;
- определять параметры движения;
- формировать базу параметров движения по всем участкам дороги на весь период наблюдения;

- обеспечивать работу с базой данных (осреднение, фильтрация, вывод отчётов).
- Рассмотрим, как этот функционал реализован в разработанном программном комплексе.

Интенсивность потока

Интенсивность движения определяется по направлениям. Направления задаются створами, указываемыми пользователем на видео (рис. 3). Доступны три типа створов: входной, выходной и сквозной.

Состав потока

Качественный анализ транспортного потока, поддерживаемый в разработанной программе, учитывает требования как приказа Министерства транспорта Российской Федерации [5], так и нормативов [6] — для загородных дорог, [7] — для городских дорог. Таким образом, наш программный комплекс распознаёт 21 тип транспортных средств и пешеходов.

Скорость движения

- По видеоизображению определяются:
- мгновенная скорость в каждой точке траектории;



**Описание детектируемых участников дорожного движения
(из отчёта по обработке видео, генерируемого программным комплексом)**

Сокращение	Расшифровка
1. Легковой автомобиль	1. Легковой автомобиль
2. Микроавтобус	2. Микроавтобус
3. Мотоцикл и мопед	3. Мотоцикл и мопед
4. Велосипед	4. Велосипед
5. Небольшой грузовик (фургон)	5. Небольшой грузовик (фургон)
6. 2-о грузовик 2–6 т	6. Двухосный грузовой автомобиль 2–6 т
7. 2-о грузовик 6–8 т	7. Двухосный грузовой автомобиль 6–8 т
8. 3-о грузовик 8–14 т	8. Трёхосный грузовой автомобиль 8–14 т
9. 3-о грузовик > 14 т	9. Трёхосный грузовой автомобиль более 14 т
10. 4-о грузовик	10. Четырёхосный грузовой автомобиль
11. 4-о а-поезд (2-о гр + п)	11. Четырёхосный автопоезд (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)
12. 5-о а-поезд (3-о гр + п)	12. Пятиосный автопоезд (трёхосный грузовой автомобиль с прицепом)
13. 3-о сед. а-поезд (2-о сед. т + пп)	13. Трёхосный седельный автопоезд (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
14. 4-о сед. а-поезд (2-о сед. т + пп)	14. Четырёхосный седельный автопоезд (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
15. 5-о сед. а-поезд (3-о сед. т + пп)	15. Пятиосный седельный автопоезд (трёхосный седельный тягач с полуприцепом)
16. 5-о сед. а-поезд (2-о сед. т + пп)	16. Пятиосный седельный автопоезд (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
17. 6-о сед. а-поезд	17. Шестиосный седельный автопоезд, автобус особо большого класса
18. Автомобиль с ≥ 7 осями	18. Автомобиль с семью и более осями
19. Автобус малой вместимости	19. Автобус малой вместимости
20. Автобус средней вместимости	20. Автобус средней вместимости
21. Автобус большой вместимости	21. Автобус большой вместимости
22. Троллейбус	22. Троллейбус
23. Сочленённый автобус / троллейбус	23. Сочленённый автобус и сочленённый троллейбус
24. Пешеходы	24. Пешеходы

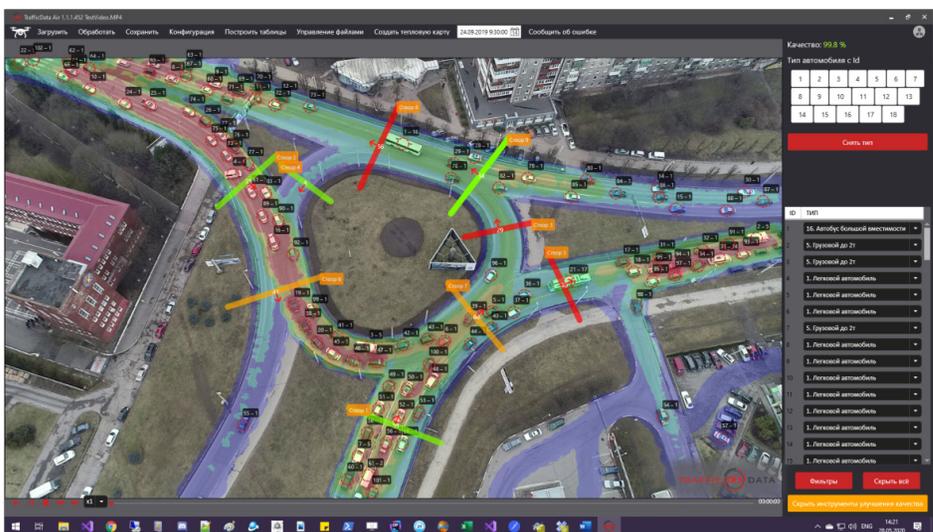


Рис. 4. Тепловая карта распределения скоростей движения по участку дороги (предоставлено автором).

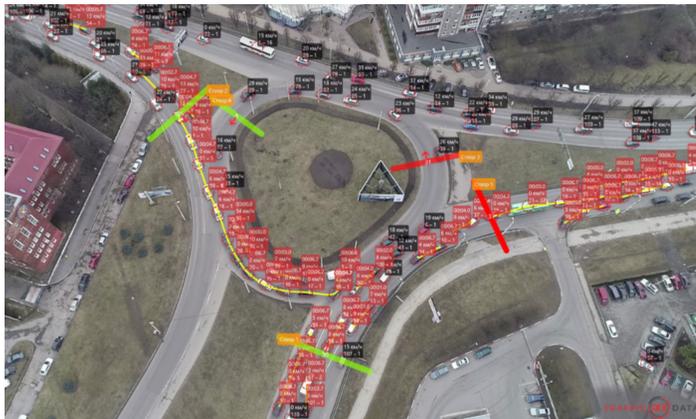


Рис. 5. Скриншот визуализации формирования очередей на перекрёстке (автомобили, попавшие в очередь, объединены жёлтыми (светлыми) линиями, ярлычки сменяют цвет с чёрного на красный, отображается время, проведённое в очереди).



Рис. 6. Детекция номеров (слева) и анализ потока автомобилей по видеозображению (справа). (Данные номерного знака в публикации заретушированы).

- средняя скорость на участке между створами;
- скорость с 85 %, 95 % обеспеченностью.

Для наглядного отображения распределения скоростей движения на перекрёстке доступна тепловая карта.

Плотность движения

Плотность движения для участка дороги определяется по формуле:

$$\rho = \frac{1}{\bar{I} \cdot \bar{V}}, \text{ автомобилей, приведённых}$$

к легковому, на километр, где \bar{I} – средний временной интервал между приведёнными автомобилями;

\bar{V} – средняя скорость движения транспортных средств на участке дороги.

Длина очереди

Разработанный программный комплекс позволяет по видеозображению определить длину очереди и время, проведённое

автомобилем в очереди по рассматриваемому направлению, а также время стоянки. Критерием попадания автомобиля в очередь является расстояние между автомобилями в свету не более 5 м.

Задержка в движении

Для определения времени задержки движения вначале необходимо определить время преодоления участка дороги при свободном движении. Критерий свободного движения задаётся пользователем как минимальный интервал между автомобилями при скорости движения более порогового значения. В случае, если нет данных по свободному движению, то они определяются через максимально разрешённую скорость на участке дороги.

Далее на основе собранных видеоданных определяются вычисляемые параметры движения:

- уровень обслуживания;
- показатель перегруженности;





- временной индекс;
- буферный индекс.

По запросу результаты анализа выводятся в MS Excel.

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ (СМДД)

Был разработан проект СМДД для трассы 1500 км, которая разделена на 300 участков. Вход и выход каждого участка оснащается камерами. Система ведёт мониторинг дорожного движения 24/7 полностью автоматически, закрывая все требования документов [4; 5].

Для реализации данного проекта были объединены две технологии: распознавание номеров и детекция автомобилей по видеоизображению.

Это позволило: во-первых, строить матрицу корреспонденции, наблюдая автомобиль с разных камер, т.е. по всей сети дорог, оснащённой СМДД; во-вторых, получать все необходимые данные об автомобиле по видеоизображению без подключения к базе данных ГИБДД, что решило вопрос с персональными данными.

При этом, проведя глубокую оптимизацию алгоритмов компьютерного зрения, удалось настолько снизить системные требования, что это позволило управлять сетью из 100 камер всего одним сервером в потоковом режиме. Общая стоимость системы составила всего 100 тыс. руб./км.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Потребность в данных о транспортном потоке настолько созрела, что есть готовность выставлять по человеку на каждые 300 м дороги для их сбора [4]. При этом качество таких данных оставляет желать лучшего [1]. С помощью СМДД, которой создатели комплекса предлагают оснастить сеть обследуемых дорог, эти данные можно получать каждые пять минут с точностью 95 %.

Для того чтобы управлять каким-то процессом, необходимо обладать данными о нём. Только регулярно собирая полные и достоверные данные о дорожном движении, мы сможем перейти к созданию ИТС. Для решения задачи сбора данных и был создан описанный программный комплекс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов. М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с. [Электронный ресурс]: <http://simulation.su/uploads/files/default/2013-yakimova-monography-1.pdf>. Доступ 03.11.2020.

2. ОДМ 218.2.020-2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200092512>. Доступ 03.11.2020.

3. Менделев Г. А. Закономерности изменения во времени интенсивности городского автомобильного движения / Дис... канд. техн. наук. – 2001. – 164 с. [Электронный ресурс]: <https://www.dissercat.com/content/zakonomenosti-izmeneniya-vo-vremeni-intensivnosti-gorodskogo-avtomobilnogo-dvizheniya>. Доступ 03.11.2020.

4. Приказ Минтранса РФ от 18 апреля 2019 г. № 114 «Об утверждении порядка мониторинга дорожного движения». [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72171658/>. Доступ 03.11.2020.

5. Приказ Минтранса РФ от 26 декабря 2018 г. № 479 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения в части расчёта значений основных параметров дорожного движения». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/552196818>. Доступ 03.11.2020.

6. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200095524>. Доступ 03.11.2020.

7. СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населённых пунктов. Правила градостроительного проектирования». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/552304870>. Доступ 03.11.2020.

8. ВСН 42-87 «Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200006881>. Доступ 03.11.2020.

9. Минтранс РФ, «Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях», 2017 г. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/file/404210>. Доступ 03.11.2020.

10. ОДМ 218.6.003-2011 «Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200098292>. Доступ 03.11.2020.

11. Распоряжение Минтранса РФ от 25 марта 2020 г. «Об утверждении Методики оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/564654235>. Доступ 03.11.2020.

12. Джафаров Р. М. Исследование скоростей движения на транспортных развязках с направленными съездами // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 2 (92). – С. 7–9. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43825363>. Доступ 03.11.2020.

13. Джафаров Р. М. Расчёт скоростей движения при разработке планировочных решений транспортных развязок с направленными съездами // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 2 (92). – С. 13–16. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43825365>. Доступ 03.11.2020.