Научная статья
Original article
УДК 656.051

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

INTELLIGENT TRANSPORT VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS: LITERATURE REVIEW

Кирьян Иван Валерьевич, магистрант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7204-027X, kiryan.iv@edu.spbstu.ru

Трепалин Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)

Ivan V. Kirian, master student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251 Russia), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7204-027X, kiryan.iv@edu.spbstu.ru

Vladimir A. Trepalin, candidate of engineering sciences, associate professor of Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251 Russia).

Аннотация. Объект исследования: интеллектуальные транспортные системы (ИТС) в рамках концепции «Умный город», которые за последние десятилетия превратились в эффективный способ повышения производительности транспортных систем и безопасности движения. Предметом изучения данной статьи является визуальный способ получения исходных данных для формирования структуры ИТС. Методология основана на анализе литературы в области интеллектуальных транспортных систем, а также по тематике «Умного города». В статье затронуты функциональные возможности применения ИТС, основанных на распознавании визуальной информации (видеофиксации), особенности их применения, проблемы, связанные с получением исходных данных
Abstract. Object of research: intelligent transportation systems (ITS) within the framework of the “Smart city” concept, which over the past decades have become an effective way to improve the performance of transport systems and traffic safety. The subject of this article is a visual way of obtaining initial data for the formation of the ITS structure. The methodology is based on the analysis of literature in the field of intelligent transportation systems, as well as on the topic of «Smart City». The article touches upon the functional possibilities of using ITS based on the recognition of visual information (video recording), the features of their application, the problems associated with obtaining the initial data and possible solutions.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, «Умный город», транспортные системы, видеофиксация.
Keywords: intelligent transportation systems, «Smart city», transport systems, video recording

Введение

Одной из особенностей исследований в области транспорта является то, что они интенсивно развиваются с помощью технологических инноваций. В некотором смысле вся транспортная система построена на взаимодействии человека и технологий. Технологии не только способствуют появлению новых способов наблюдения, мониторинга и управления транспортными системами, но и способны коренным образом изменить основные характеристики транспортной системы.

Фундаментальная диаграмма взаимосвязи между скоростью, потоком и плотностью [1] в 1930-х годах была одной из самых ранних и наиболее показательных транспортных моделей. С тех пор исследования в области транспорта значительно продвинулись в отношении почти всех аспектов транспортной системы, особенно с развитием интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Ни один из «умных городов» не может нормально функционировать без умных решений в области транспорта. Умная логистика является необходимым условием эффективного обеспечения городских территорий и мобильности их жителей. Это происходит из-за экспоненциального развития городов и увеличения числа потоков, что вызывает транспортные заторы и снижает уровень качества жизни в городе. Одним из способов решения данной проблемы может являться активное внедрение ИТС в инфраструктуру города. В данном обзоре поставлена цель провести анализ того, как технологии повлияли на исследования в области транспорта в последние десятилетия.

Имеется ряд исследований [2]–[5] посвященных повышению эффективности работы транспортно-логистических систем при помощи создания линейных оптимизационных моделей. На данный момент в Российской Федерации реализовывается несколько федеральных проектов, направленных на развитие транспортной сети страны. В работе [6] даются практические рекомендации по правильному развитию транспортной сети. Необходимость исследований, направленных на изучение способов мониторинга автомобильных дорог, связано в первую очередь, с трудоемкостью существующих методов (при помощи реек и простейших измерительных приборов), а также качеством выполнения этих работ [7]–[9]. Переходя непосредственно к теме данной обзорной статьи, стоит отметить, что имеется исследование [10], в котором в качестве основы нормального функционирования города представляется анализ транспортного потока при помощи современных программных обеспечений. Однако в отечественных публикациях по тематике «Транспортная инфраструктура» до сих пор редко можно встретить понятия «умный город» и «интеллектуальные транспортные системы».

Основная часть

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) представляют сочетание информационно-коммуникационных технологий, инфраструктуры и транспортных средств; цель заключается в повышении безопасности, повышении эффективности транспортных процессов и защите окружающей среды; они гарантируют более безопасное, скоординированное и рациональное использование транспортной сети [11].

Данные, используемые в ИТС, собираются из ограниченных источников, например, при помощи видеомониторинга. ИТС, основанные на распознавании информации рассмотрены ниже.

ИТС, основанные на видеомониторинге являются наиболее распространенными по следующим причинам:

1) Человеку более привычно воспринимать информацию визуально

2) Видеофиксация охватывает широкий спектр информации, которая может самым непосредственным образом отражать состояние транспортных систем и может использоваться для обнаружения некоторых тенденций, изменяющихся во времени.

3) Камеры могут быть легко установлены, эксплуатироваться и обслуживаться [12].

4) Соотношение цены и производительности видеокамер

Ниже перечислены несколько показательных приложений, основанных на видеофиксации (рисунок 1):

1) обнаружение, отслеживание и распознавание объектов трафика (обнаружение транспортных средств [13], обнаружение пешеходов [14], [15], распознавание номерных знаков [16], обнаружение дорожных знаков [17]–[19] и отслеживание полосы движения [20]);

2) анализ поведения дорожного движения, например обнаружение нерегулярного поведения транспортных средств [21], [22] и автоматическое обнаружение дорожно-транспортных происшествий [23];

3) построение траекторий движения транспортных средств [24];

4) статистический анализ данных о движении

Обнаружение, распознавание и отслеживание объектов, связанных с дорожным движением, имеют широкое применение в ИТС. В частности, обнаружение и идентификация транспортных средств обычно используются для выявления случаев нарушения правил дорожного движения (например, превышение скорости и движение на красный свет), что важно для сокращения числа дорожно-транспортных происшествий. Идентификацию транспортного средства дополняет распознавания номерных знаков, например, для контроля доступа на парковку или сбора платы за проезд [13], [25].

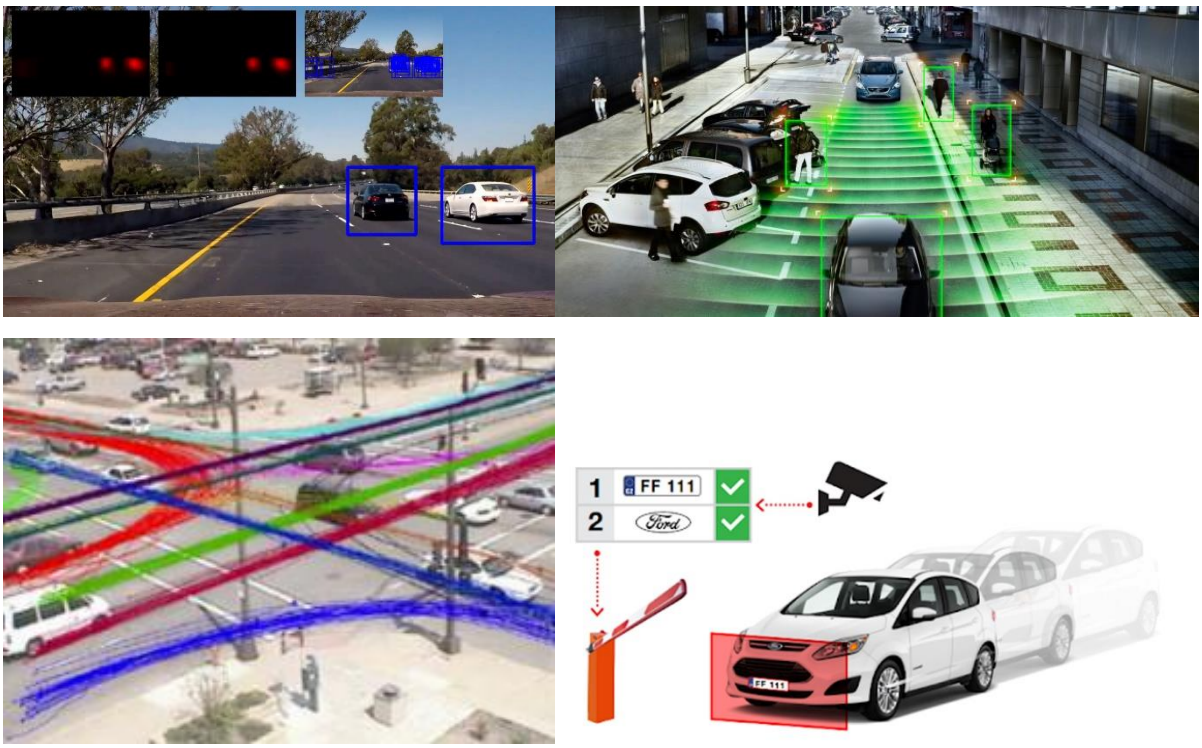


Рис. 1. Некоторые примеры видеофиксации объектов дорожного движения. Слева направо и сверху вниз. Обнаружение транспортных средств. Обнаружение пешеходов. Построение траекторий движения автомобилей. Распознавание номерных знаков

Однако ИТС, основанные на распознавании, имеют ряд недостатков [25]:

1) Транспортные средства сильно различаются по форме, размеру и цвету.

2) Внешний вид транспортного средства всегда меняется с изменением его положения.

3) Сложные погодные условия могут усложнить процесс обнаружения и идентификации транспортных средств.

4) Вычислительная мощность часто очень требовательна из-за быстрого передвижения дорожных транспортных средств.

Для решения этих проблем исследователи [13] предложили метод обнаружения транспортных средств путем извлечения локальных объектов из подобластей в каждом кадре. Этот подход позволит осуществлять обнаружение транспортных средств, которые менее подвержены геометрической дисперсии. Обнаружение транспортных средств также является важным шагом на пути к интеллектуальному исследованию транспортных средств. Эффективные меры контроля за движением автомобиля и изменением полосы движения могут быть реализованы для транспортного средства, если можно точно определить положение соседних транспортных средств. Исследователи [26], [27] предложили динамическую визуальную модель, которая выполняет визуальный анализ видеопоследовательностей для обнаружения критических движений близлежащих движущихся транспортных средств во время движения по шоссе.

Аналогичным образом, эффективное обнаружение пешеходов может помочь уменьшить количество травм, связанных с пешеходами и транспортными средствами. Если система может вовремя выдать предупреждение и принять некоторые предупреждающие меры, как только пешеход был обнаружен в опасной близости, то дорожно-транспортное происшествие, связанное с пешеходом, можно смягчить или даже избежать. Очевидно, что обнаружение признаков таких потенциальных рисков как с фронтального, так и с бокового обзора должно быть необходимым условием эффективной системы обнаружения пешеходов. Основные проблемы заключаются в следующем:

1) Тяжело отделить пешеходов от фона в изображениях или видеопоследовательностях в области компьютерного зрения [28]

2) Внешний вид пешеходов различается по одежде и другим признакам [29].

Более полный обзор исследований по обнаружению и защите пешеходов рассмотрен в [28], [30], [31].

Распознавание номерных знаков — это основной модуль для интеллектуальных транспортных систем и интеллектуального управления транспортными средствами, полезный для различных приложений, начиная от мониторинга поведения транспортных средств и заканчивая оценкой времени в пути.

Подобно обнаружению транспортных средств и пешеходов существуют следующие два способа идентификации номерного знака:

1) По статичным изображениям;

2) По видеопоследовательностям [16].

Основными проблемами по-прежнему остается разработка надежной системы обнаружения и распознавания номерных знаков, которая может работать в различных сложных условиях при перемещении нескольких объектов. Кроме того, обнаружение должно быть менее чувствительным к изменению угла между землей и номерным знаком, установленным в бампере. Подробный обзор по распознаванию номерных знаков приведен в [16].

Система обнаружения и отслеживания полос движения, как правило, страдает от большого разнообразия разметки полос и поверхностей полос движения, а также погодных условий и времени суток. Ученые [32] провели всестороннее исследование по обнаружению и отслеживанию полосы движения и указали на следующие особенности:

1) Распознавание полосы движения может иметь лучшую производительность ночью и на рассвете, так как существует больший контраст между дорогой и дорожной разметкой.

2) Полосы движения со сплошной и прерывистой разметкой распознаются лучше всего.

3) Распознавание полосы движения будет наихудшим в следующих случаях: тоннель и сложные тени.

Превышение скорости транспортного средства может значительно увеличить вероятность аварий со смертельным исходом. Превышение скорости иногда происходит из-за того, что водители не замечают или игнорируют знаки ограничения скорости. Чтобы решить эту проблему, ученые [17] представили детектор для обнаружения знака ограничения скорости в широком диапазоне условий освещения. В исследованиях [19] использовали два основных геометрических свойства—соотношение между площадью и периметром и количеством сторон заданной формы, что позволило анализировать различные формы и обеспечить автоматическое распознавание дорожных знаков на основе

сегментации изображений и корреляции совместного преобразования. Было оценено [33] влияние алгоритмов сегментации изображений на распознавание дорожных знаков. Чтобы получить лучшее распознавание на изображениях знаков низкого качества, разработан [34] надежный критерий сходства знаков, основанный на изображениях дорожных знаков, отражающих специфику конкретной области.

Недостатком этих алгоритмов является то, что они работают только в дневное время. Для создания эффективной системы управления фиксации в ночное время одним из способов является использование инфракрасной камеры, которая менее чувствительна к условиям освещения окружающей среды. Основываясь на обнаружении изображений определенного размера и соотношения сторон в дальнем инфракрасном диапазоне, исследователи [35] реализовали систему обнаружения пешеходов в ночное время. В то время как, ряд ученых [36] объединил монокулярную камеру ближнего инфракрасного диапазона с подсветкой от фар для формирования систем обнаружения и отслеживания пешеходов в режиме реального времени в ночное время.

Заключение

Все больше и больше городских агломераций становятся «умными». Самый большой вклад интеллектуальных решений виден в области транспорта. Это связано с огромным влияниями транспортных систем в обеспечение непрерывного функционирования города. В этой статье были рассмотрены интеллектуальные транспортные системы, как часть концепции «Умный город», в частности рассмотрены ИТС, основанные на распознавании объектов. Существует тенденция к тому, что данный тип ИТС в дальнейшем займет гораздо большую долю рынка в области безопасности дорожного движения. В целом ИТС многообещающая область, внедрение который значительно повысит безопасность и комфорт функционирования транспортных систем.

Литература

1. Greenshields B.D. A study of traffic capacity // 14 Annual Meeting of the Highway Research Board Proceedings. – 1935.

2. Ермошин, Н.А. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования / Н.А Ермошин, Ю.Г. Лазарев // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 1(39). – С. 58–62.
3. Ермошин, Н.А. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве «взвешенных» графов / Н.А Ермошин, Ю.Г. Лазарев // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 3. – С. 35–44. DOI:10.15593/24111678/2018.03.04.
4. Ermoshin N.A. Development of Organizational and Technological Schemes of Design of Unique Transport Constructions with Use of Simulation Models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 4(753). DOI:10.1088/1757-899X/753/4/042054.
5. Makovetskaya-Abramova O., Lazarev Y., Gravit M., Silla S., Shakhova M. Multiplicative method for creating the traffic monitoring base in a megapolis // E3S Web of Conferences. – 2020. – (164). DOI:10.1051/e3sconf/202016403023.
6. Лазарев, Ю.Г. Показатели обеспечения безопасности транспортных систем в интересах реальной экономики // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2018. – № 1(43). – С. 61–65.
7. Ермошин, Н.А. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации / Н.А Ермошин, Ю.Г. Лазарев, И.В Сенцов // Путевой навигатор. – 2019. – № 38(64). – С. 24–31.
8. Лазарев, Ю.Г. Современное состояние проблемы совершенствования транспортной инфраструктуры / Ю.Г. Лазарев, Е.Б. Синицына // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2013. – № 4(26). – С. 71–74.
9. Лазарев, Ю.Г. Формирование потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог / Ю.Г. Лазарев, А.Н. Новик, Д.Л. Симонов // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2016. – № 1(35). – С. 43–47.
10. Чебыкин И.А. Анализ транспортного потока как основа интеллектуальной транспортной системы // Мир дорог. – 2012. – № 131. – С. 80–82.
11. Kauf S. Smart logistics as a basis for the development of the smart city // Transportation Research Procedia. – 2019. – (39). DOI:10.1016/j.trpro.2019.06.016.

12. Kastrinaki V., Zervakis M., Kalaitzakis K. A survey of video processing techniques for traffic applications // Image and Vision Computing. – 2003. – № 4(21). DOI:10.1016/S0262-8856(03)00004-0.
13. Wang C.-C.R., Lien J.-J.J. Automatic Vehicle Detection Using Local Features—A Statistical Approach // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 1(9). – С. 83–96. DOI:10.1109/TITS.2007.908572.
14. Munder S., Schnorr C., Gavrila D.M. Pedestrian detection and tracking using a mixture of view-based shape-texture models // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 2(9). DOI:10.1109/TITS.2008.922943.
15. Bi L., Tsimhoni O., Liu Y. Using image-based metrics to model pedestrian detection performance with night-vision systems // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – № 1(10). DOI:10.1109/TITS.2008.2011719.
16. Anagnostopoulos C.N.E., Anagnostopoulos I.E., Psoroulas I.D., Loumos V., Kayafas E. License plate recognition from still images and video sequences: A survey // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 3(9). DOI:10.1109/TITS.2008.922938.
17. Barnes N., Zelinsky A., Fletcher L.S. Real-time speed sign detection using the radial symmetry detector // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 2(9). DOI:10.1109/TITS.2008.922935.
18. Baró X., Escalera S., Vitrià J., Pujol O., Radeva P. Traffic sign recognition using evolutionary adaboost detection and forest-ECOC classification // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – № 1(10). DOI:10.1109/TITS.2008.2011702.
19. Khan J.F., Bhuiyan S.M.A., Adhami R.R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2011. № 1(12). DOI:10.1109/TITS.2010.2073466.
20. Kim Z.W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 1(9). DOI:10.1109/TITS.2007.908582.

21. Chang T.H., Hsu C.S., Wang C., Yang L.K. Onboard measurement and warning module for irregular vehicle behavior // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 3(9). DOI:10.1109/TITS.2008.928243.
22. Burgoon J.K., Twitchell D.P., Jensen M.L., Meservy T.O., Adkins M., Kruse J., Deokar A. V., Tsechpenakis G., Lu S., Metaxas D.N., Nunamaker J.F., Younger R.E. Detecting concealment of intent in transportation screening: A proof of concept // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – № 1(10). DOI:10.1109/TITS.2008.2011700.
23. Shehata M.S., Cai J., Badawy W.M., Burr T.W., Pervez M.S., Johannesson R.J., Radmanesh A. Video-based automatic incident detection for smart roads: The outdoor environmental challenges regarding false alarms // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2008. – № 2(9). DOI:10.1109/TITS.2008.915644.
24. Atev S., Miller G., Papanikolopoulos N.P. Clustering of vehicle trajectories // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2010. – № 3(11). DOI:10.1109/TITS.2010.2048101.
25. Sun Z., Bebis G., Miller R. On-road vehicle detection: A review. – № 5(28). – 2006.
26. Cherng S., Fang C.Y., Chen C.P., Chen S.W. Critical motion detection of nearby moving vehicles in a vision-based driver-assistance system // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – № 1(10). DOI:10.1109/TITS.2008.2011694.
27. Sivaraman S., Trivedi M.M. A general active-learning framework for on-road vehicle recognition and tracking // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2010. – № 2(11). DOI:10.1109/TITS.2010.2040177.
28. Gandhi T., Trivedi M.M. Pedestrian protection systems: Issues, survey, and challenges // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2007. – № 3(8). DOI:10.1109/TITS.2007.903444.
29. Zhang J., Pu J., Chen C., Fleischer R. Low-resolution gait recognition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics. – 2010. – № 4(40). DOI:10.1109/TSMCB.2010.2042166.

30. Enzweiler M., Gavrila D.M. Monocular pedestrian detection: Survey and experiments // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2009. – № 12(31). DOI:10.1109/TPAMI.2008.260.
31. Gerónimo D., López A.M., Sappa A.D., Graf T. Survey of pedestrian detection for advanced driver assistance systems // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – № 7(32). DOI:10.1109/TPAMI.2009.122.
32. McCall J.C., Trivedi M.M. Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation. – № 1(7). – 2006.
33. Gomez-Moreno H., Maldonado-Bascon S., Gil-Jimenez P., Lafuente-Arroyo S. Goal evaluation of segmentation algorithms for traffic sign recognition // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2010. – № 4(11). DOI:10.1109/TITS.2010.2054084.
34. Ruta A., Li Y., Liu X. Robust class similarity measure for traffic sign recognition // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2010. – № 4(11). DOI:10.1109/TITS.2010.2051427.
35. Bertozzi M., Broggi A., Fascioli A., Graf T., Meinecke M.M. Pedestrian detection for driver assistance using multiresolution infrared vision // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2004. – № 6(53). DOI:10.1109/TVT.2004.834878.
36. Ge J., Luo Y., Tei G. Real-time pedestrian detection and tracking at nighttime for driver-assistance systems // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – № 2(10). DOI:10.1109/TITS.2009.2018961.

References

1. Greenshields B.D. A study of traffic capacity, 14 Annual Meeting of the Highway Research Board Proceedings, 1935.
2. Ermoshin N.A., Lazarev Y.G. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa,* 2017, № 1(39), pp. 58–62.
3. Ermoshin N.A., Lazarev Y.G. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya,* 2018, № 3, pp. 35–44. DOI:10.15593/24111678/2018.03.04.
4. Ermoshin N.A. Development of Organizational and Technological Schemes of Design of Unique Transport Constructions with Use of Simulation Models, IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, № 4(753), DOI:10.1088/1757-899X/753/4/042054.

5. Makovetskaya-Abramova O., Lazarev Y., Gravit M., Silla S., Shakhova M. Multiplicative method for creating the traffic monitoring base in a megapolis, E3S Web of Conferences, 2020, (164), DOI:10.1051/e3sconf/202016403023.
6. Lazarev Y.G. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa,* 2018, № 1(43), pp. 61–65.
7. Ermoshin N.A., Lazarev Y.G., Sencov I.V. *Putevoj navigator,* 2019, № 38(64), pp. 24–31.
8. Lazarev Y.G., Sinicyna E.B. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa,* 2013, № 4(26), pp. 71–74.
9. Lazarev Y.G., Novik A.N., Simonov D.L. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2016, № 1(35), pp. 43–47.
10. Chebykin I.A. *Mir dorog,* 2012, № 131, pp. 80–82.
11. Kauf S. Smart logistics as a basis for the development of the smart city, Transportation Research Procedia, 2019, (39), DOI:10.1016/j.trpro.2019.06.016.
12. Kastrinaki V., Zervakis M., Kalaitzakis K. A survey of video processing techniques for traffic applications, Image and Vision Computing, 2003, № 4(21), DOI:10.1016/S0262-8856(03)00004-0.
13. Wang C.-C.R., Lien J.-J.J. Automatic Vehicle Detection Using Local Features—A Statistical Approach, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 1(9), C. 83–96, DOI:10.1109/TITS.2007.908572.
14. Munder S., Schnorr C., Gavrila D.M. Pedestrian detection and tracking using a mixture of view-based shape-texture models, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 2(9), DOI:10.1109/TITS.2008.922943.
15. Bi L., Tsimhoni O., Liu Y. Using image-based metrics to model pedestrian detection performance with night-vision systems, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, № 1(10), DOI:10.1109/TITS.2008.2011719.
16. Anagnostopoulos C.N.E., Anagnostopoulos I.E., Psoroulas I.D., Loumos V., Kayafas E. License plate recognition from still images and video sequences: A

survey, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 3(9), DOI:10.1109/TITS.2008.922938.

17. Barnes N., Zelinsky A., Fletcher L.S. Real-time speed sign detection using the radial symmetry detector, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 2(9), DOI:10.1109/TITS.2008.922935.
18. Baró X., Escalera S., Vitrià J., Pujol O., Radeva P. Traffic sign recognition using evolutionary adaboost detection and forest-ECOC classification, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, № 1(10), DOI:10.1109/TITS.2008.2011702.
19. Khan J.F., Bhuiyan S.M.A., Adhami R.R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, № 1(12), DOI:10.1109/TITS.2010.2073466.
20. Kim Z.W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 1(9), DOI:10.1109/TITS.2007.908582.
21. Chang T.H., Hsu C.S., Wang C., Yang L.K. Onboard measurement and warning module for irregular vehicle behavior, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 3(9), DOI:10.1109/TITS.2008.928243.
22. Burgoon J.K., Twitchell D.P., Jensen M.L., Meservy T.O., Adkins M., Kruse J., Deokar A. V., Tsechpenakis G., Lu S., Metaxas D.N., Nunamaker J.F., Younger R.E. Detecting concealment of intent in transportation screening: A proof of concept, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, № 1(10), DOI:10.1109/TITS.2008.2011700.
23. Shehata M.S., Cai J., Badawy W.M., Burr T.W., Pervez M.S., Johannesson R.J., Radmanesh A. Video-based automatic incident detection for smart roads: The outdoor environmental challenges regarding false alarms, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, № 2(9), DOI:10.1109/TITS.2008.915644.
24. Atev S., Miller G., Papanikolopoulos N.P. Clustering of vehicle trajectories, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, № 3(11), DOI:10.1109/TITS.2010.2048101.
25. Sun Z., Bebis G., Miller R. On-road vehicle detection: A review. № 5, (28), 2006.

26. Cherng S., Fang C.Y., Chen C.P., Chen S.W. Critical motion detection of nearby moving vehicles in a vision-based driver-assistance system, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, № 1(10), DOI:10.1109/TITS.2008.2011694.
27. Sivaraman S., Trivedi M.M. A general active-learning framework for on-road vehicle recognition and tracking, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2010, № 2(11), DOI:10.1109/TITS.2010.2040177.
28. Gandhi T., Trivedi M.M. Pedestrian protection systems: Issues, survey, and challenges, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2007, № 3(8), DOI:10.1109/TITS.2007.903444.
29. Zhang J., Pu J., Chen C., Fleischer R. Low-resolution gait recognition, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2010, № 4(40), DOI:10.1109/TSMCB.2010.2042166.
30. Enzweiler M., Gavrila D.M. Monocular pedestrian detection: Survey and experiments, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, № 12(31), DOI:10.1109/TPAMI.2008.260.
31. Gerónimo D., López A.M., Sappa A.D., Graf T. Survey of pedestrian detection for advanced driver assistance systems, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, № 7(32), DOI:10.1109/TPAMI.2009.122.
32. McCall J.C., Trivedi M.M. Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation. № 1(7), 2006.
33. Gomez-Moreno H., Maldonado-Bascon S., Gil-Jimenez P., Lafuente-Arroyo S. Goal evaluation of segmentation algorithms for traffic sign recognition, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, № 4(11), DOI:10.1109/TITS.2010.2054084.
34. Ruta A., Li Y., Liu X. Robust class similarity measure for traffic sign recognition, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, № 4(11), DOI:10.1109/TITS.2010.2051427.
35. Bertozzi M., Broggi A., Fascioli A., Graf T., Meinecke M.M. Pedestrian detection for driver assistance using multiresolution infrared vision, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, № 6(53), DOI:10.1109/TVT.2004.834878.

36. Ge J., Luo Y., Tei G. Real-time pedestrian detection and tracking at nighttime for driver-assistance systems, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, № 2(10), DOI:10.1109/TITS.2009.2018961.

© Кирьян И.В., Трепалин В.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» № /2022.

Для цитирования: Кирьян И.В., Трепалин В.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» № /2022.