

**СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ,
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ЖЕСТКИХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ**

© 2021 Д.Е. Чикрин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

В данной статье приведены способы автоматизации транспортных средств, которые могут эксплуатироваться в жестких внешних условиях, в частности местах добычи полезных ископаемых. Подробно представлена разработанная под руководством автора архитектура системы сенсорики, основные сценарии применения, а также описан метод прототипирования на базе малогабаритной платформы для проверки и испытания всех подсистем.

Ключевые слова: авторобот, локализация и картографирование, управление транспортным средством, машинное зрение, малогабаритная платформа.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-91-98

1. ВВЕДЕНИЕ

Разработка научно-технических решений в области элементов компонентной базы транспортных средств с автоматизированным управлением движения является одной из важнейших задач в промышленном секторе [1].

На сегодняшний день существует большое количество готовых решений по управлению теми или иными автоматизированными транспортными средствами, робототехническими системами. Общим в них является то, что управление осуществляется в автоматическом режиме без участия человека, при этом существенные различия по назначению, среде применения, масштабам поставленных задач (например, воздушные суда, малые коптеры, наземные транспортные средства (ТС), бытовые роботы) приводят существенно различию в подходах к построению систем сенсорики, требованиям к скорости реакции системы управления на изменения внешних воздействий, требованиям обеспечения безопасности и надежности. Так, система сенсорики, применяемая в бытовых роботах, не может быть использована в малых коптерах, система и соответствующие алгоритмы управления коптером не может использоваться для управления воздушными лайнерами и т.д.

Карьерные самосвалы относятся к автотранспорту, используемому в жестких внешних условиях, который представляет собой сложную динамическую систему горного производства.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, директор института Вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета. E-mail: dmitry.kfu@gmail.com

Безотказность работы карьерного автотранспорта определяет эффективность горнодобывающих и обогатительных предприятий, пунктов перегрузки добытых полезных ископаемых.

В настоящее время и ближайшее будущее основополагающей частью экономики нашей и ряда других стран является горнодобывающая промышленность, что определяет целесообразность интенсивной разработки полезных ископаемых с использованием карьерного автотранспорта и в свою очередь, позволяет разрабатывать месторождения независимо от их размеров [2, 3, 4].

В случаях разработки небольших месторождений, карьерный автотранспорт и в ближайшие десятилетия будет занимать ведущие позиции среди средств перемещения горной массы.

Целью настоящей статьи является представление результатов работы коллектива под управлением автора по разработке способов автоматизации транспортных средств, которые были получены в ходе работ по созданию систем автономного управления транспортными средствами.

Актуальность представленной тематики обусловлена с одной стороны все большим распространением автономных (беспилотных) транспортных средств и расширением сфер их применения, с другой стороны необходимостью разработки методик проектирования и апробации систем автоматизированного управления с учетом жестких требований к подобным системам.

2. РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Автономный карьерный самосвал (далее АКС) для закрытых территорий должен обеспечивать работу в 4 основных режимах:

- режим ручного управления;
- режим дистанционного управления;
- режим тактического управления;
- режим стратегического управления.

2.1. Режим ручного управления

В этом режиме управление АКС осуществляется водителем. Функции системы управления АКС для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей дорожной обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, определение дорожного полотна, границ дороги, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);
- определение положения транспортного средства в пределах заданной закрытой территории;
- индикация информации для водителя об окружающей обстановке, состоянии АКС, относительного положения АКС на территории карьера;
- прием управляющих воздействий (команд) водителя;
- управление движением в режиме ручного управления в соответствии с управляющими воздействиями водителя (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление механизмом очистки оборудования сканирования окружения, управление электрооборудованием (светотехникой и подачей звукового оповещающего сигнала), управление КОМ (коробка отбора мощности) и т.д.);
- управление экстренным торможением в случае возникновения аварийных ситуаций;
- блокировка управляющих воздействий диспетчера;
- осуществление информационного обмена между АКС и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состояние АКС, сообщений водителя (голосовая связь) и т.п.);
- интеграция системы управления АКС с информационной логистической системой предприятия (определение загруженного и разгруженного состояния, обработка команд на начало и окончание процессов загрузки и разгрузки, сохранение информации о перевозимом грузе и т.д.).

2.2. Режим дистанционного управления

Данный режим подразумевает дистанционное управление АКС диспетчером с помощью пульта. Диспетчер имеет возможность управле-

ния всеми основными узлами АКС, доступными водителю: рулевое управление, системы ускорения и торможения, система выбора режима движения, управление КОМ, управление механизмом очистки оборудования сканирования окружения, управление электрооборудованием (светотехникой и подачей звукового оповещающего сигнала) и т.д.

Функции системы управления АКС для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей дорожной обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, определение дорожного полотна, границ дороги, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);
- определение положения транспортного средства в пределах заданного закрытого помещения;
- осуществление информационного обмена между АКС и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состояние АКС, сообщений водителя (голосовая связь) и т.п.);
- интеграция системы управления АКС с информационной системой предприятия (определение загруженного (с определением степени) и разгруженного состояния, обработка команд на начало и окончание процессов загрузки и разгрузки, сохранение информации о перевозимом грузе и т.д.);
- управление движением в режиме дистанционного управления в соответствии с управляющими воздействиями диспетчера (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление механизмом очистки оборудования сканирования окружения, управление электрооборудованием (светотехникой и подачей звукового оповещающего сигнала), управление КОМ и т.д.);
- управление безопасным остановом в случае отсутствия связи с диспетчером, возникновения ошибок в системе автомобиля, влияющих на корректное движение, а также в случае отказа одного из органов технического зрения;
- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации.

2.3. Режим тактического управления

Данный режим подразумевает диспетчерское управление АКС оператором, ограничивающееся определением маршрута и пункта назначения. Управление движением в заданную точку является задачей системы управления АКС [5].

Функции системы управления АКС для данного режима:

- распознавание окружающей обстанов-

ки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей дорожной обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, определение дорожного полотна, границ дороги, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);

- определение положения транспортного средства в пределах заданной закрытой территории;

- осуществление информационного обмена между АКС и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состояние АКС, сообщений водителя (голосовая связь) и т.п.);

- интеграция системы управления АКС с информационной системой предприятия (определение загруженного (с определением степени) и разгруженного состояния, обработка команд на начало и окончание процессов загрузки и разгрузки, сохранение информации о перевозимом грузе и т.д.);

- управление движением в режиме автономного управления в соответствии с заданным маршрутом (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление механизмом очистки оборудования сканирования окружения, управление электрооборудованием (светотехникой и подачей звукового оповещающего сигнала), управление КОМ и т.д.);

- управление безопасным остановом в случае отсутствия связи с диспетчером, возникновения ошибок в системе автомобиля, влияющих на корректное движение, а также в случае отказа одного из органов технического зрения;

- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации.

2.4. Режим стратегического управления

В этом режиме от системы верхнего уровня поступает информация о конечной точке маршрута. Выбор оптимального маршрута и управление движением в заданную точку является задачей системы управления АКС [6].

Функции системы управления АКС для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей дорожной обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, определение дорожного полотна, границ дороги, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);

- определение положения транспортного средства в пределах заданной закрытой территории;

- осуществление информационного обмена между АКС и диспетчерским пунктом [7, 8] (ин-

формация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состояние АКС, сообщений водителя (голосовая связь) и т.п.);

- интеграция системы управления АКС с информационной системой предприятия [9, 10] (определение загруженного (с определением степени) и разгруженного состояния, обработка команд на начало и окончание процессов загрузки и разгрузки, сохранение информации о перевозимом грузе и т.д.);

- определение оптимальных, с точки зрения безопасности, маршрутов перевозки грузов и соответственно оперативное реагирование на информацию об изменениях состояния дорожного покрытия [11, 12];

- управление движением в режиме автономного управления в соответствии с заданным алгоритмом (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление механизмом очистки оборудования сканирования окружения, управление электрооборудованием (светотехникой и подачей звукового оповещающего сигнала), управление КОМ и т.д.) [13];

- управление безопасным остановом в случае отсутствия связи с диспетчером, возникновения ошибок в системе автомобиля, влияющих на корректное движение, а также в случае отказа одного из органов технического зрения [14, 15, 16];

- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации [17].

Представленные режимы управления АКС обеспечивают возможность эксплуатации автономных транспортных средств в жестких внешних условиях, так в зависимости от изменения внешних воздействий и поставленных задач может выбираться наиболее подходящий режим управления.

3. Архитектура системы

Командой разработчиков под управлением автора и его непосредственным участием была разработана унифицированная обобщенная архитектура сенсорики.

Работа карьерного автотранспорта, особенно в карьерах с большой глубиной разработки, имеет ряд особенностей, влияющих на его эффективность [18]:

- автодороги карьеров существенно влияют на эффективность грузоперевозок и на ресурс карьерной техники, это обусловлено значительными средневзвешенными уклонами спусков и подъемов (до 6%) и сложными маршрутами движения;

- как правило, значительная часть маршрута движения с грузом приходится на подъем;

- подавляющее большинство карьерных дорог является временным, с некачественным состоянием дорожного полотна (как правило, покрытие таких дорог щебеночное на 80-90%);

- имеет место непрерывное увеличение нагрузок на подвижной состав (в связи с углублением горных работ до 1,5-1,7 метров в месяц, а при реконструкции карьеров – до 4-5 метров в месяц);

- тяжелые климатические условия работ при эксплуатации в северных районах (перепад температур между нижней и верхней точкой карьера может достигать 20°C);

- комплексная работа карьерных автосамосвалов с мощными экскаваторами и погрузчиками с объемом ковша до 50 метров кубических влечет за собой ускоренный износ узлов и механизмов (так как они подвергаются повторно-переменным нагрузкам во время погрузки).

В соответствии с вышеперечисленными особенностями, карьерный самосвал должен обеспечивать работу в 4 основных сценариях эксплуатации:

- перемещение внутри рудных выработок с учетом информационных ограничений;

- перемещение внутри рудных выработок без информационных ограничений;

- перемещение по открытому карьере с учетом информационных ограничений и путевых меток; перемещение по условным дорогам общего пользования.

- перемещение по открытому карьере без информационных ограничений и путевых меток; перемещение по условным дорогам общего пользования.

Основное отличие в управлении карьерным самосвалом в жестких внешних условиях от стандартных автопилотов заключается в максимальном использовании SLAM (Simultaneous Localization and Mapping – алгоритмы одновременной локализации и картографирования) – алгоритмов, которые в свою очередь решают задачи собственной навигации и ориентации транспортного средства (ТС) [19, 20]. Использование SLAM позволяет транспортному средству восстанавливать карту местности совместно с оценкой положения при помощи других систем навигации (инерциальной). Учитывая повышенные требования и отличительные особенности данной системы была разработана унифицированная архитектура сенсорики ТС (рис. 1).

При помощи представленной системы сенсорики происходит сбор данных о местоположении ТС (инерциальные датчики), окружающих объектов, в частности угол и расстояние до них (лидары, сонары, радар). Также производится обнаружение различных динамических объектов, их классификация и местоположение относительно ТС (камеры) [21].

Данные, поступающие для обработки в высокоуровневый вычислитель, используются для решения задач автопилотирования, в особенности для построения дальнейшего маршрута ТС, формирование реакции на окружающую обста-

новку и непосредственно расчета управляющих команд в определенный момент времени. Далее низкоуровневый вычислитель, получив соответствующие команды, приводит в действие исполнительные механизмы ТС [22].

На основе разработанной архитектуры сенсорики были разработаны ряд беспилотных транспортных средств, соответствующих всем требованиям, предъявляемым в части надежности и безопасности их применения. Предлагаемая автором архитектура может применяться при разработке систем автоматизированного управления наземными ТС различного типа и назначения.

4. Прототипирование на базе малогабаритной платформы

В основе прототипирования лежит создание ТС малых габаритов полностью соответствующей кинематической схеме крупногабаритного ТС (в частности КАМАЗ). Малогабаритная платформа (далее МПП) будет использоваться в качестве макета для отработки основных систем и алгоритмов. Главным фактором создания МПП является безопасность отработки управляющих команд без участия человека [23, 24, 25, 26, 27], что в случае большегрузного автомобиля может представлять большую опасность. В процессе прототипирования была разработана МПП карьерного самосвала, 3D модель шасси которой представлена на рисунке 2; для данной МПП проведен ряд испытаний на модели.

МПП для карьерного самосвала должна обладать:

- 2 электрическими двигателями для привода ведущих колес (по одному на каждую из ведущих осей);

- возможностью заднего хода (для соответствия возможностям карьерного самосвала);

- стальной рамой (для обеспечения жесткости кузова);

- дифференциалом ведущих осей (необходимость применения дифференциала в конструкции привода обусловлена обеспечением возможности вращения ведущих колес с разными угловыми скоростями в поворотах, а также для неразрывной передачи крутящего момента);

- независимой подвеской поворотных осей (для обеспечения отсутствия жесткой связки колес между собой);

- амортизаторами (для гашения колебаний и поглощения толчков и ударов, действующих на МПП при движении);

- дисковыми гидравлическими тормозами приводных осей (для обеспечения эффективного торможения МПП);

- шинами пневматическими резиновыми;

- передними фарами (для обеспечения возможности использования камер МПП в условиях низкой освещенности);

- задним стоп-сигналом (для визуального контроля срабатывания тормозов).

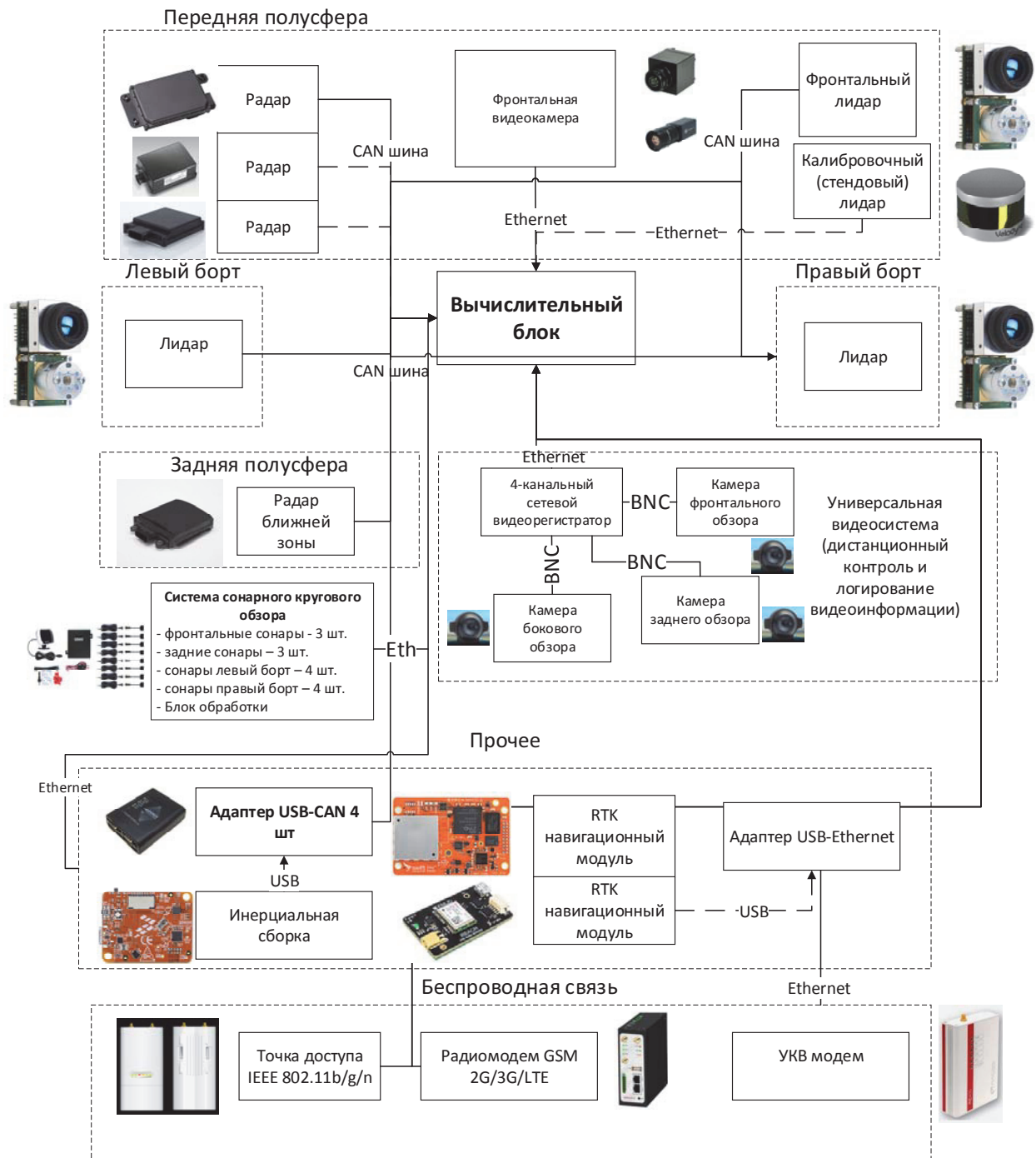


Рис. 1. Унифицированная обобщенная архитектура сенсорики

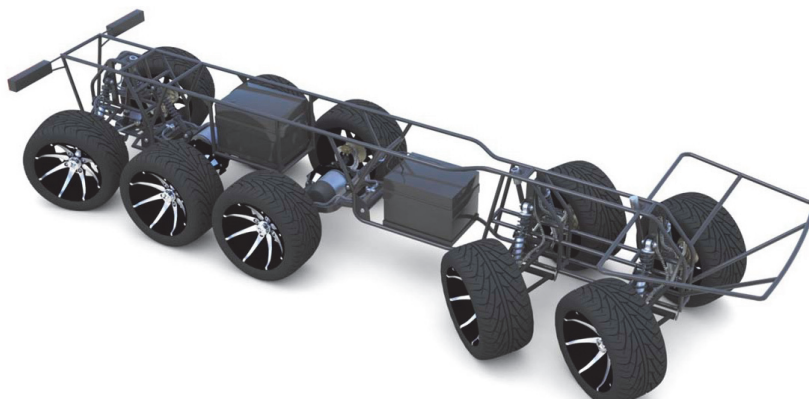


Рис. 2. Шасси малогабаритной платформы

Детали экстерьера кабины должны быть изготовлены из пластика и крепиться на внутренний каркас для обеспечения достаточной жесткости при небольшом весе. Задняя стенка кабины должны быть съемной для обеспечения доступа к исполнительным механизмам и элементам системы управления [28].

Управление поворотом колес должно осуществляться сервоприводом, через редуктор (редуктора) для обеспечения необходимого крутящего момента на рулевой колонке [29].

На основе представленной модели была изготовлена МПП, на которой были апробированы работа системы сенсорики, контуры управления ТС.

Представленный вариант прототипирования на основе создания МПП, как было выше показано, решает ряд серьезных задач, связанных с безопасностью и стоимостью отработки технических решений. Данный метод показал свою практическую эффективность при реализации ряда проектов по созданию беспилотных ТС и рекомендуется как методика отработки базовой функциональности разрабатываемых систем автоматизированного управления ТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги данной статьи, хотелось бы отметить, что данный метод решения задач построения беспилотного транспортного средства и автопилотирования в жестких внешних условиях может быть взят за основу для разработки беспилотных ТС. Использование такого метода прототипирования, как малогабаритная роботизированная платформа, помогает наиболее быстро и эффективно внедрить, а также оптимизировать алгоритмы управления ТС, минимизируя риски возникновения опасных ситуаций во время испытаний [30].

Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Научная новизна заключается в том, что в таком виде впервые сформулированы базовые принципы управления беспилотными ТС, разработана универсальная структура сенсорики на основе датчиков разного типа, которая по сути может являться прототипом широкого класса наземных беспилотных ТС различного назначения.

Практическая новизна заключается в том, что представленные решения уже сейчас используются в процессе для автоматизации конкретных ТС с учетом поставленных задач, типов ТС, условий эксплуатации, при этом основные технические решения уже заложены в универсальной структуре сенсорики, определены типы сенсоров их назначение в части контролируемых областей вокруг ТС, принципы взаимодействия на уровне интерфейсов, также детализированы основные режимы управления ТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Misener J.* Car Connectivity Coming Soon: When does it happen and what happens to transportation. — 2014. — URL: https://sfbayite.org/wp-content/uploads/2015/04/Presentation-April-2015_Qualcomm.pdf (accessed 26.07.2021).
2. *Redondo E. L., Martinez-Marin T.* A Compact Representation of the Environment and its Frontiers for Autonomous Vehicle Navigation // 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). — 2016. — P. 851-857. — DOI: 10.1109/IVS.2016.7535487.
3. A general consistent decentralized Simultaneous Localization And Mapping solution / *G. Bresson, R. Aufrère, R. Chapuis* // Robotics and Autonomous Systems. — 2015. — Vol. 74, Part A. — P. 128-147. — DOI: 10.1016/j.robot.2015.07.008.
4. A Self-correcting Localization Approach for Automobile Robots Based on the Two Dimensional LADAR / *J. Li, W. Liu, J. Wang, J. Qiao* // 2016 35th Chinese Control Conference (CCC). — 2016. — P. 6261-6265. — DOI: 10.1109/ChiCC.2016.7554339.
5. The Dutch C-ITS Reference architecture / *Passchier I., Van Sambeek M., Van Den Broek I. J. [et al.]* // Proceedings of the 11th ITS European Congress, Glasgow, Scotland. — [Glasgow], 2016. — P. 6-9.
6. *Mundhe S., Dongre M.* Traffic Congestion Control using Vehicular Ad Hoc Network // International Journal of Current Engineering and Technology. — 2014. — Vol.4, No.3. — P. 1840-1843. — URL: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2014/06/Paper1241840-1843.pdf> (accessed 26.07.2021).
7. *Gim J., Ahn C.* Ground Vehicle Localization based on Inertial Measurement Signals // 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). — 2015. — P. 1775-1779. — DOI: 10.1109/ICCAS.2015.7364638.
8. Hybrid vehicular communications based on V2V-V2I protocol switching / *A.M. Vegni, T.D.C. Little* // International Journal of Vehicle Information and Communication Systems. — 2011. — Vol. 2, no. 3/4. — P. 213-231. — DOI:10.1504/ijvics.2011.044263.
9. Interactive test tool for interoperable C-ITS development / *A. Voronov, C. Englund, H. H. Bengtsson [et al.]* // 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. — 2015. — P. 1713-1718. — DOI: 10.1109/ITSC.2015.278.
10. Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey / *K. Abboud, H. A. Omar and W. Zhuang* // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2016. — Vol. 65, no. 12. — P. 9457-9470. — DOI: 10.1109/TVT.2016.2591558.
11. Obstacle Detection for Self-Driving Cars Using Only Monocular Cameras and Wheel Odometry / *C. Häne, T. Sattler, M. Pollefeys* // 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). — 2015. — P. 5101-5108. — DOI: 10.1109/IROS.2015.7354095.
12. Online urban object recognition in point clouds using consecutive point information for urban robotic missions / *Y. Choe, S. Ahn, M. J. Chung* // Robotics and Autonomous Systems. — 2014. — Vol. 62, no. 8. — P. 1130-1152. — DOI: 10.1016/j.robot.2014.04.007.
13. Optimization of the Low-cost INS/GPS Navigation System using ANFIS for High Speed Vehicle

- Application / E. S. Abdolkarimi, M. R. Mosavi, A. A. Abedi, S. Mirzakuchaki // 2015 Signal Processing and Intelligent Systems Conference (SPIS). — 2015. — P. 93-98. — DOI: 10.1109/SPIS.2015.7422319.
14. Security of Cooperative Intelligent Transport Systems: Standards, Threats Analysis and Cryptographic Countermeasures / Hamida E.B., Noura H., Znaidi W. // Electronics. — 2015. — Vol. 4, no. 3. — P. 380-423. — DOI: 10.3390/electronics4030380.
 15. Enqvist H. Self-Driving Cars: Diffusion of Radical Innovations and Technology Acceptance : Master's Thesis. — [Lund]: Lund University, 2014. — 57, iii p. — URL: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8870585> (accessed 24.05.2021).
 16. Yudanto R. G., Petré F. Sensor Fusion for Indoor Navigation and Tracking of Automated Guided Vehicles // 2015 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). — 2015. — 8 p. — DOI: 10.1109/IPIN.2015.7346941.
 17. The Case for Cellular V2X for Safety and Cooperative Driving / 5G Automotive Association. — [2017]. — URL: <https://5gaa.org/wp-content/uploads/2017/10/5GAA-whitepaper-23-Nov-2016.pdf> (accessed 26.07.2021).
 18. A Simulation Tool Chain for Investigating Future V2X-based Automotive E/E Architectures / C. Roth, H. Bucher, A. Brito [et al.] // Proceedings of the 7th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS²). — 2014. — 10 p. — DOI: 10.5445/IR/1000079166.
 19. A V2X-based approach for reduction of delay propagation in Vehicular Ad-Hoc Networks / A. Mostafa, A. M. Vegni, R. Singoria [et al.] // 2011 11th International Conference on ITS Telecommunications. — 2011. — P. 756-761. — DOI: 10.1109/ITST.2011.6060155.
 20. An Integrated Vehicle Navigation System Utilizing Lane-Detection and Lateral Position Estimation Systems in Difficult Environments for GPS / C. Rose, J. Britt, J. Allen, D. Bevely // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2014. — Vol. 15, No. 6. — P. 2615 – 2629. — DOI: 10.1109/TITS.2014.2321108.
 21. Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. — М.: Перо, 2015. — 164 с.
 22. Strang T., Röckl M. Vehicle Networks V2X communication protocols. — [2008]. — URL: <https://www.sti-innsbruck.at/sites/default/files/courses/fileadmin/documents/vn-ws0809/11-VN-WAVE.pdf> (accessed 26.07.2021).
 23. Automated Cars: A smooth ride ahead? ITC Occasional Paper. No. 5 / Independent Transport Commission. — London: Independent Transport Commission, 2014. — 16 p. — URL: <https://www.theitc.org.uk/our-research/occasional-papers/> (accessed 24.05.2021).
 24. Cooperative-ITS Architecture and Security Challenges: a Survey / A. Boudguiga, A. Kaiser, P. Cincilla // 22nd World Congress on Intelligent Transport Systems. — 2015. — 22 p.
 25. Ansari K., Feng Y. Design of an Integration Platform for V2X Wireless Communications and Positioning Supporting C-ITS Safety Applications // Journal of Global Positioning Systems. — 2013. — Vol. 12, no. 1. — P. 38-52.
 26. Mrasz A., Nazef A. Development of a Road Deficiency GIS Using Data from Automated Multi-sensor Systems // Progress in Location-Based Services 2016. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. — Cham: Springer, 2017. — P. 233-251. — DOI: 10.1007/978-3-319-47289-8_12.
 27. Ansari K. Development of an Inter-Vehicle Communications & Positioning Platform for Transport Safety Applications: [Doctor of Philosophy thesis]. — Queensland, 2014. — xxx, 222 p. — URL: <https://eprints.qut.edu.au/72657/> (accessed 24.05.2021).
 28. User Diverse Privacy Requirements for V2X-Technology, Quantitative Research on Context-Based Privacy Aspects / Schmidt T., Philipsen R., Ziefle M. // Proceedings of the International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS 2016). — 2016. — P. 60-67.
 29. V2X cooperative systems – on the way to next generation ITS / A. Paier, R.-T. Guner, W. Bruckler // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. — 2013. — Vol. 95. — 401-410.
 30. V2X-Based Traffic Congestion Recognition and Avoidance / J. W. Wedel, B. Schünemann, I. Radusch // 2009 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks. — 2009. — P. 637-641. — DOI: 10.1109/I-SPAN.2009.71.

AUTOMATION METHODS FOR SPECIAL VEHICLES OPERATING IN HARSH ENVIRONMENTS

© 2021 D.E. Chickrin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

This paper describes the main principles for development autonomous vehicle, which could be used in harsh environment, especially in mining operations. Actually, the overall structure of system is shown which developed under the author's guidance. In addition, the main scenarios of the usage are presented. Additionally, there will be described significance of the experimental prototype for testing and checking all subsystems.

Key words: autonomous car, slam, vehicle control systems, machine vision, experimental prototype.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-91-97

*Dmitry Chickrin, Ph.D., Director of Computational Mathematics and IT Institute, Kazan Federal University.
E-mail: dmitry.kfu@gmail.com*