

УДК 629.3

ЛОГИКА И СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

© 2021 Д.Е. Чикрин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 26.08.2021

В статье представлены разработанные автором требования к ключевой подсистеме беспилотного транспортного средства (БТС): подсистеме управления, с детализацией режимов управления БТС; даются предложения по реализации трехуровневого блока управления БТС, по предложенной автором концепции «модульного крейта».

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство (БТС), усовершенствованная система помощи водителю, Модульный крейт, автопилот, сенсорики.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-96-102

1. ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные транспортные средства (БТС) за последние годы получили широкое распространение, даже с учетом того, что до сих пор нет нормативной базы, регулирующей использование БТС на дорогах общего пользования. Абсолютное большинство ведущих автопроизводителей, а также ряд IT-компаний имеют свои проекты БТС, а многие современные автомобили уже имеют ADAS (Advanced driver-assistance systems - усовершенствованная система помощи водителю) системы разного уровня автоматизации, помогающие водителям в управлении транспортным средством (ТС) (удержание автомобиля в полосе движения, автопарковщики и т.д.). Уже в ближайшем будущем продажи беспилотных автомобилей могут составить до 25% от общего объема продаж.

В существующих многочисленных публикациях по тематике наземных БТС не представлены методы и подходы к проектированию БТС; общим является то, что контур управления БТС состоит из трех основных компонентов: подсистемы сенсорики, вычислительной подсистемы и подсистемы актуаторов (исполнительных механизмов). Авторами уделяется внимание отдельным вопросам, таким, как разработка алгоритмов управления [1, 2, 3, 4, 5], системы технического зрения [6, 7, 8, 9], обеспечение информационной безопасности [10, 11] и другим.

При этом актуальными остаются вопросы, связанные с методиками разработки отдельных подсистем БТС (контур ADAS), с учетом высоких требований к надежности и достоверности их работы. В статье представлены требования к

ключевой подсистеме БТС - подсистеме управления, с детализацией режимов управления БТС; даются предложения по реализации трехуровневого блока управления БТС, реализованного в рамках концепции «модульный крейт».

2. ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ БТС

Рынок автомобильного транспорта на настоящий момент готовится к переломному моменту – выводу на массовые продажи ТС (легковых, грузовых и специализированных автомобилей) с высокой степенью автоматизации – уровня ADAS3⁺ – т.н. БТС [1, 12, 13]. Ориентировочные сроки появления серийных автомобилей всех типов с функционалом ADAS3+ это 2022 – 2025 годы. На текущий момент абсолютным большинством крупных автопроизводителей ведутся исследования и разработки в данном направлении, разработано значительное количество прототипов, предсерийных и серийных систем [14, 15].

3. СОСТАВ ПОДСИСТЕМ КОНТУРА ADAS

Основой современных БТС является контур ADAS [16], который включает в себя ряд обязательных подсистем, обеспечивающих функционирование контура ADAS и реализующих функционал сбора и обработки информации об окружающих объектах – участниках дорожного движения, обработки этой информации, выработки управляющих команд на основе целей и задач, ставящихся перед БТС и взаимодействие с подсистемами и агрегатами ТС.

*Чикрин Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, директор института вычислительной математики и информационных технологий.
E-mail: dmitry.kfu@gmail.com*

¹ ADAS – Advanced Driver Assistance Systems. До ADAS уровня 3 рассматриваются как системы помощи водителю, начиная с уровня 3 – системы ограниченного (на уровне 5 – полного) автопилотирования

Основные подсистемы контура ADAS:

- подсистема формирования навигационно-временного поля (подсистема навигации);
- подсистема реконструкции окружающей обстановки и анализа поведения акторов (подсистема сенсорики);
- телекоммуникационная подсистема;
- подсистема вычислительного и сетевого контуров;
- подсистема телеуправления, поддержки принятия решения и автопилотирования.

Процесс разработки контура ADAS должен выполняться с учетом всех указанных выше подсистем, их взаимодействия и требований по надежности и скорости формирования управляющих команд.

4. РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ БТС

4.1. Классификация режимов управления БТС различного назначения

Для современных БТС различного назначения [2, 17, 18, 19, 20] возможно выделить следующие варианты управления:

Полностью автономное управление (автопилотирование) – соответствует уровням автоматизации ТС ADAS3+.

Роевое автономное управление (роевая организация) – встречается в основном лишь в БТС военного и двойного назначения и не рассматривается в рамках данной статьи.

Централизованное автоматизированное – «стратегическое» управление (автоматизированная информационная система (АИС) управления автопарком – т.н. системы fleet management).

Высокоуровневое (супервизорное) телеуправление с поддержкой принятия решения и корректировкой цикла команд – т.н. «тактическое командное» управление.

Низкоуровневое (дистанционное, телеуправление) с полным дублированием органов управления, либо с эквивалентами органов управления.

Далее приведена авторская детализация режимов стратегического, тактического командного и телеуправления в формате, реализованном коллективом под руководством автора для серии различных БТС [21].

4.1.1. «Стратегическое» – централизованное автоматизированное управление БТС

В этом режиме от оператора поступает лишь информация о конечной точке маршрута, либо о типовом задании для БТС (обеспе-

чить забор груза, заправку, доставку в автоколоне и пр.). Выбор оптимального маршрута и управление движением является задачей системы управления [3].

Функции системы управления для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентация на местности, позволяющие 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 [22];
- осуществление информационного обмена между ТС и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состояние ТС, сообщения водителя (голосовая связь) и т.п.);
- определение оптимальных, с точки зрения безопасности, маршрутов перевозки грузов и соответственно оперативное реагирование на информацию об изменениях состояния дорожного покрытия;
- 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 (коробка отбора мощности) и т.д.) [4, 23];
- 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.

4.1.2. Супервизорное управление – с поддержкой принятия решения и корректировкой командного цикла

Данный режим подразумевает диспетчерское управление колонной ТС оператором, ограничивающееся детальным определением маршрута и отдельными корректирующими командами.

Функции системы управления для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентация на местности, позволяющие определять состояние ТС в текущей дорожной обстановке (определение подвижных и неподвижных

препятствий, определение дорожного полотна, границ дороги, идентификация людей и других ТС и т.д.);

- определение положения ТС в пределах заданной территории;

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

- 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.

4.1.3. Телеуправление (с полным дублированием органов управления) и дистанционное управление (с эквивалентами органов управления)

В этом режиме управление ТС осуществляется оператором, либо аварийным водителем-оператором (при необходимости - с сохранением функций ассистирования оператору со стороны БТС).

Функции системы управления ТС для данного режима:

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

- определение положения ТС в пределах заданной территории;

- индикация информации для водителя об окружающей обстановке, состоянии ТС, относительного положения ТС на территории использования;

- 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 и т.д.);

- управление экстренным торможением в случае возникновения аварийных ситуаций;

- блокировка управляющих воздействий автоматизированной системы диспетчеризации (команд «стратегического» и «тактического командного» режимов управления);

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

- 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.

4.2. Способ и структура реализации системы управления БТС

Система управления БТС фактически является программным ядром вычислительного контура БТС, и обеспечивает сбор всей информации одновременно с управлением БТС посредством интерфейсов сетевого контура. При этом непосредственный функционал системы управления БТС состоит из следующих модулей:

1. модуля получения и обработки данных со встроенных датчиков и взаимодействие с актуаторами автомобиля – реализация данного модуля предоставляет собой стандартную для автомобильной индустрии (не только и не столько БТС) инженерно-техническую задачу получения и интерпретации данных с автомобильных шин данных CAN/LIN;

2. модуля получения и обработки данных с сенсорики ADAS;

3. модуля обработки данных навигационно-временных оценок;

4. модуля приема-передачи и обработки данных телекоммуникационной подсистемы БТС;

5. модуля реализации режимов управления БТС – с реализацией режимов управления.

5. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ И СЕТЕВОЙ КОНТУР БТС

Автором была предложена, а впоследствии и реализована структура универсального¹ вычислительного и сетевого контуров БТС. Ниже представлены детали данной реализации, вклю-

¹ Использовалась во всех разработанных БТС под руководством автора

чая перечень используемых аппаратно-программных средств и сетевых интерфейсов взаимодействия.

5.1. Унифицированная аппаратная архитектура

На данный момент широко распространена аппаратная реализация многофункциональных бортовых систем модульной архитектуры: каждая функция, выполняемая системой, реализована в виде некоторого автономно работающего устройства со своей собственной памятью и блоком обработки (процессором). Такая архитектура называется модульным крейтом.

Несомненно, крейт дает удобство сборки из стандартных модулей, тестирования, отладки, сертификации и комплектации без модификаций многофункциональной системы, однако требует существенной нагрузки по обмену данными между автономными устройствами и существенно большего количества интерфейсов.

5.2. Масштабируемый унифицированный модульный крейт вычислительного и сетевого контура БТС

Разработанный автором модульный крейт обладает уникальной масштабируемой по производительности трехуровневой структурой с независимыми вычислителями:

Уровень «рефлексов» - вычислитель на базе высокопроизводительного автомобильного контроллера с поддержкой значительного ко-

личества шин CAN и Ethernet (пример – Infineon Aurix): обеспечивает вычисления уровня жесткого реального времени для отработки экстренных команд и событий, требуемых немедленно реагирования;

Уровень «сенсорной коры» - вычислитель на базе высокопроизводительного специализированного CUDA-совместимого ускорителя (пример – nVidia Xavier): предназначен для обработки потока данных сенсоров технического зрения и аппаратной акселерации алгоритмов машинного обучения и принятия решения;

Уровень «сознания» - вычислитель на базе высокопроизводительного процессора общего назначения с автомобильной сертификацией (пример – NXP iMX6-8): обеспечивает вычисления уровня мягкого реального времени для отработки непосредственного «поведения» на дороге, вождения БТС и плановой реакции на события дорожной сцены.

Далее приведена соответствующая разработанной эшелонной иерархии общая структурная схема построения модульного крейта БТС с указанием сетевых интерфейсов взаимодействия (рис. 1), схема сетевых интерфейсов БТС (рис. 2).

Результатом разработки структурной схемы построения модульного крейта БТС и схемы сетевых интерфейсов являются следующие принципиальные положения:

- определены составляющие модульного крейта БТС, требования к ним и варианты современных компонентов, которые могут использоваться при построении модульного крейта БТС;
- определены сетевые интерфейсы взаимо-

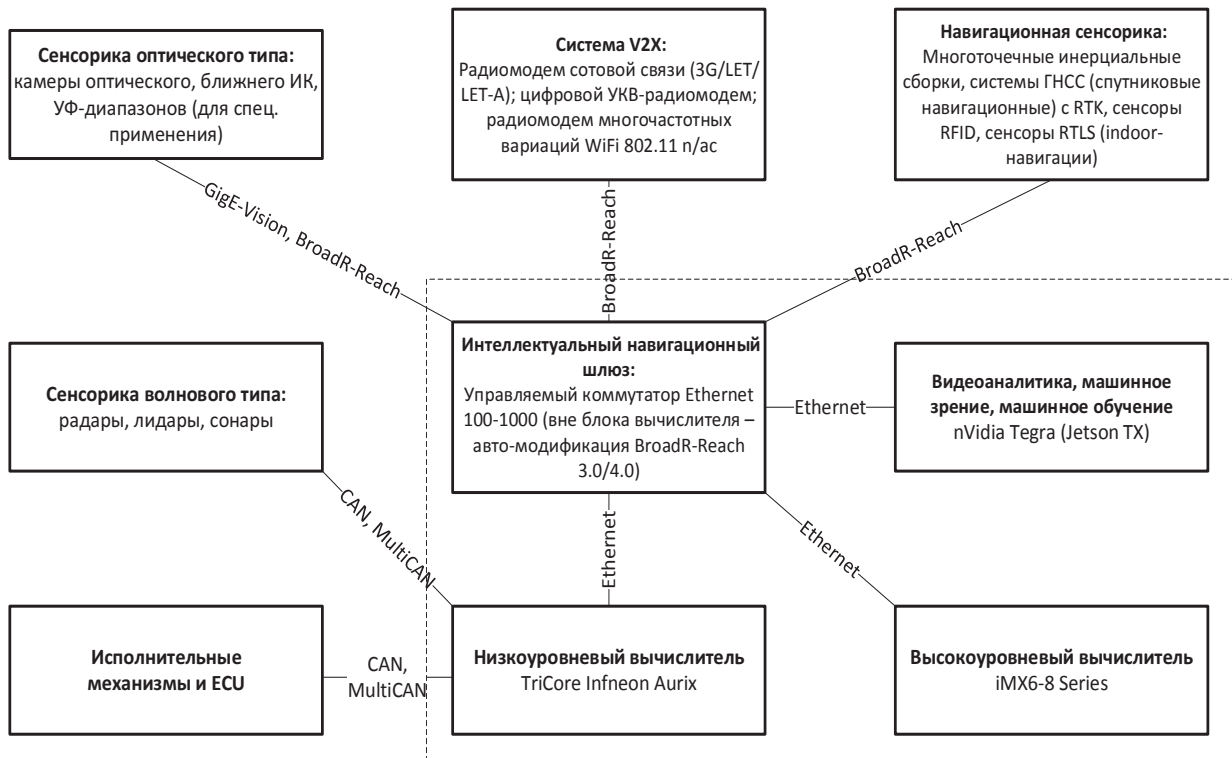


Рис. 1. Общая схема построения модульного крейта БТС с примерами элементной связи

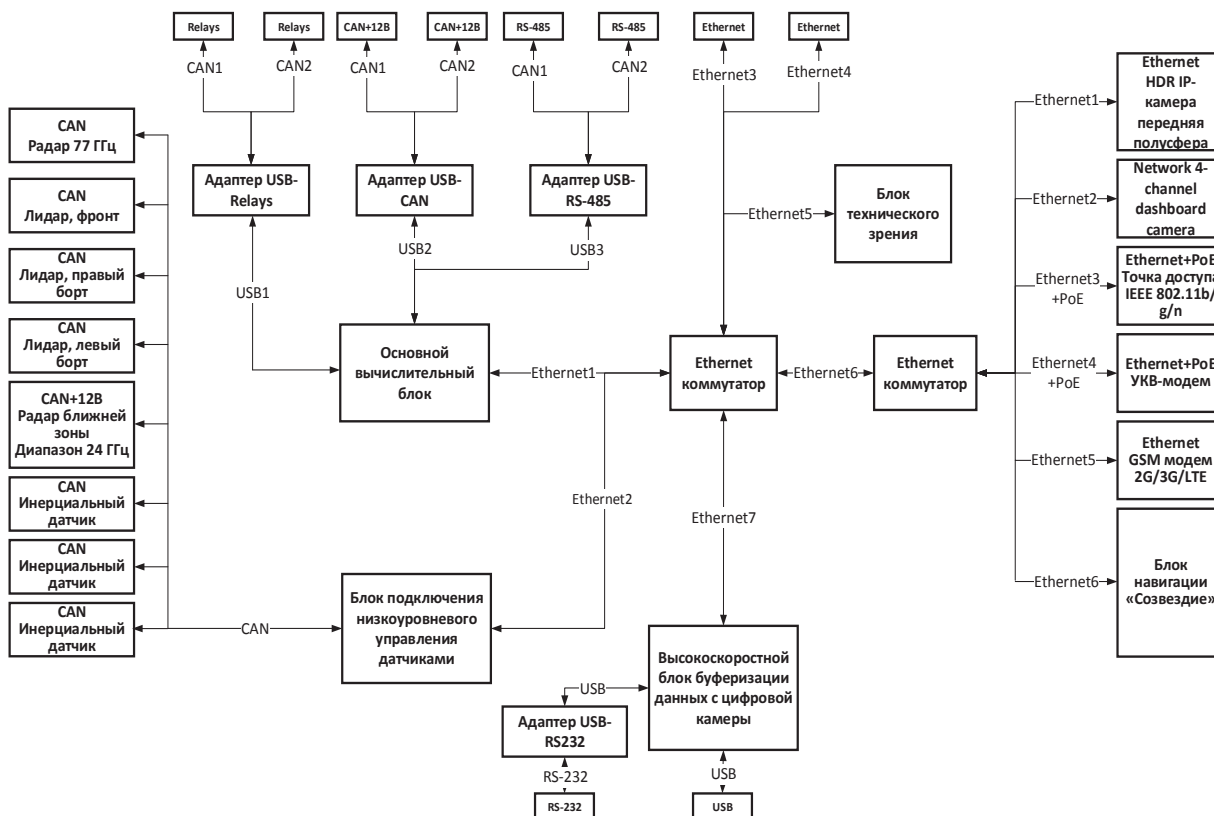


Рис. 2. Пример схемы сетевых интерфейсов БТС

действия составляющих модульного крейта БТС.

Таким образом, представленные схемы позволяют как разрабатывать модульные крейты БТС на базе выбранных компонентов, представленных на схемах, так и, основываясь на полученных решениях, разрабатывать модульные крейты БТС на базе других компонентов, являющихся актуальными на этапе проектирования БТС; при этом нет необходимости существенной переработки структуры крейта и сетевых интерфейсов взаимодействия.

5.3. Платформенный программный стек (девкит) для разработанного модульного крейта вычислительного контура БТС

Автором предлагается общий платформенный стек, полученный на основе анализа взаимодействия подсистем контура ADAS и требований безопасности [24 – 28], для разработки программных модулей различных подсистем БТС, исполняемых на вычислительном контуре БТС, состоящий из следующих подгрупп (рис. 3).

Каждый из вариантов ПО может быть заменен на аналогичный в соответствии с общей логикой и интенсивностью развития программных средств в индустрии проектирования БТС.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены результаты формализации ре-

жимов управления БТС и их реализации на базе единого решения – трехуровневого блока управления, представленного в рамках концепции «модульный крейт». Создание такого унифицированного блока управления позволяет разрабатывать так называемые «ретрофит-комплекты», используемые для централизованного оснащения различных видов техники до требуемого уровня автоматизации; детализация вопросов создания подобных комплектов прорабатывается автором для публикации в следующих работах. Также следует отметить, что под руководством автора предложенная концепция была реализована при проектировании ряда разнотипных БТС, что доказывает работоспособность и перспективность предложенного подхода. Результаты работы имеют практическую значимость при развитии направления автоматизации наземных ТС различных типов и назначения и стандартизации подходов к выполнению работ такого рода. Предлагаемые автором решения могут и должны использоваться при решении актуального вопроса преодоления правовой неопределенности в отношении использования БТС на дорогах общего пользования [10, 11, 29, 30]; для ее преодоления должны быть определены стандартные подходы и методы как к проектированию, так и к определению структуры таких систем. Подобные решения могут быть получены на основе подходов с использованием концепции «модульных крейтов».

<p align="center">Программирование ПО машинного зрения</p> <p>Программные библиотеки, <u>фреймворки</u>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>VisionWorks</u> 2. <u>OpenCV4Tegra</u> 3. <u>cuDNN</u> 4. <u>nVidia GPU Inference Engine</u> 5. <u>Jetson Multimedia API</u> <p>Язык программирования: C, C++ Среда разработки (IDE): <u>nVidia nSight Eclipse Edition</u> Операционная система: Linux for <u>Tegra</u></p>	<p align="center">Программирование и моделирование средств V2X, сетевое ПО</p> <p>Программные библиотеки, <u>фреймворки</u>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>BusyBox</u> 2. <u>Netem, DummyNet</u> 3. <u>VLC, GStreamer</u> 4. <u>Boost</u> <p>Язык программирования: AWK (скриптовый, для <u>BusyBox</u>), C++, Python Среда разработки (IDE): <u>BusyBox, Eclipse</u> Операционная система: Linux, <u>OpenWRT</u></p>	<p align="center">Программирование ПО высокого уровня (АРМ, ДК)</p> <p>Программные библиотеки, <u>фреймворки</u>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Qt</u> 2. <u>Boost</u> 3. <u>Firebird SQL</u> <p>Язык программирования: C++, SQL Среда разработки (IDE): <u>Qt Creator, Qt Designer, Firebird</u> Операционная система: Linux, Windows</p>
<p align="center">Программирование ПО вычислительного блока высокого уровня</p> <p>Программные библиотеки, <u>фреймворки</u>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Qt</u> 2. <u>OpenCV</u> 3. <u>Boost</u> 4. <u>OpenSLAM</u> 5. <u>Erika RTOS drivers</u> <p>Язык программирования: C++ Среда разработки (IDE): <u>Eclipse + RTDruid</u> Операционная система: Linux + <u>SCHED_DEADLINE, Erika Enterprise RTOS</u></p>	<p align="center">Программирование ПО бортового вычислителя низкого уровня</p> <p>Программные библиотеки, <u>фреймворки</u>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Erika RTOS drivers</u> 2. <u>HIGHTEC GCC Compiler</u> 3. <u>OpenSLAM</u> 4. <u>NXP Sensor Fusion Toolbox</u> 5. <u>Leddar SDK, Velodyne API</u> <p>Язык программирования: C, C++ Среда разработки (IDE): <u>Eclipse + RTDruid</u> Операционная система: <u>Erika Enterprise RTOS</u></p>	

Рис. 3. Платформенный стек для разработанного модульного крейта вычислительного контура БТС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Litman T.* Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. — 2021. — 46 p. — URL: <https://vtpi.org/avip.pdf> (accessed 24.05.2021).
2. *Ridley P.* Autonomous Control of an Underground Mining Vehicle / Ridley P., Corke P. // Proceedings of the 2001 Australian Conference on Robotics and Automation. — [Sydney]: [Australian Robotics and Automation Association], 2001. — P. 26–31.
3. *Tan G.* Global optimal path planning for mobile robot based on improved Dijkstra algorithm and ant system algorithm / G. Tan, H. He, S. Aaron. // Journal of Central South University of Technology volume. — 2006. — Vol. 13, no. 1. — P. 80–86. — DOI: 10.1007/s11771-006-0111-8.
4. *Савинков, П.А.* Контроль устойчивости автомобиля с оптимальным распределением тормозного момента / П.А. Савинков, Д.Е. Чикрин, Р.И. Шаги-ев // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2019. — №3. — С. 15–21.
5. *Khachumov M., Khachumov V.* (2019) Architecture and mathematical support of intelligent control system for small UAV // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 March 2019 Article number 7429752019, doi: 10.1109/ICIEAM.2019.8742975.
6. *Amosov O.S., Amosova S.G., Zhiganov S.V., Ivanov Y.S., Pashchenko F.F.* (2020) Computational Method for Recognizing Situations and Objects in the Frames of a Continuous Video Stream Using Deep Neural Networks for Access Control Systems // Journal of Computer and Systems Sciences International Volume 59, Issue 5, Pages 712 – 727, DOI: 10.1134/S1064230720050020.
7. *Kazanskiy N.L., Nikonov A.V., Doskolovich L.L.* (2020) Intelligent video systems for unmanned aerial vehicles based on diffractive optics and deep learning // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering Volume 115162020 Article number 115161Q Optical Technologies for Telecommunications, DOI: 10.1117/12.2566468.
8. *Leong W.L., Martinel N., Huang S., Micheloni C., Foresti G.L., Teo R.S.H.* (2021) An Intelligent Auto-Organizing Aerial Robotic Sensor Network System for Urban Surveillance // Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications Volume 102, Issue 2 June 2021 Article number 33, DOI: 10.1007/s10846-021-01398-y.
9. *Akbari Y., Almaadeed N., Al-maadeed S., Elharrouss O.* (2021) Applications, databases and open computer vision research from drone videos and images: a survey // Artificial Intelligence Review Volume 54, Issue 5, Pages 3887 – 3938, DOI: 10.1007/s10462-

- 020-09943-1
10. Правиков Д.И., Пономарева Е.А., Куприяновский В.П. Проблемы обеспечения информационной безопасности высокоавтоматизированных транспортных средств // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 8, no.6, 2020.
 11. Коробеев А.И., Чучаев А.И. Беспилотные транспортные средства: новые вызовы общественной безопасности. // Lex-Russica, Совершенствование законодательства NOVUS LEX, № 2 (147) февраль 2019.
 12. Bernhart W. Autonomous Driving: Disruptive Innovation that Promises to Change the Automotive Industry as We Know It / Bernhart W., Winterhoff M. // Energy Consumption and Autonomous Driving. — Cham: Springer, 2016. — P. 3-10. — DOI: 10.1007/978-3-319-19818-7_1.
 13. Перспективы развития беспилотного транспорта в России / Л.Ф. Казанская, Н.В. Свицкая, П.П. Камзол // Бюллетень результатов научных исследований. — 2018. — № 2. — С. 18-28.
 14. Automated and Autonomous Driving. Regulations under uncertainty. Corporate Partnership Board Report/International Transport Forum, Organisation for Economic Co-operation and Development. — [Paris]: [International Transport Forum], [2015]. — 33 p. — URL: <https://www.itf-oecd.org/automated-and-autonomous-driving> (accessed 24.05.2021).
 15. 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).
 16. Self-Driving Cars: A Survey / C. Badue, Rânik Guidolini, Raphael V. Carneiro [et al.] // Expert Systems with Applications. — 2021. — Vol. 165, art. no. 113816. — 27 p. — DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113816.
 17. Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. — М.: Перо, 2015. — 164 с.
 18. Dikmen M. Autonomous Driving in the Real World: Experiences with Tesla Autopilot and Summon / M. Dikmen, C. M. Burns // Automotive'UI 16: Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. [New York]: [Association for Computing Machinery], 2016. — P. 225-228. — DOI: 10.1145/3003715.3005465.
 19. Herrmann A. Autonomous Driving: How The Driverless Revolution Will Change The World / Herrmann A., Brenner W. Stadler R. — Bingley: Emerald Publishing, 2018. —xiii, 445 p.
 20. Özgüner U. Autonomous ground vehicles / U. Özgüner, T. Acarman, K. Redmill. — Boston: Artech House, 2011. — 227 p.
 21. Создание автономных автомобилей КАМАЗ для закрытых территорий / Д.Е. Чикрин, А.А. Егорчев, С.В. Голоусов, П.А. Савинков [и др.] // Вестник НЦ БЖД. — 2018. — № 2 (36). — С. 137-143.
 22. Интегрированные системы высокоточной спутниково-локально-инерциальной навигации в задачах беспилотного правления транспортными средствами / Д.Е. Чикрин, П.А. Савинков, П.А. Кокунин, Р.И. Шагеев // Наноиндустрия. — 2019. — № 8 (89). — С. 49-56.
 23. Использование динамических рефлексивных графов при решении задач планирования пути и тактического управления роботизированной колесной платформой / Д.Е. Чикрин, А. А. Егорчев, С. В. Голоусов, П. А. Савинков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2018. — № 4(48). — С. 75-87.
 24. Lazaro A., Lazaro M., Villarino R., Girbau D., de Paco P. (2021) Car2car communication using a modulated backscatter and automotive fmcw radar // Sensors, vol.21, Issue 111, article number 656, DOI: 10.3390/s21113656
 25. Baek M., Mun J., Kim W., Choi D., Yim Ja, Lee S. (2021) Driving environment perception based on the fusion of vehicular wireless communications and automotive remote sensors // Sensors. vol. 21, Issue 5, pp. 1 – 291, article number 1860, DOI: 10.3390/s21051860
 26. Wu J., Wang J., Chen Q., Yuan Z., Zhou P., Wang X.d, Fu C. (2021) Resource Allocation for Delay-Sensitive Vehicle-to-Multi-Edges (V2Es) Communications in Vehicular Networks: A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach // IEEE Transactions on Network Science and Engineering. vol. 8, Issue 2, Pages 1873 – 1886, Article number 9416164, DOI: 10.1109/TNSE.2021.3075530
 27. Bennett R., Kapp R., Botha T.R., Els S. (2020) Influence of wireless communication transport latencies and dropped packages on vehicle stability with an offsite steering controller // IET Intelligent Transport Systems. Vol. 14, Issue 7, pp. 783 – 791, DOI: 10.1049/iet-its.2019.0472
 28. Евстигнеев И.А., Шмытинский В.В. Вопросы взаимодействия беспилотных транспортных средств с дорожной инфраструктурой // Транспорт Российской Федерации, 2019. № 6(85) – С. 17-22.
 29. Покусаев О.Н., Куприяновский В.П., Катцын Д.В., Намиот Д.Е. Онтологии и безопасность автономных (беспилотных) автомобилей // International Journal of Open Information Technologies. ISSN: 2307-8162, vol. 7, no.2, 2019 – С.81-93
 30. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.03.2020 № 724-р [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации: [сайт] URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202003270016> (дата обращения: 13.03.2021). – Текст: электронный.

CONTROL SYSTEM STRUCTURE AND LOGIC FOR UNMANNED VEHICLES

© 2021 D.E. Chickrin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

The article presents the author developed requirements for the key subsystem of the unmanned vehicle: the control subsystem, with the details of the unmanned vehicle control modes; proposals are given for the implementation of a three-level unmanned vehicle control unit, according to the concept of a “modular crate” proposed by the author.

Key words: Unmanned vehicle, advanced driver-assistance systems (ADAS), Modular crate, Autopilot, Sensors.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-96-102

Dmitry Chickrin, Candidate of Engineering Sciences, Director of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies. E-mail: dmitry.kfu@gmail.com