

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

© 2024 Д.Е. Чикрин, П.А. Кокунин, Д.М. Пашин, И.Г. Галиуллин, Б.А. Тимершин

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 11.07.2024

В работе рассматриваются принципы построения архитектуры системы управления беспилотными транспортными средствами, при этом система управления рассматривается как многоуровневая иерархическая система, для такого представления системы используется аппарат, предложенный М. Месаровичем. Показано влияние назначения и условий применения беспилотной техники на архитектуру системы управления. В системе управления беспилотным транспортным средством выделяются ключевые подсистемы, для каждой из подсистем формируется слоевая (проблемная) иерархия архитектуры и эшелонная (структурная) иерархия архитектуры. На основе полученных иерархий может выполняться дальнейшая проработка подсистем путем детализации конкретных элементов, подбора компонентной базы и интерфейсов взаимодействия каждой из подсистем в общей структуре системы управления.

Ключевые слова: многоуровневая система, иерархия, страта, эшелон, слой, беспилотное транспортное средство, система управления.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-131-142

EDN: DSGPOU

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня беспилотная техника занимает важное место в различных отраслях хозяйственной деятельности. Работы в области создания беспилотных средств ведутся уже не одно десятилетие, так системы автопилотирования для летательных аппаратов появились в начале двадцатого века [1], системы автоматического управления рельсовым транспортом (Automatic Train Operation) начали свое развитие с начала 60х годов двадцатого века в Великобритании [2]. Ели

рассматривать наземный нерельсовый транспорт, то можно отметить, что на применение беспилотного наземного транспорта накладывается ряд ограничений, среди которых и нормативная база, которая должна регулировать использование беспилотных транспортных систем (БТС) на дорогах общего пользования и особые условия использования БТС, которые определяются высокими скоростями движения, наличием других участников движения, ограниченные полосы движения и т.д. При этом автопроизводители в рамках концепции ADAS применяют в автомоби-

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, директор Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии КФУ. E-mail: dmitry.kfu@ya.ru SPIN-код: 5176-2856, Author ID: 797533, ORCID: 0000-0003-1358-8184, Scopus Author ID: 37107321200.

Кокунин Петр Анатольевич: кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой физики перспективных технологий и материаловедения Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии КФУ. E-mail: pkokinin@mail.ru Web of Science Research ID: D-3511-2015, ORCID: 0000-0002-3777-6414, Scopus Author ID: 56449394200.

Пашин Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности КФУ, научный руководитель Института искусственного интеллекта, робототехники

и системной инженерии КФУ. E-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com Web of Science Researcher ID: G-8787-2017.

Галиуллин Искандер Гаязович: соискатель ученой степени кандидата наук, директор кадрово-ресурсного центра ИТ, ИИ и робототехники Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии КФУ. E-mail: isgaliullin@gmail.com SPIN-код: 5457-7607, Author ID: 1215074, ORCID: 0000-0003-3583-3478, Web of Science Researcher ID: ABA-3108-2021.

Тимершин Булат Айратович: аспирант ИВМиИТ, техник-программист сектора разработки встраиваемых систем Научно-исследовательского центра «Центр превосходства «Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий. E-mail: btimershin99@xmail.com SPIN-код: 2890-5364, Author ID: 54602936, ORCID: 0009-0007-2574-2210.

лях различные системы, которые направлены на повышение безопасности, при этом с развитием систем ADAS уровень автоматизации транспортных средств возрастает.

Сегодня широкое применение находят беспилотные летательные аппараты (БЛА) коптерного типа различной конфигурации, они широко применяются в решении задач дистанционного зондирования земли, задачах точного земледелия. Развитие технологий сделали БЛА доступными настолько, что сегодня уже вводятся ограничения по их применению, тем не менее эта тема остается актуальной и активно развивается и в части расширения областей применения БЛА, и в части применяемых технологий для построения БЛА и системы управления БЛА.

В 2022 году Росстандарт утвердил серию государственных стандартов, определяющих использование искусственного интеллекта, при построении беспилотных транспортных средств. Следует отметить, что в этих стандартах определены как терминология [3], применяемая при разработке БТС, так и состав функциональных подсистем [4], где определены какие компоненты должны применяться для решения определенных задач. В стандартах [5-7] определяют требования к применяемым алгоритмам, которые решают задачи автоматизации ТС с использованием искусственного интеллекта, а также работу с данными, получаемыми от различных видов сенсоров. Таким образом, построение наземных БТС уже регулируется государственными стандартами, которые предъявляют ряд требований к архитектуре системы управления и алгоритмам, решающим задачи автоматизации БТС.

Как было сказано выше к системе управления наземным БТС предъявляются требования, которые обусловлены рядом особенностей:

1) соотношение размеров транспортного средства и ширины полос движения, что влияет на возможность совершать маневры при движении;

2) большие скорости движения, которые с учетом первого пункта становятся критичными при принятии управляющих решений при изменении дорожной обстановки;

3) наличие специфичной дорожной инфраструктуры;

4) наличие других участников дорожной обстановки.

Эти ограничения оказывают существенное влияние на принципы построения систем управления БТС (СУ БТС). В настоящей работе рассматриваются принципы построения систем автоматического управления наземными беспилотными транспортными средствами (БТС).

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АРХИТЕКТУРУ СУ БТС

Можно отметить, что на архитектуру СУ БТС существенное влияние оказывают два фактора, из которых формируются большинство остальных требований, это:

- назначение БТС;
- условия использования БТС.

Рассмотрим какое влияние оказывают эти факторы на сложность постановки задачи построения СУ БТС для дорог общего пользования. Для случая БТС используемого на дорогах общего пользования с скоростями движения до 60 км/ч, при движении на дорогах с несколькими полосами, перекрестками, которые регулируются светофорами и другими участниками дорожной обстановки, другими транспортными средствами. Даже при такой постановке, а именно исключении нерегулируемых перекрестков, отсутствии пешеходных переходов и т.д. условия к системе управления БТС достаточно серьезные. Так СУ БТС, кроме ведения БТС по заданному маршруту, должна реагировать на изменения дорожной обстановки, такие как появление препятствий на пути следования БТС. В этом случае СУ БТС должна распознать ситуацию – определить, что на пути следования появился объект, снизить скорость и остановиться, либо объехать препятствие, если это возможно. Вторым вариантом также требует решение ряда задач, таких как выбор полосы для объезда, определение свободна ли выбранная полоса, выполнение маневра по объезду. Также следует учитывать максимальную скорость движения БТС, которая задает требования к быстродействию системы, но не полностью, на быстродействие системы влияют еще два фактора – дальность обнаружения объектов БТС (определяется характеристиками сенсоров) и дальность появления объектов на пути БТС (вероятностная характеристика, определяется на основе исследований вероятностных свойств событий дорожной обстановки для определенных условий) [8].

При построении СУ БТС дополнительно необходимо учитывать структуру интервала времени от момента возникновения дорожного события до момента отработки актуаторами БТС решений, принятых системой по результатам анализа изменения дорожной обстановки. Примерная структура времени отработки представлена на рисунке 1, здесь T_1 – время реакции сенсора на появление объекта (внутренняя обработка сигналов в сенсоре), T_2 – время передачи данных в блок обработки высокого уровня (время определяется используемыми интерфейсами и протоколами, выбранными при разработке архитектуры системы управления БТС), T_3 – время обработки данных от сенсора и при-

нятия решения в блоке обработки высокого уровня (определяется выбранной архитектурой блока обработки высокого уровня, методами, алгоритмами обработки информации и их программной реализацией), T_4 – время передачи управляющего решения в блок низкоуровневого управления, T_5 – время обработки в блоке низкоуровневого управления (определяется выбранной архитектурой блока низкоуровневого управления и программной реализацией алгоритмов), T_6 – время передачи команд управления актуаторам (определяется используемым интерфейсами), T_7 – время реакции актуаторов на команды управления от блока низкоуровневого управления (определяется типом актуаторов (рулевое управление, система торможения, система подачи топлива и т.д.), его конструкцией (электронный, гидравлический и т.д.).

Таким образом, для варианта достаточно упрощенных условий применения БТС сформировался следующий перечень требований, которые должны учитываться при разработке архитектуры системы управления БТС:

- 1) скорость движения БТС;
- 2) наличие нескольких полос движения;
- 3) наличие регулируемых светофорами перекрестков;
- 4) наличие других участников дорожной обстановки;
- 5) вероятностный характер изменения дорожной обстановки (появление препятствий на пути следования БТС);
- 6) дальность обнаружения препятствий на пути следования БТС (определяется характеристиками сенсоров и методами обработки данных от сенсоров);
- 7) временные характеристики компонентов системы управления БТС, описанные во временной структуре интервала от возникновения события до отработки актуаторами управляющих решений (T_Σ).

Если перейти к другим видам наземной техники, например к тракторной технике, то ряд требований может существенно поменяться, что

повлияет и на архитектуру системы управления, отметим какие параметры могут измениться:

- скорость передвижения;
- тип подстилающей поверхности, на которой применяется транспортное средство;
- отсутствие дорожной разметки, перекрестков, дорожных знаков и светофоров;
- ограниченное количество других транспортных средств, которые могут оказывать влияние на эксплуатацию транспортного средства; и т.д.

Таким образом, видно, что изменение указанных выше двух факторов (условия использования и назначение БТС) существенно влияет на архитектуру СУ БТС.

ТИПОВАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БТС

Тематика разработки средств управления наземных беспилотных транспортных средств последние двадцать лет очень популярна, о чем свидетельствуют и многочисленные публикации, и большое количество решений в области автоматизации систем управления автопроизводителями. При этом есть базовая архитектура системы управления БТС, которая может быть представлена в следующем виде (рисунок 3), часто встречается в таком или несколько преобразованном виде в различных публикациях [9 – 11].

Часто в публикациях архитектура СУ БТС представляется в виде базовых компонентов, без конкретизации конкретных типов этих компонентов, типов интерфейсов и алгоритмов работы таких систем. Такие данные являются результатом интеллектуальной деятельности конкретных коллективов и коммерческой тайной компаний.

Таким образом несмотря на то, что обобщенная архитектура системы управления БТС является открытой, при разработке реально работающей системой управления транспортным средством проектировщики сталкиваются с трудностями, которые связаны с большим ко-

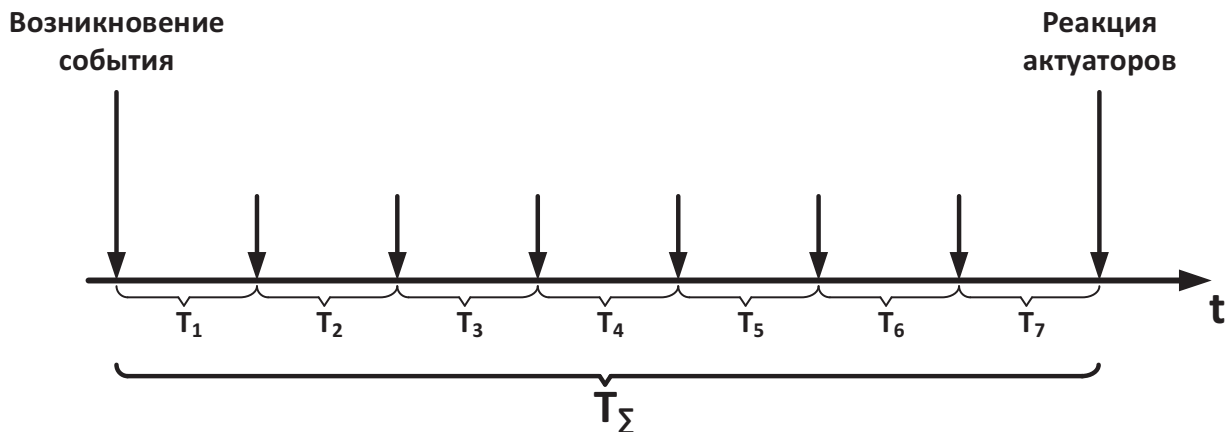


Рисунок 1 – Структура временного интервала от возникновения события до реакции актуаторов БТС

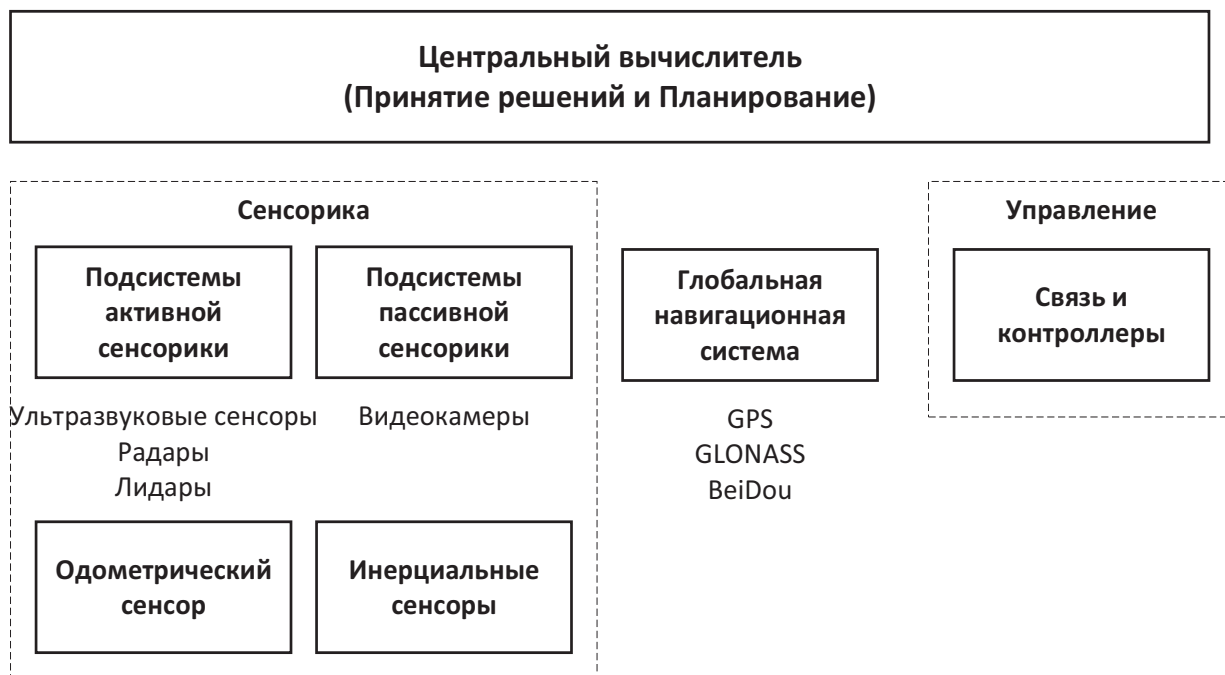


Рисунок 2 – Типовая архитектура системы управления БТС

личеством входных параметров, как это было показано во введении. Чтобы разработать конкретную архитектуру СУ БТС необходима методика, которая бы позволяла систематизировать перечень входных параметров, требования к БТС в части назначения и условий эксплуатации, создать шаблоны на основе которых будут разрабатываться требуемые, масштабируемые архитектуры систем управления БТС. Такой подход, представлен в следующем разделе данной работы.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ

Системы управления БТС (СУ БТС) являются сложными аппаратно-техническими комплексами со специализированным многоуровневым программным обеспечением. СУ БТС может быть представлена многоуровневой иерархической системой, для ее описание удобно использовать аппарат, предложенный М. Месаровичем в работах [13, 14]. Предложенный подход обеспечивает определенную простоту построения и отображения систем, при этом сохраняется целостное представление о системе и обеспечивается детализация описания, что дает необходимую информацию о многочисленных особенностях конкретного объекта и его компонентов. Обеспечивается это стратифицированием системы по Месаровичу, то есть определением СУ БТС семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования – так называемой страты. Для каждой выделенной страты существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых опи-

сывается поведение системы на данном уровне.

Для уменьшения неопределенности ситуации определяется совокупность последовательно решаемых проблем. Выделяются уровни сложности принимаемого решения – слои. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей определяло бы ограничения при моделировании на нижележащем уровне, а, следовательно, снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы. СУ БТС так же может быть представлена в виде многоэшелонной иерархической структуры. В данном случае СУ БТС представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем. При этом некоторые подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем, так называемая многоэшелонная структура, определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений. Причем эти решения могут отличаться от тех, которые бы выбрал вышестоящий уровень. Предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования. Подсистемам предоставляется определенная свобода в выборе целей, поэтому многоэшелонные структуры называют также многоцелевыми. В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений. При предоставлении под-

системам прав самостоятельности они могут формировать противоречащие друг другу цели и решения, что затрудняет управление, но является в то же время одним из условий повышения эффективности функционирования СУ БТС. Разрешение конфликтов достигается путем вмешательства вышестоящего эшелона. При этом управляющие воздействия, поступающие для разрешения этих противоречий со стороны вышестоящих уровней иерархии, могут быть разной силы.

Подсистемы СУ БТС могут быть представлены в виде двухуровневой стратифицированной иерархии (рисунок 3), как предложено в работе [15], здесь выделяются функциональная страта, страта аппаратного обеспечения и страта программного обеспечения.

Страта функционального уровня регламентируется стандартами SAE International, в которых описываются уровни автоматизации и основной функционал, реализованный на каждом из этапов автоматизации транспортных средств [16]. На рисунке 4 представлена схема с описанием уровней автоматизации с описанием функционала.

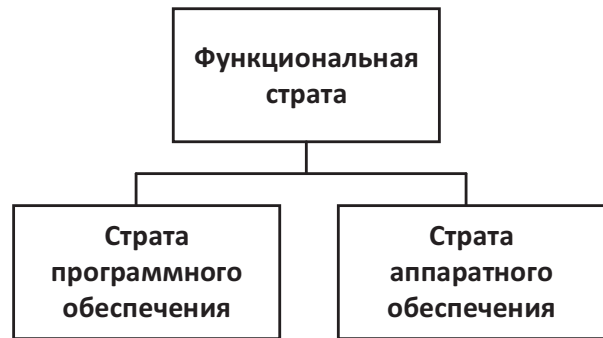


Рисунок 3 – Представление системы управления БТС, как двухуровневой стратифицированной иерархии

Дальнейшая детализация в рамках принятой концепции будет направлена на страты аппаратного и программного обеспечения. В рамках данных страт будут определены подсистемы, решающие задачи по обеспечению автоматического управления БТС. По каждой из систем будут определены слоевая иерархия, определяющая проблемную сторону системы и эшелонная иерархия, определяющая структуру подсистемы.



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

| | SAE LEVEL 0™ | SAE LEVEL 1™ | SAE LEVEL 2™ | SAE LEVEL 3™ | SAE LEVEL 4™ | SAE LEVEL 5™ |
|--|---|--------------|--------------|--|--|--------------|
| What does the human in the driver's seat have to do? | You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering | | | You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat” | | |
| | You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety | | | When the feature requests, you must drive | These automated driving features will not require you to take over driving | |

Copyright © 2021 SAE International.

| | These are driver support features | | | These are automated driving features | | |
|----------------------------|---|---|---|---|--|---|
| What do these features do? | These features are limited to providing warnings and momentary assistance | These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver | These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver | These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met | This feature can drive the vehicle under all conditions | |
| Example Features | <ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning | <ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control | <ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time | <ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur | <ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed | <ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions |

Рисунок 4 – Описание уровней автоматизации



Рисунок 5 – Структура системы управления БТС

На рисунке 5 представлены подсистемы, входящие в состав СУ БТС, это подсистема формирования навигационно-временного поля, подсистема реконструкции окружающей обстановки, вычислительный контур, телекоммуникационная подсистема.

Рассмотрим подсистему формирования навигационно-временного поля в формате слоев – проблемной иерархии. Основными элементами этой подсистемы являются система спутниковой навигации, автономная

система навигации и ориентации и система дифференциальных поправок, предоставляющая уточняющую информацию для повышения точности получаемых навигационных оценок. Данные подсистемы определяют слоевую иерархию подсистемы формирования навигационно-временного поля, представленную на рисунке 6.

В соответствии с полученной обобщенной проблемной иерархией формируется структурная (эшелонная) иерархия архитектуры подси-

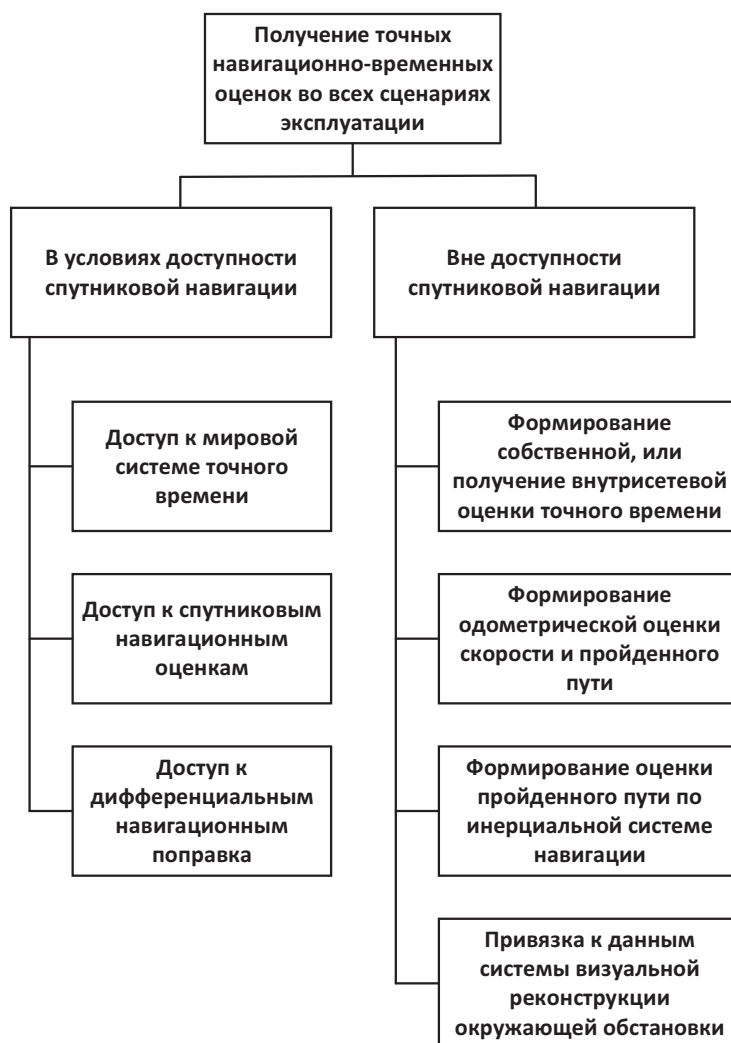


Рисунок 6 – Слойная иерархия архитектуры подсистемы формирования навигационно-временного поля



Рисунок 7 – Эшелонная иерархия архитектуры подсистемы формирования навигационно-временного поля

стемы формирования навигационно-временного поля, которая представлена на рисунке 7.

При решении задач реконструкции окружающей обстановки, постановка рассматривается в рамках концепции SLAM (Simultaneous localization and mapping) и DATMO (Detection And Tracking Of Moving Objects) [17], в результате слоевая (проблемная) иерархия архитектуры подсистемы реконструкции окружающей обстановки может быть представлена в виде рисунок 8.

При определении структуры подсистемы реконструкции окружающей обстановки рассматриваются типы применяемых сенсоров с учетом их характеристик, назначения и условий применения, в результате может быть сформирована эшелонная (структурная) иерархия архитектуры подсистемы реконструкции окружающей обстановки, представленная на рисунке 9.

Требования к вычислительному контуру СУ БТС определяются необходимостью решения задач сбора и обработки данных со всех подсистем СУ БТС, обеспечением вычислительными

ресурсами для реализации режимов управления БТС. На основе анализа этих задач слоевая (проблемная) иерархия архитектуры вычислительного контура СУ БТС может быть представлена в виде (рисунок 10).

Вычислительный контур может быть реализован с использованием принципов модульной архитектуры, когда каждый крупный функциональный блок реализован в виде некоторого автономно работающего устройства со своей собственной памятью и блоком обработки (процессором). Такая архитектура называется модульным крейтом. В соответствии с таким принципом сформирована эшелонная (структурная) иерархия архитектуры вычислительного контура (рисунок 11).

Требования к телекоммуникационной подсистеме определяются:

- 1) структурой трафика в СУ БТС;
- 2) режимами управления БТС;
- 3) сценариями эксплуатации БТС;
- 4) требованиями к аппаратному обеспечению



Рисунок 8 – Слоевая (проблемная) иерархия архитектуры подсистемы реконструкции окружающей обстановки

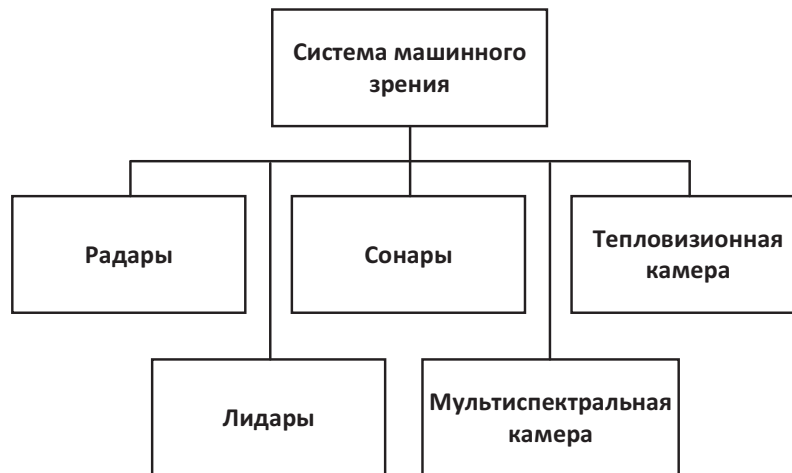


Рисунок 9 – Эшелонная (структурная) иерархия архитектуры подсистемы реконструкции окружающей обстановки



Рисунок 10 – Слоевая (проблемная) иерархия архитектуры вычислительного контура СУ БТС

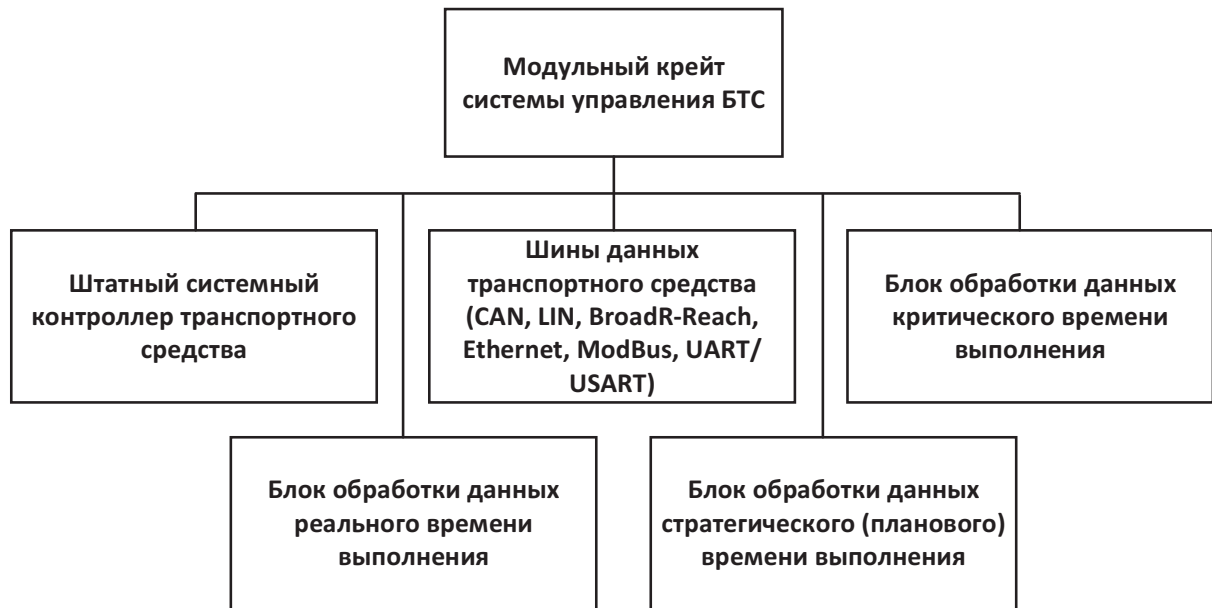


Рисунок 11 – Эшелонная (структурная) иерархия архитектуры вычислительного контура БТС

нию для каждого типа трафика и группы управляющих команд.

В результате слоевая (проблемная) и эшелонная (структурная) иерархии телекоммуникационной подсистемы могут быть представлены в виде (рисунки 12, 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных иерархий архитектур подсистем СУ БТС может быть выполнена дальнейшая разработка архитектуры СУ БТС, с учетом условий применения и назначения БТС. Детализация может производиться по каждому выделенному компоненту с учетом выбранных аспектов, например:

1) требуемый функционал, который определяется слоевой иерархией архитектуры;

2) аппаратная реализация, которая определяется эшелонной иерархией архитектуры.

Следует отметить, что представленные иерархии обладают определенной избыточностью, например, если мы рассмотрим автоматизацию тракторной техники, то требования к ряду компонентам вычислительного контура и телекоммуникационной подсистемы снижаются, при этом обеспечивается требуемая надежность работы СУ БТС, так, например в телекоммуникационной подсистеме БТС тракторного типа не требуется организация канала V2P (Vehicle-to-pedestrian), так как на обрабатываемых тракто-

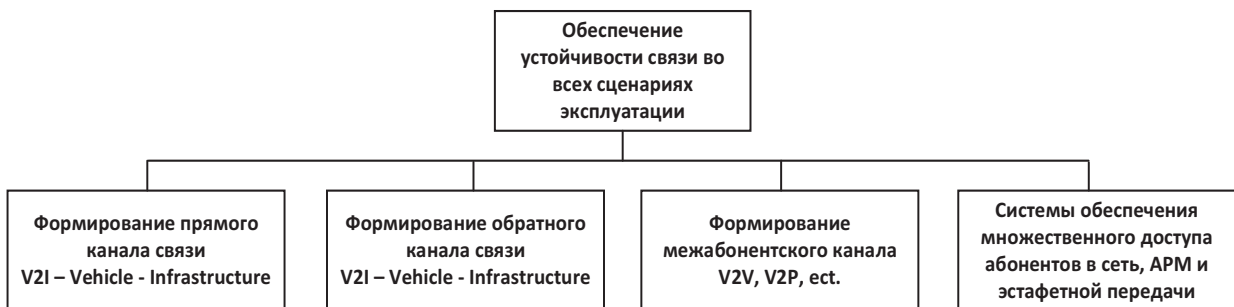


Рисунок 12 – Слоевая (проблемная) иерархия архитектуры телекоммуникационной подсистемы



Рисунок 13 – Эшелонная (структурная) иерархия архитектуры телекоммуникационной подсистемы

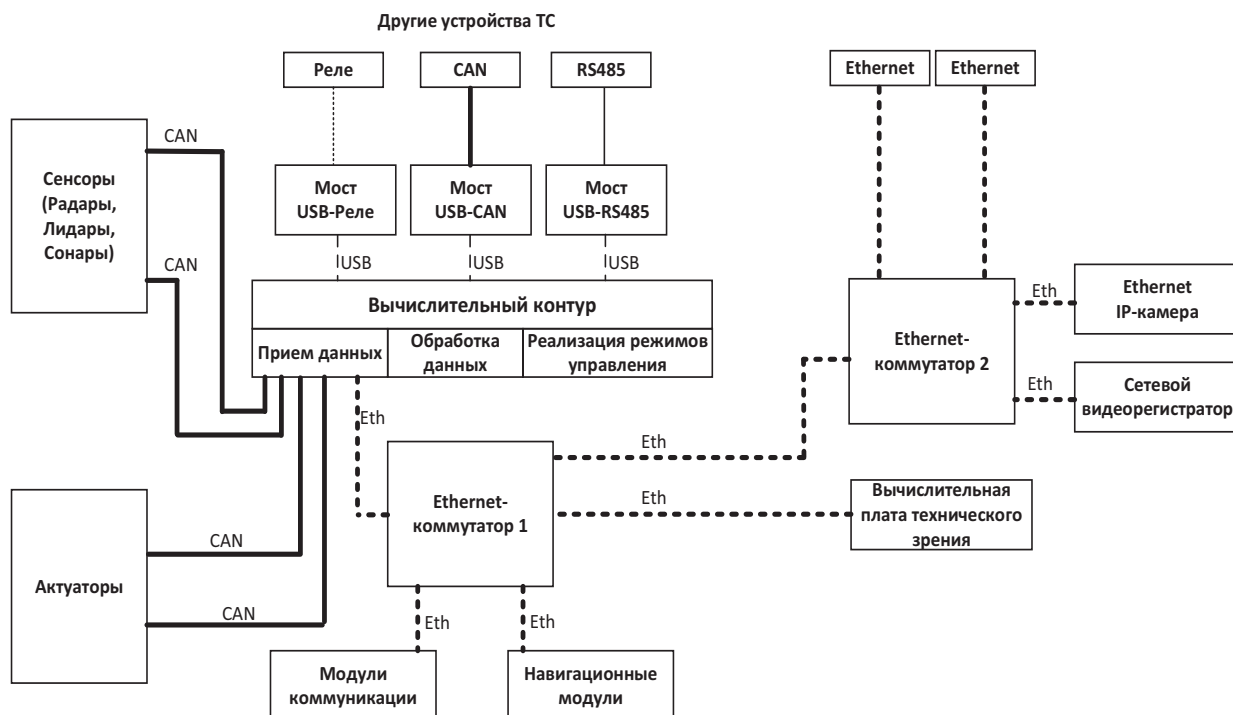


Рисунок 14 – Детализация архитектуры СУ АТС в части интерфейсов

ром территориях нет пешеходов, в архитектуре вычислительного контура меньшие требования предъявляются к системам критического времени исполнения и т.д.

Пример детализации архитектуры СУ АТС в части интерфейсов взаимодействия отдельных компонентов представлена на рисунке 14.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Automation of Planes Began 9 Years After the Wright Bros Took Flight—But It Still Leads to Baffling Disasters. – URL: <https://www.history.com/news/plane-automation-autopilot-flight-302-610> (дата обращения: 15.11.2023).
2. The First Driverless Tube Train Ran In 1963... On The District Line <https://londonist.com/london/transport/first-automatic-london-underground-tube-train-1963> – URL: (дата обращения: 15.11.2023).
3. ГОСТ Р 70249 - 2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства. Термины и определения.
4. ОСТ Р 70250 - 2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Варианты использования и состав функциональных подсистем искусственного интеллекта.
5. ГОСТ Р 70251 - 2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Си-

стемы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и распознавания препятствий.

6. ГОСТ Р 70252 - 2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и распознавания препятствий
7. ГОСТ Р 70253 - 2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к испытанию алгоритмов обнаружения и реконструкции структуры перекрестков.
8. Ефимов, А.Д. Разработка методики оценки вероятности возникновения аварийно-опасных ситуаций на улично-дорожной сети / А.Д. Ефимов, Н.А. Биюшкин // Современная наука. – 2021. – №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-otsenki-veroyatnosti-vozniknoveniya-avariyno-opasnyh-situatsiy-na-ulichno-dorozhnoy-seti> (дата обращения: 12.10.2023).
9. Климов, А.А. Архитектура автономных (беспилотных) автомобилей и инфраструктура для их эксплуатации / А.А. Климов, О.Н. Покусаев, В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley-i-infrastruktura-dlya-ih-ekspluatatsii> (дата обращения: 15.10.2023).
10. Ahmed, Q. System Architecture for Autonomous Vehicles. Encyclopedia. Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/8473> (accessed on 15 October 2023).
11. Munir, Farzeen & Azam, Shoaib & Hussain, Muhammad Ishfaq & Sheri, Ahmed & Jeon, Moongu. (2018). Autonomous Vehicle: The Architecture Aspect of Self Driving Car. SSIP 2018: Proceedings of the 2018

- International Conference on Sensors, Signal and Image Processing. 1-5. 10.1145/3290589.3290599.
12. Чикрин, Д.Е. Структура и иерархии инфокоммуникационных систем в системах помощи водителю как шаблоны проектирования подсистем беспилотных транспортных средств / Д.Е. Чикрин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 96-102.
 13. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахага. – М.: Мир, 1978. – 311с.
 14. M.D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara. Theory of hierarchical, multilevel systems. Academic Press. New York and London, 1970. – 294 p.
 15. Чикрин, Д.Е. Иерархический V-образный подход к проектированию систем ADAS / Д.Е. Чикрин, А.А. Егорчев, И.Г. Созутов // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всерос. научно-технической конф. с междунар. участием им. проф. О.Н. Пьявченко. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021.
 16. SAE Levels of Driving Automation Refined for Clarity and International Audience. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> (дата обращения: 12.10.2023).
 17. D, Prem & V, Vasudevan. (2021). SLAM – DATMO Method for an Autonomous Vehicles. 10.21203/rs.3.rs-439001/v1.

THE FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF DESIGNING INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURES FOR UNMANNED VEHICLES

© 2024 D.E. Chikrin, P.A. Kokunin, D.M. Pashin, I.G. Galilulin, B.A. Timershin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

In the paper the principles of constructing the architecture of the control system for unmanned vehicles are considered, while the control system is considered as a multilevel hierarchical system, for such a representation of the system, the apparatus proposed by M. Mesarovich is used. The influence of the purpose and conditions of use of unmanned vehicles on the architecture of the control system is shown. In the control system of an unmanned vehicle, key subsystems are identified, for each subsystem, a stratum (problematic) hierarchy of architecture and an echelon (structural) hierarchy of architecture are formed. Based on the hierarchies obtained, further development of subsystems can be carried out by detailing particular elements, selecting the component base and interfaces for interaction of each of the subsystems in the overall structure of the control system.

Key words: multilevel system, hierarchy, strata, echelon, stratum, unmanned vehicle, control system.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-131-142

EDN: DSGPOU

REFERENCES

1. Automation of Planes Began 9 Years After the Wright Bros Took Flight—But It Still Leads to Baffling Disasters. – URL: <https://www.history.com/news/plane-automation-autopilot-flight-302-610> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
2. The First Driverless Tube Train Ran In 1963... On The District Line <https://londonist.com/london/transport/first-automatic-london-underground-tube-train-1963> – URL: (data obrashcheniya: 15.11.2023).
3. GOST R 70249 - 2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Vysokoavtomatizirovannye transportnye sredstva. Terminy i opredeleniya.
4. GOST R 70250 - 2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Varianty ispol'zovaniya i sostav funkcional'nyh podsystem iskusstvennogo intellekta.
5. GOST R 70251 - 2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Sistemy upravleniya dvizheniem transportnym sredstvom. Trebovaniya k ispytaniyu algoritmov obnaruzheniya i raspoznavaniya prepyatstvij.
6. GOST R 70252 - 2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Trebovaniya k ispytaniyu algoritmov obnaruzheniya i raspoznavaniya prepyatstvij
7. GOST R 70253 - 2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Sistemy upravleniya dvizheniem transportnym sredstvom. Trebovaniya k ispytaniyu algoritmov obnaruzheniya i rekonstrukcii struktury perekrestkov.
8. Efimov, A.D. Razrabotka metodiki ocenki veroyatnosti vzniknoveniya avarijno-opasnyh situacij na ulichno-dorozhnoj seti / A.D. Efimov, N.A. Biyushkin // Sovremennaya nauka. – 2021. – №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-otsenki-veroyatnosti-vozniknoveniya-avarijno-opasnyh-situatsiy-na-ulichno-dorozhnoy-seti> (data obrashcheniya: 12.10.2023).
9. Klimov, A.A. Arhitektura avtonomnyh (bespilotnyh) avtomobilej i infrastruktura dlya ih ekspluatatsii / A.A. Klimov, O.N. Pokusaev, V.P. Kupriyanovskij, D.E. Namiot // Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. – 2018. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobilej-i-infrastruktura-dlya-ih-ekspluatatsii> (data obrashcheniya: 15.10.2023).
10. Ahmed, Q. System Architecture for Autonomous Vehicles. Encyclopedia. Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/8473> (accessed on 15 October 2023).

11. Munir, Farzeen & Azam, Shoaib & Hussain, Muhammad Ishfaq & Sheri, Ahmed & Jeon, Moongu. (2018). Autonomous Vehicle: The Architecture Aspect of Self Driving Car. SSIP 2018: Proceedings of the 2018 International Conference on Sensors, Signal and Image Processing. 1-5. 10.1145/3290589.3290599.
12. Chikrin, D.E. Структура и иерархии инфокommunikационных систем в системах помoshchi водителю как шаблоны проектирования подсистем беспилотных транспортных средств / D.E. Chikrin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 96-102.
13. Mesarovich, M. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy / M. Mesarovich, YA. Takahara. – М.: Mir, 1978. – 311s.
14. M.D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara. Theory of hierarchical, multilevel systems. Academic Press. New York and London, 1970. – 294 p.
15. Chikrin, D.E. Ierarhicheskiy V-obraznyj podhod k proektirovaniyu sistem ADAS / D.E. Chikrin, A.A. Egorchev, I.G. Sozutov // Komp'yuternye i informacionnye tekhnologii v nauke, inzhenerii i upravlenii «KomTekh-2021»: materialy Vseros. nauchno-tekhnicheskoy konf. s mezhdun. uchastiem im. prof. O.N. P'yavchenko. – Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo YUzhnogo federal'nogo universiteta, 2021.
16. SAE Levels of Driving Automation Refined for Clarity and International Audience. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> (data obrashcheniya: 12.10.2023).
17. D, Prem & V, Vasudevan. (2021). SLAM – DATMO Method for an Autonomous Vehicles. 10.21203/rs.3.rs-439001/v1.

Dmitry Chikrin, D.Sc., Director of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics, and Systems Engineering. Email: dmitry.kfu@ya.ru; SPIN code: 5176-2856, Author ID: 797533, ORCID: 0000-0003-1358-8184, Scopus Author ID: 37107321200.

Petr Kokunin, Ph.D., Head of the Department of Physics Of Advanced Technologies and Science of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics, and Systems Engineering. E-mail: pkokunin@mail.ru; Web of Science Research ID: D-3511-2015, ORCID: 0000-0002-3777-6414, Scopus Author ID: 56449394200.

Dmitry Pashin, D.Sc., Vice-Rector for Digital Transformation and Innovation at Kazan Federal University, Scientific Supervisor of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics, and Systems Engineering. E-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com; Web of Science Researcher ID: G-8787-2017.

Iskander Galilulin, Ph.D. Candidate, Director of the Human Resources Center for IT, AI, and Robotics at the Institute of Artificial Intelligence, Robotics, and Systems Engineering. E-mail: isgaliullin@gmail.com; SPIN code: 5457-7607, Author ID: 1215074, ORCID: 0000-0003-3583-3478, Web of Science Researcher ID: ABA-3108-2021.

Bulat Timershin, Postgraduate Student of ICMIT, Programmer Technician, Embedded Systems Development Sector, Research Center "Center of Excellence "Special Robotics and Artificial Intelligence", Institute of Computational Mathematics and Information Technologies. E-mail: btimershin99@xmail.com; SPIN-code: 2890-5364, Author ID: 54602936, ORCID: 0009-0007-2574-2210.