

УДК 629.3

СТРУКТУРА И ИЕРАРХИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СИСТЕМАХ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ КАК ШАБЛОНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

© 2021 Д.Е. Чикрин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 26.08.2021

В статье представлена разработанная автором структура инфокоммуникационных систем беспилотных транспортных систем (БТС), которая объединяет основные информационные подсистемы контура управления в системах помощи водителю (Advanced driver-assistance systems – ADAS) и показывает их взаимодействие. Впервые приведен анализ архитектуры системы ADAS, как сложной системы, с точки зрения применения теории иерархических многоуровневых систем Месаровича; в соответствии с ней системы ADAS представлены (стратифицированы) в виде иерархий типа страты-слои-эшелоны. Полученный результат обладает научной новизной, так как в работе впервые применяются методы стратификации к описанию инфокоммуникационных систем ADAS. Практическая ценность результатов определяется их использованием при конструировании архитектуры ADAS и создании шаблонов проектирования инфокоммуникационных подсистем БТС.

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство, программное обеспечение, усовершенствованная система помощи водителю, сенсорика, автопилот, шаблоны проектирования.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-86-95

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент большинство основных автомобильных производителей ведут исследования и разработки по созданию безопасного беспилотного транспортного средства (БТС) с высокой степенью автономности. Для реализации этих планов необходимо вносить изменения и разработки практически во все системы транспортного средства (ТС), как в аппаратное, так и в программное обеспечение (ПО).

Современные системы помощи водителю (Advanced driver-assistance systems – ADAS) [1, 2, 3] состоят из множества подсистем, выполняющих различные функции. Их исправность и правильная работа обеспечивают безопасность и своевременное реагирование на стремительно меняющиеся дорожные условия. В зависимости от степени автономности ТС, определяется и ряд требований к БТС и его подсистемам. При этом унифицированная структура БТС и подсистем ADAS на настоящее время является слабоопределенной в разрезе унифицированных структур их создания и целей отдельных элементов.

В статье представлены результаты работы автора по анализу архитектуры системы ADAS с точки зрения применения теории иерархических многоуровневых систем Месаровича, при обеспечении простоты описания с сохранением

целостности представления о сложной системе и обеспечения необходимой детализации, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. На основе такого анализа выполнена стратификация систем ADAS, результаты которой используются для создания шаблонов проектирования инфокоммуникационных подсистем БТС.

Тематика представленной работой обладает научной новизной, что подтверждает анализ источников, представляющих работы исследованию различных систем, их анализу как сложных иерархических многоуровневых систем [4-14], который показал, что анализ архитектуры системы ADAS, как сложной системы, с точки зрения применения теории иерархических многоуровневых систем Месаровича ранее не проводился.

2. СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ADAS

2.1. Структура инфокоммуникационных систем автомобиля

Современные БТС состоят из ряда инфокоммуникационных подсистем, обеспечивающих функционирование функционала ADAS – именно они рассматриваются детально в представляемой работе (выделены жирным на рис. ниже):

- Системы формирования навигационно-временного поля.
- Системы реконструкции окружающей обстановки и анализа поведения акторов.

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

- Телекоммуникационной подсистемы БТС.
- Вычислительного и сетевого контуров БТС.
- Системы телеуправления, поддержки принятия решения и автопилотирования.

Вопросам построения функционала ADAS БТС уделяется большое внимание, о чем говорит большое количество исследований [21-30]. Однако представление ADAS БТС как единого информационного комплекса, с выделением иерархических взаимосвязей и обеспечивающего взаимодействие всех подсистем БТС, существенно влияющего на основные показатели качества системы автоматического управления, в работах не представлено.

Инфокоммуникационные системы ADAS обладают значительным количеством взаимосвязей с обобщенными стандартными инфокоммуникациями автомобиля [15], [16] – такими, как мультимедиа-подсистемой, штатным системным контроллером, наборами сенсорики и датчиков различных типов, актуаторами (исполнительными устройствами) автомобиля. Общая структурная схема ин-

фокоммуникационных систем БТС, разработанная автором, представлена на рисунке 1.

На представленной схеме показаны основные подсистемы ADAS БТС и их взаимодействие со штатными системами автомобиля. На основе данной схемы далее будет проведен анализ системы ADAS как многоуровневой иерархической системы.

2.2. Функционал и характеристические особенности ADAS0-ADAS5

В соответствии с уровнем системы автоматизации транспортного средства (в представляемой работе рассматриваются т.н. высокие уровни автоматизации ADAS3+) существенно отличается функционал и требования для БТС в целом и его подсистем [17]. В соответствии с диаграммой на рис. 2 осуществляется конструирование современных систем БТС и их подсистем в целом [18, 19].

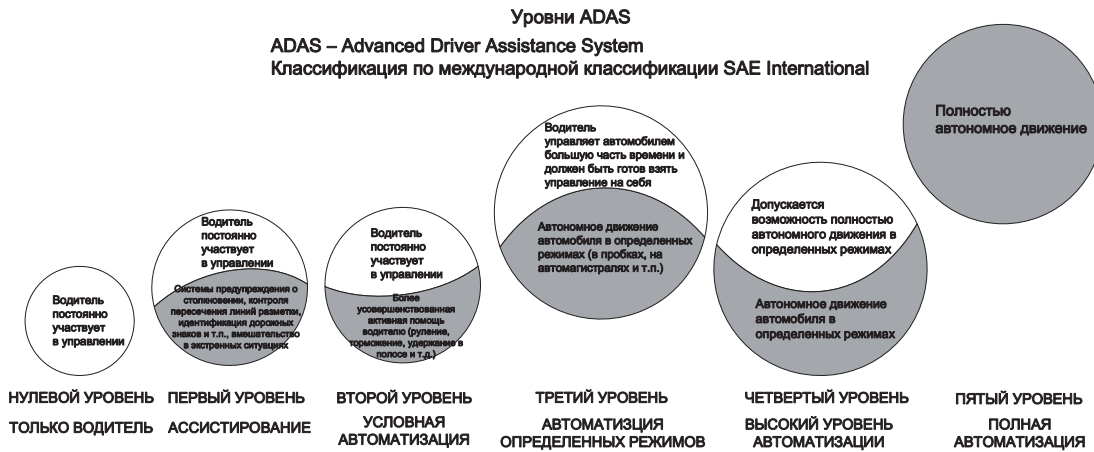


Рис. 2. Уровни ADAS



Рис. 1. Общая структурная схема инфокоммуникационных систем БТС

3. КАТЕГОРИЙНО-ПОНЯТИЙНЫЙ АППАРАТ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Системы ADAS являются сложными системами, а, следовательно, к ним применима теория иерархических многоуровневых систем Месаровича [20]. Это означает, что архитектура систем ADAS может быть представлена в виде страт, слоев и эшелонов. Следует отметить, что такое представление архитектуры ADAS делается впервые, такой подход дает возможность создания шаблонов проектирования инфокоммуникационных подсистем БТС, как было отмечено выше.

При конструировании архитектуры ADAS одна из проблем состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. Эта проблема решается обеспечением т.н. процесса стратификации системы по Месаровичу, то есть представлением ADAS в виде семейства моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования – так называемой страты. Для каждой страты существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывают поведение системы на этом уровне.

Для уменьшения неопределенности ситуации определяется совокупность решаемых проблем (задач) для достижения поставленной системной цели. 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.

Система ADAS так же может быть представлена в виде многоэшелонной иерархической структуры. В данном случае ADAS 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 – при этом эти решения могут отличаться от тех, которые бы выбрал вышестоя-

щий уровень. Предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования.

В соответствии с данной логикой проектирования далее для инфокоммуникационных систем ADAS будут приведены предлагаемые автором иерархии их построения типа страты-слои-эшелоны, [9].

3.1. Унифицированная иерархия страт систем ADAS как АПК¹

Все рассматриваемые инфокоммуникационные системы ADAS представляют собой сложные аппаратно-программные системы (АПК) и могут быть представлены в формате двухуровневой стратифицированной иерархии. Такое представление, предложенное автором, представлено на рисунке 3.

В рамках представляемой работы рассматривается именно верхнеуровневая – функциональная – страта, в связи с высоким уровнем проработанности в литературе методологий разработки микроэлектронных устройств с определенным функционалом (страта элементной базы) и отдельно программного обеспечения с заданными свойствами и характеристиками (страта программного обеспечения)².

3.2. Структура слоев навигационно-временной системы

Навигационно-временная система ADAS основывается на «трех китах» – данных спутниковых систем навигации, автономных систем навигации и ориентации и внешних уточняющих сведений (дифференциальных поправок и «графа дорог» – заранее известной структуры дорожной сцены). Данные функциональные области, в соответствии со своими взаимосвязями, представлены на разработанной автором структуре слоев навигационно-временной системы (рисунок 4).

В соответствии с принципом стратифицирования для навигационно-временной системы актуальны два основных функционала или режима функционирования:

- режим доступности спутниковой навигации – этот режим обеспечивает доступ к мировой системе точного времени, спутниковым навигационным оценкам и к дифференциальным навигационным поправкам.

- режим отсутствия доступности спутнико-

¹ АПК – аппаратно-программный комплекс

² Забегая вперед, отметим – что именно на базе семейства методологий GQM программных систем критического уровня функционирования строится одна из комбинированных методологий проектирования, предлагаемых автором



Рис. 3. Структура страт АПК

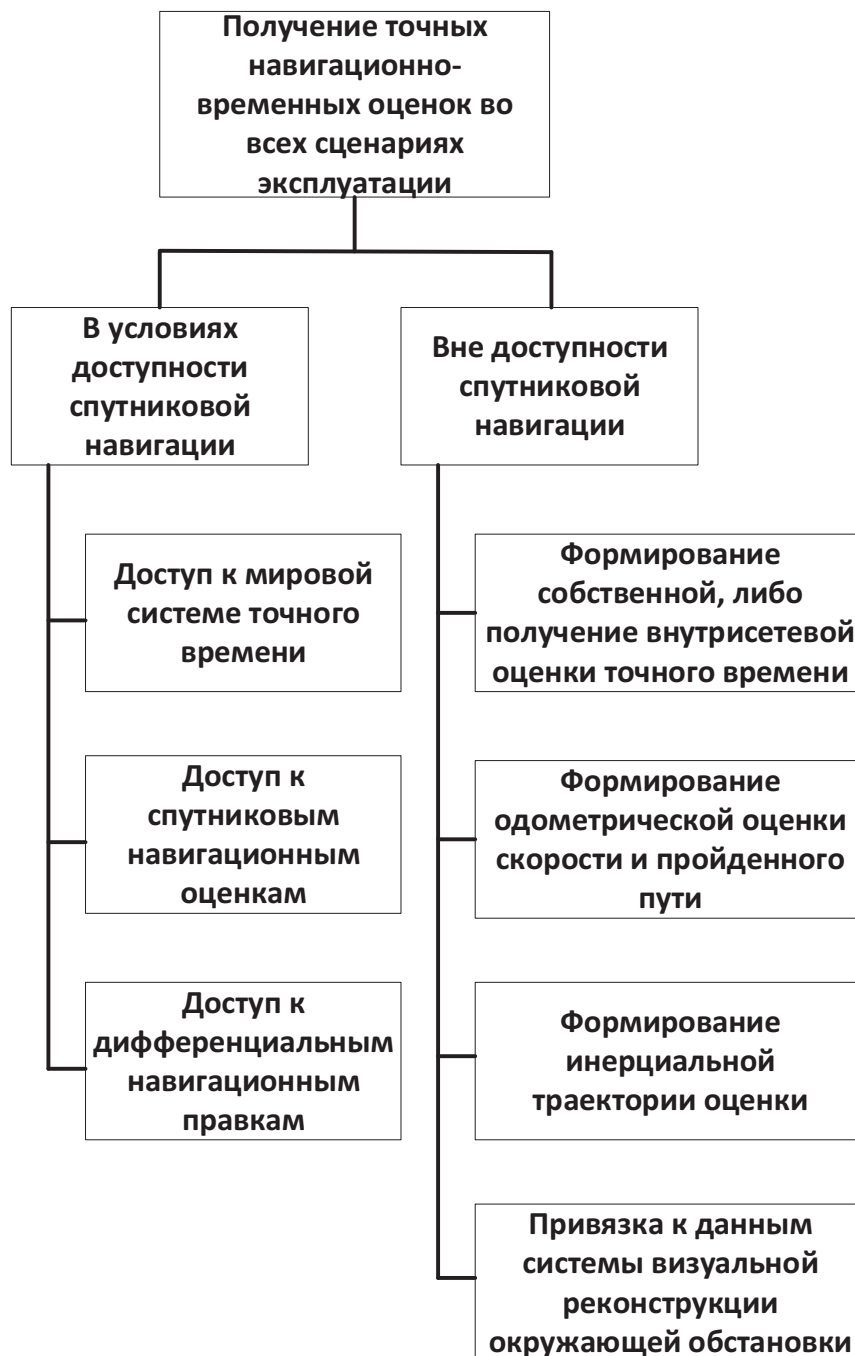


Рис. 4. Структура слоев навигационно-временной системы

вой навигации соответствует случаям, когда по какой-то из причин спутниковая система не может сформировать навигационные оценки, либо не обеспечивает требуемую точность навигационных оценок. Такая ситуация может быть в случае плохого приема сигналов системы спутниковой навигации (плохие условия приема, отсутствие прямой видимости достаточного количества спутников спутникового созвездия). В этом режиме обеспечиваются следующие функции – внутрисетевая оценка точного времени, оценка скорости и пройденного пути внутренними системами ТС, формирование траектории движения ТС посредством инерциальной системы навигации и привязка полученных навигационных данных к визуальной реконструкции окружающей обстановки.

3.3. Эшелонная структура навигационно-временной системы

Согласно выше отображенной проблемной (слоевой иерархии) становится возможным расписать структурную (эшелонную) схему навигационно-временной системы ADAS – с указанием отдельных основных типов датчиков и модулей принятия решения (в их совокупности как отдельных АПК – со своей элементной базой и встроенным ПО). Разработанная автором эшелонная структура навигационно-временной системы представлена на рисунке 5.

Эшелонная структура показывает структуру навигационно-временной системы, которая разделяется на три составляющие:

- блок спутниковой навигации, включающий

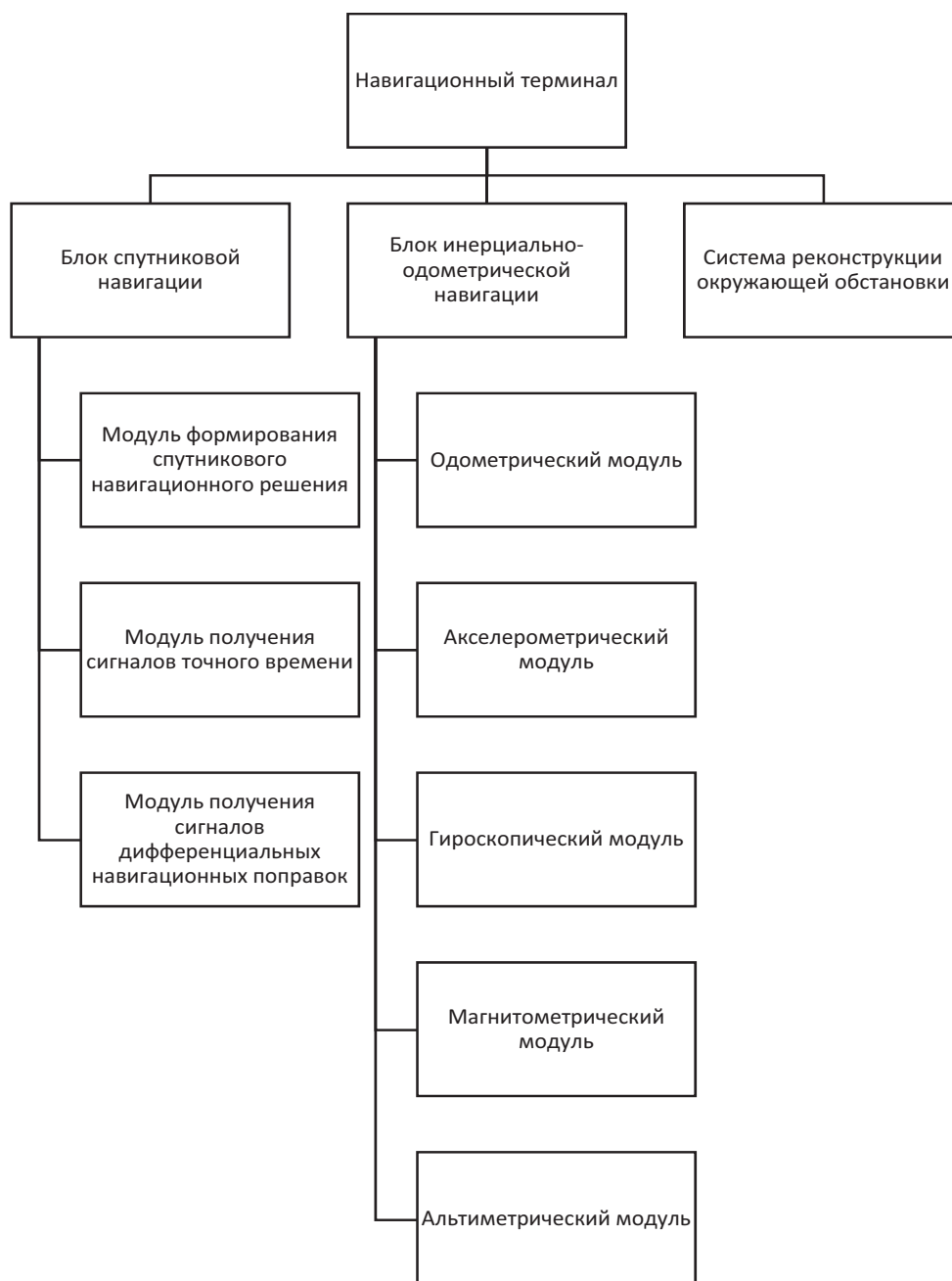


Рис. 5. Эшелонная структура навигационно-временной системы

в себя модули формирования точных навигационных оценок и точного времени;

- блок инерциальной-одометрической навигации, включающий в себя инерциальные датчики и одометрический модуль;

- система реконструкции окружающей обстановки, которая представляет собой специализированное программное обеспечение.

Данная эшелонная структура может дополняться и незначительно модифицироваться в процессе конкретных реализаций, но основные структурные элементы и их взаимодействие остаются неизменным и были реализованы в ряде проектов под руководством автора.

3.4. Структура слоев системы реконструкции окружающей обстановки

Система реконструкции окружающей обстановки является обязательной для обнаружения окружающих БТС объектов и оценок их опасности и моделей их движения. Разработанная автором структура слоев (целеполагания системы реконструкции) для БТС уровня ADAS3+ в соответствии со своими взаимосвязями, представлена на рисунке 6.

Структура слоев системы реконструкции окружающей обстановки представляет собой основной обязательный функционал систем реконструкции необходимый для решения задач автоматизированного перемещения ТС в пространстве с учетом особенностей взаимодействия ТС с объектами дорожного движения. Включает в себя формирование карты, определение участников дорожной обстановки и опре-

деление своего положения на модели движения. В свою очередь, функционал формирования карты местности включает в себя операции по определению статических и динамических объектов, их структуры. Определение акторов движения сцены – классификацию и характер их движения. Каждый из представленных функционалов может быть реализован посредством разных подходов, но их наличие является обязательным и в таком составе обеспечивает полноценной пространственной информацией контур принятия решения БТС.

3.5. Эшелонная структура системы реконструкции окружающей обстановки

В соответствии с приведенной выше иерархией слоев и основными типами существующей сенсорики, становится возможным сформировать типичную эшелонную структуру системы реконструкции окружающей обстановки БТС. Разработанная автором эшелонная структура системы реконструкции окружающей обстановки представлена на рисунке 7.

Эшелонная структура реконструкции окружающей обстановки определена с учетом высоких требований к данной системе. Основными из этих требований являются высокая вероятность обнаружения и классификации объектов дорожной обстановки и характера их поведения, высокая скорость получения данных об объектах дорожной обстановки, возможность функционирования системы в различных условиях (времени года, погодных) и обеспечение резервирования систем. Для выполнения таких



Рис. 6. Структура слоев системы реконструкции окружающей обстановки



Рис. 7. Эшелонная структура системы реконструкции окружающей обстановки

требований в системе реконструкции используются сенсоры различных типов получения информации – пассивные (мультиспектральные камеры, тепловизоры), активные (радары, лидары, сонары).

3.6. Структура слоев телекоммуникационной подсистемы БТС

Телекоммуникационная подсистема обеспечивает все виды связи, необходимые и достаточные для управления и информационного обмена с БТС. Архитектуры слоев и эшелонов телекоммуникационной подсистемы БТС разработана автором в соответствии с установившейся классификацией V2X¹ и приведены ниже (рисунок 8).

Структура слоев телекоммуникационной подсистемы определяет требуемый функционал для обеспечения информационного обмена

¹ V2X – Vehicle to Everything – телекоммуникационные системы БТС для обеспечения связи со всеми типами сторонних объектов, а также инфраструктурой ИТС – интеллектуальных дорожных транспортных систем

систем БТС с дорожной инфраструктурой, в том числе с другими участниками дорожного движения (например, системой автоматизированного движения колонн БТС) и возможности контроля и дистанционного управления БТС с АРМ оператора. Для этих целей телекоммуникационная подсистема обеспечивает формирование прямого и обратного каналов связи, межабонентского канала и множественный доступ в абонентской сети группы БТС. Данный функционал может быть расширен, но является минимально необходимым для полноценной реализации БТС с автономным и дистанционным управлением.

3.7. Эшелонная структура телекоммуникационной подсистемы БТС

В соответствии с описанным выше устройством телекоммуникационной подсистемы, становится возможным описание ее эшелонной структуры. Разработанная автором архитектура эшелонов приведена на рисунке 9.

Эшелонная структура телекоммуникационной подсистемы определяет технологии, обе-



Рис. 8. Структура слоев телекоммуникационной подсистемы



Рис. 9. Эшелонная структура телекоммуникационной подсистемы

спечаивающие функционал, определенный в структуре слоев. При этом следует учитывать, что предлагаемая на рисунке 9 структура может и должна изменяться с учетом развития технологий связи и появления новых поколений мобильной связи. Однако это не означает, что предлагаемая структура станет непригодной через определенное время, это лишь означает, что использование новых технологий обеспечит улучшение ряда характеристик и будет обеспечивать совместимость телекоммуникационной подсистемы БТС со вновь разворачиваемыми сетями с полным доступом к функционалу и характеристикам новых сетей.

3.8. Структура слоев вычислительного контура и системы принятия решений

В связи с тем, что система принятия решений по факту использует в качестве аппаратного ядра сам вычислительный контур БТС, их слоевые и эшелонные структуры возможно считать тождественными, что и показано автором на рисунке 10.

Одной из самых сложных подсистем БТС является вычислительный контур и система при-

нятия решений. В структуре слоев на рисунке 10 определены функции, которые выполняет эта подсистема. Основным принцип определения функционала – это обработка данных со всех подсистем БТС с целью принятия решений и выработки управляющих воздействий на основе заложенных алгоритмов и целей и заданий для БТС. На основе разработанной структуры слоев строится эшелонная структура.

3.9. Эшелонная структура вычислительного контура и системы принятия решений

Разработанная автором эшелонная структура вычислительного контура и системы принятия решений представлена на рисунке 11.

Эшелонная структура, представленная на рисунке 11, определяет типы блоков, реализующих функционал, определенный в структуре слоев. Указанные блоки реализуются на аппаратном и программном уровнях. Конкретная реализация вычислительного контура и системы принятия решений может быть выполнена на базе различных аппаратно-программных платформ, при этом важным является организация взаимодействия со всеми подсистемами



Рис. 10. Структура слоев вычислительного контура и системы принятия решений

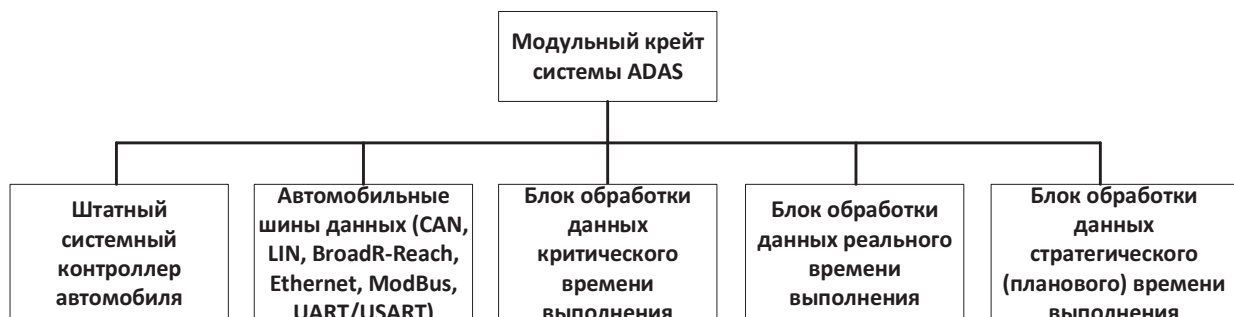


Рис. 11. Эшелонная структура вычислительного контура и системы принятия решений

БТС по стандартизированным интерфейсам и обеспечение требуемой скорости обработки данных для своевременного принятия управляющих решений. Для оптимизации распределения вычислительных ресурсов выделены отдельные блоки для обработки данных критического времени, реального времени и стратегического времени.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе сформулирован категориально-понятийный аппарат многоуровневых иерархических структур в отношении систем ADAS, произведен анализ архитектуры системы ADAS как иерархической структуры.

В результате анализа архитектуры системы ADAS была выполнена стратификация, определены страты, слои и эшелоны для навигационно-временной системы, системы реконструкции окружающей обстановки, телекоммуникационной подсистемы, вычислительного контура и системы принятия решений. Полученные иерархии построения типа страты-слои-эшелоны представляют собой шаблоны проектирования подсистем БТС, которые позволяют повысить степень унификации технических решений и способствуют выработке единого отраслевого стандарта проектирования систем ADAS.

Результаты работы обладают актуальностью и научной новизной, которые определяются большим интересом ведущих производителей мира к созданию наземных БТС и применением аппарата теории иерархических многоуровневых систем Месаровича к анализу архитектуры системы ADAS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чикрин, Д.Е. Методологии проектирования систем ADAS транспортных средств высокого уровня автоматизации [тезисы доклада пленарного заседания] / Д.Е. Чикрин // Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием им. проф. О.Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» КомТех-2021. Таганрог, 2021. URL: http://comtech.sfedu.ru/docs/comtech2021/Chikrin_ComTech-2021.pptx (дата обращения: 29.07.2021).
2. Self-Driving Cars: A Survey / Claudine Baduea, Rânik Guidolinia, Raphael Vivacqua Carneiroa [et al.] // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 165, art. no. 113816. 27 p. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113816.
3. Okuda, R. A survey of technical trend of ADAS and autonomous driving / Okuda R., Kajiwara Y., Terashima K. // Technical Papers of 2014 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test. [Hsinchu]: [IEEE], 2014. pp. 1-4, doi: 10.1109/VLSIDAT.2014.6834940.
4. G J Alter, Browne, Steven Alter. (2005) A Broad View of Systems Analysis and Design: Implications for Research // Communications of the Association for Information Systems (Volume 15, 2005) pp.981-999, DOI: 10.17705/1CAIS.01650.
5. Jiang Y., Wang M., Su Z., Yang Y., Wang H. (2021) Formal Design of Multi-Function Vehicle Bus Controller // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Volume 22, Issue 6, Pages 3880 – 3889, doi: 10.1109/ITITS.2021.3078372.
6. Pineda E.J., Ricks T.M., Bednarzyk B.A., Arnold S.M. (2021) Benchmarking and performance of the NASA multiscale analysis tool // AIAA Scitech 2021 Forum Pages 1 - 82021 AIAA Science and Technology Forum and Exposition, ISBN: 978-162410609-5.
7. Waghel K., Ouali M.-S. (2021) Multi-level interpretable logic tree analysis: A data-driven approach for hierarchical causality analysis // Expert Systems with Applications. Volume 17815, DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115035.
8. Torrado N., Arriaza A., Navarro J. (2021) A study on multi-level redundancy allocation in coherent systems formed by modules // Reliability Engineering and System Safety. Volume 213, Article number 107694, doi: 10.1016/j.res.2021.107694.
9. Sumin V.I., Smolentceva T.E., Zybin D.G., Ageev P.M., Golovkin R.B. (2021) Research of the process of functioning of hierarchical multi-level complex organizational systems // Journal of Physics: Conference Series Open Access. Volume 1902, Issue 114, Article number 012089, DOI: 10.1088/1742-6596/1902/1/012089.
10. Liu Z., Zhai Q., Song Z., Zhu P. (2021) A general integrated procedure for uncertainty-based design optimization of multilevel systems by hierarchical decomposition framework. Structural and Multidisciplinary Optimization, DOI: 10.1007/s00158-021-03021-y.
11. Miatliuk K., Kim Y.H., Kim K. (2009) Motion control based on the coordination method of hierarchical systems // Journal of Vibroengineering. Volume 11, Issue 3, Pages 523 – 529, ISSN: 13928716.
12. Miatliuk K., Kim Y.H. Hierarchical systems technology in the computer coordination of biomechanical motion // 2006 SICE-ICASE International Joint Conference Pages 244 - 2492006 Article number 4108832, DOI: 10.1109/SICE.2006.315615.
13. Adem A., Yilmaz Kaya B., Dağdeviren M. (2022) Technology Analysis for Logistics 4.0 Applications: Criteria Affecting UAV Performances // Studies in Systems, Decision and Control. Volume 372, Pages 497 – 520, doi: 10.1007/978-3-030-75067-1_21.
14. Encarnación Algaba, René van den Brink, Chris Dietz. (2018) Network Structures with Hierarchy and Communication // Journal of Optimization Theory and Applications volume 179, pages 265–282.
15. Свидетельство № 2021660324 Рос. Федерация. Программный комплекс управления бортовой информационной системой автомобиля со смартфона на базе ОС Android : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ / Д.Е. Чикрин, А.А. Егорчев, Мусин Ф.М., Шарипов М.Р. [и др.]. — Заявка № 2021619364, 16.06.2021; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 24.06.2021 г.; опубл.: 24.06.2021, бюл. № 7. — URL: https://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=EV M&DocNumber=2021660324&TypeFile=html (дата обращения: 02.07.2021).
16. Свидетельство № 2021660767 Рос. Федерация. Программный комплекс бортовой информационной системы автомобилей на базе ОС Android для различных диагоналей и форм-факторов экрана: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ / Д.Е. Чикрин, А.А. Егорчев, Мусин Ф.М., Шарипов М.Р. [и др.]. — Заявка № 2021619340,

- 16.06.2021; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 01.07.2021 г.; опубли.: 01.07.2021, бюл. № 7. — URL: https://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2021660767&TypeFile=html (дата обращения: 02.07.2021).
17. Self-driving cars: The next revolution / KPMG, Center for Automotive Research. 2012. URL: <https://www.cargroup.org/publication/self-driving-cars-the-nextrevolution/> (accessed 24.05.2021).
 18. Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems. Help Manual. Version 9.0.126 [electronic document] / National ITS Architecture Team. — [Washington]: [US Department of Transportation], 2021. — 221 p. — URL: <https://local.iteris.com/arc-it/tools/SET-ITv9.0Help.pdf> (accessed 24.05.2021).
 19. Pollard E. An Ontology-based model to determine the automation level of an Autonomous Vehicle for Co-Driving [electronic document] / Pollard E., Morignot P., Nashashibi F. // 16th International Conference on Information Fusion, Jul 2013, Istanbul, Turkey. — [Istanbul]: [IEEE], 2013. — Pp. 596-603. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6641334> (accessed 24.05.2021).
 20. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха-ра. — Москва: Мир, 1973. 334 с.
 21. Льюноградский Л.А. Модель иерархической многоуровневой системы, сочетающей признаки страт, слоев и эшелонов / Л.А. Льюноградский // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды X Международной научно-практической конференции, ч.1. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. — С. 76-85.
 22. Буравцев А.В. Стратифицированный метод построения сложной системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3. С. 23-32.
 23. Карганов В.В., Кудряшов В.А., Расчесова А.Г. Эффективность сети связи на основе ее стратификации, как сложной системы. Монография: Сер. Система технической защиты информации в Российской Федерации, 2017, 128 стр. ISBN: 978-5-9908454-9-7.
 24. Моргунов Е.П. Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2007. № 3. С. 59 – 63.
 25. 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.
 26. 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.
 27. 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.
 28. 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 – 7911, DOI: 10.1049/iet-its.2019.0472
 29. Евстигнеев И.А., Шмытинский В.В. Вопросы взаимодействия беспилотных транспортных средств с дорожной инфраструктурой // Транспорт Российской Федерации. 2019 № 6 (85). — С. 17-22.
 30. 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.

STRUCTURE AND HIERARCHIES OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS IN DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS AS DESIGN TEMPLATES FOR SUBSYSTEMS OF UNMANNED VEHICLE

© 2021 D.E. Chickrin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

The article presents the structure of infocommunication systems of unmanned transport systems developed by the author, which combines the main information subsystems of the control loop in Advanced driver-assistance systems (ADAS) and shows their interaction. The analysis of the architecture of the ADAS system as a complex system from the point of view of the application of Mesarovich's theory of hierarchical multilevel systems is given (also known as stratification process) - as a result of which ADAS infocommunication systems are presented in the form of a hierarchy of the strata-layers-echelons type. Such a representation has scientific novelty as the application of stratification methods to the description of ADAS infocommunication systems and practical value in the design of the ADAS architecture and the creation of templates for the design of unmanned transport systems infocommunication subsystems.

Key words: unmanned vehicle, software, advanced driver-assistance systems (ADAS), sensors, autopilot, project templates, structural hierarchies.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-86-95

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