

1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.053

ОСОБЕННОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ C-V2X ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА

Абдулхаков А.К., генеральный директор МУП «Метроэлектротранс»;

E-mail: ditis@metro.tatar;

Павлов П.П., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы и системы», руководитель образовательной программы «Эксплуатация высокоскоростного электроподвижного состава»;

Хизбуллин Р.Н., к.т.н., доцент кафедры «Электротехнические комплексы и системы», руководитель образовательной программы «Проектирование электрооборудования беспилотного и электромобильного транспорта»;

Литвиненко Р.С., к.т.н., доцент;

Аухадеев А.Э., к.т.н., доцент;

Вахитов Х.Ф., магистрант кафедры «Электротехнические комплексы и системы», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

TESTING FEATURES OF C-V2X SYSTEMS FOR UNMANNED TRANSPORT

Abdulkhakov A.K., General Director of MUP «Metroelectrotrans»;

E-mail: ditis@metro.tatar;

Pavlov P.P., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Electrical Complexes and Systems», Head of the educational program «Operation of high-speed electric rolling stock»;
Hizbullin R.N., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of «Electrical Complexes and Systems», Head of educational program «Design of electrical equipment for unmanned and electric vehicle transport»;

Litvinenko R.S., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;

Aukhadeev A.E., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;

Vakhitov Kh.F., Master's student of the department «Electrical complexes and systems», Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы применения технических решений для тестирования систем C-V2X в автомобилестроении. Обоснована целесообразность проверки функциональности, рабочих характеристик и безопасности таких систем путем моделирования и тестирования в лабораторных условиях. Рассмотрено применение V-модели при организации беспроводного тестирования бортового блока сотовой связи V2X (C-V2X). Представлены требования по тестированию применительно к стеку ИТС и модели OSI. Предложено применение программно-аппаратного тестирования с образной связью или HiL-тестирования, позволяющее выявлять системные проблемы, возникающие при испытании бортового блока в неблагоприятном режиме, включая перегруженный трафик, помехи радиосвязи и т.д.

Abstract

The article discusses the topical issues of applying technical solutions for testing C-V2X systems in the automotive industry. The verification expediency of functionality, performance and

safety of such systems by simulation and testing in laboratory conditions is justified. The application of V-model in arranging wireless testing of on-board cellular communication unit V2X (C-V2X) is reviewed. Testing requirements with respect to ITS stack and OSI model are presented. The application of hardware-software testing with image communication or HIL testing is proposed, allowing to reveal system problems arising during on-board unit testing in unfavorable mode, including overloaded traffic, radio communication interference, etc.

Ключевые слова: беспилотный транспорт, эмуляция беспилотного вождения, тестирование систем C-V2X, программно-аппаратное тестирование с образной связью (HIL-тестирование)

Keywords: unmanned transport, emulation of unmanned driving, C-V2X system testing, hardware-software testing with image linkage (HIL testing)

Введение

Глобальная трансформация современных транспортных систем на основе беспилотного транспорта способствует глубокой модернизации существующих и созданию новых технологий проектирования и производства транспортных средств [1, 2]. Для создания полностью беспилотных автомобилей необходимо разработать весьма сложное программное обеспечение, оснащенное искусственным интеллектом и способное правильно интерпретировать и использовать в реальном времени потоки данных от окружающей инфраструктуры и множества автомобильных датчиков. Отсюда следует, что тщательная проверка функциональности, рабочих характеристик и безопасности таких систем будет все в большей степени зависеть от детального моделирования и тестирования в лаборатории. Такое моделирование можно применять на всех стадиях рабочего процесса, задолго до того, как инновации будут реализованы в транспортных средствах, движущихся по дорогам общего пользования.

Значение связи V2X для будущего транспорта

Передовые системы помощи водителю (ADAS) [3] чаще всего используют в качестве датчиков радары, лидары, ультразвуковые сканеры и видеокамеры. Эти данные дополняются важной информацией, поступающей извне по радиосвязи между автомобилем и другими объектами дорожной инфраструктуры V2X. Основное назначение такой связи – предоставить стандартные сервисы безопасности движения посредством широкополосной передачи сообщений о наличии, положении, траектории и скорости окружающих транспортных средств [4]. Коммуникация автомобилей друг с другом и с дорожными объектами, такими как светофоры, осуществляется на радиочастоте 5,9 ГГц. Связь действует на расстоянии до 300 м и не ограничивается пределами прямой видимости, так что транспортные средства могут обнаруживать друг друга за зданиями, деревьями и другими преградами.

В настоящее время приложения V2X определяются органами стандартизации Европы (C2C Forum) [5], Северной Америки (SAE), Китая (C-SAE) и других стран в форме сценариев использования. В долгосрочной перспективе приложения, подобные тем, которыми занимается ассоциация 5GAA, будут разрабатываться в расчете на информацию, поступающую не только от собственных датчиков, но и через V2X. В соответствии с этим, вырисовывается масштаб и объем испытаний, которые должны пройти системы ADAS с технологией V2X [6].

Использование тестирования и моделирования

Согласно применимым стандартам, функциональность и безопасность систем, включающих V2X, должна быть проверена во множестве ситуаций и условий. С ростом объема и глубины таких испытаний использование для этой цели реальных автомобилей, действующих на трассе полигона или на дороге общего пользования, быстро становится слишком дорогим, непрактичным и рискованным. В отношении функциональной безопасности разработка транспортных средств уже давно регулируется стандартом ISO 26262 и связанной с ним V-моделью (рис. 1) [7]. Как показано на диаграмме, в рамках этой модели тестирование начинается со ста-

ствует риск неисправностей, способных нанести ущерб людям, имуществу и транспортным средствам.

Применение V-модели при испытании V2X может быть представлено следующим образом. Тестирование – критически важный этап создания V2X-приложений, как автономных, так и встроенных в более крупную систему. В частности, тестирование требуется на множестве уровней стека сетевых протоколов V2X и на уровне приложений. Надежная и воспроизводимая связь V2X опирается на комплекс программных средств, поставляемых различными разработчиками. Когда бортовой блок V2X подвергается испытаниям из правой ветви V-модели, радиомодем обычно тестируется так же, как мобильные телефоны и устройства обработки данных в индустрии беспроводных средств связи. На рис. 2 представлены требования по тестированию бортового блока сотовой связи V2X (C-V2X) применительно к стеку ИТС и модели OSI.

Открытая сетевая модель OSI (Open Systems Interconnection model)					
Прикладной уровень	Прочие приложения	Приложения безопасности	Требования по тестированию	Стандарты/ орган сертификации	Цель тестирования
			Тестирование с обратной связью	Собственные определения SAE и OEM-производителей	Проверка работы приложений при приеме подлинных ИТС-сообщений
Уровень представления	Сообщения V2X		Инструменты тестирования протоколов	Региональные органы сертификации (например, OmniAir) используют региональные стандарты (например, SAE)	Проверка типов и содержания передаваемых и принимаемых сообщений V2X
Семантический уровень					
Транспортный уровень	TCP/UDP	GeoNetworking	Эмуляция сетевых элементов для установления соединения, необходимого для измерений характеристик радиосигнала и модуляции	3GPP и GCF	Проверка совместимости устройств
Сетевой уровень	IPv6				
Канальный уровень	MAC/RLC/PDCP				
Физический уровень	Протокол PHY				

Рис. 2. Тестирование бортового блока сотовой связи V2X (C-V2X) (охватывает все семь уровней стека ИТС и главные элементы модели OSI)

Полный цикл тестирования бортового блока

Тестирование физического уровня и канала передачи данных всех сотовых беспроводных устройств обычно осуществляется производителями чипсетов и поставщиками устройств с помощью соответствующих комплектов оборудования и программных инструментов. На первом этапе проверки такие инструменты эмулируют сетевые элементы, чтобы установить беспроводное соединение с тестируемым устройством, без чего нельзя выполнить радиочастотные измерения и измерения модуляции.

Например, интерфейс PC5 бортового блока C-V2X опирается на стеки протоколов радиоканала и протоколов низшего уровня, поддерживаемых чипсетом. Их необходимо испытывать, и за прошедшие годы индустрия беспроводных средств связи создала ряд решений, которые позволяют тестировать протоколы радиоканала и низшего уровня в ходе их разработки. Проверка работы обоих уровней обеспечивает совместимость устройств, использующих чипсеты от разных поставщиков.

Стандарты тестирования разных уровней реализации модема устанавливаются такими организациями, как 3GPP и GCF. Помимо проверки совместимости эти испытания гарантируют соответствие модема таким требованиям, как дальность и пропускная способность. Как правило, при этом используются специальные комплекты для тестирования средств беспро-

водной связи с собственным модемом и инструментами тестирования протоколов, а также калиброванными средствами измерения параметров физического уровня.

Кроме того, протоколы передачи данных согласно применимому региональному стеку ИТС устанавливаются поставщиками стеков ИТС (например, GeoNetworking – в Европе, IPv6 и TCP/UDP – в Северной Америке).

Наконец, бортовые блоки с интегрированным стеком ИТС верхнего уровня тестируются для проверки типов и содержания передаваемых и принимаемых сообщений V2X. Режимы сертификации бортовых блоков и дорожных объектов C-V2X пока остаются на этапе формирования. В США в этом отношении лидирует ассоциация OmniAir Consortium, создавшая четко очерченный набор сценариев тестирования, которые охватывают проверку всех требований к бортовым блокам и дорожным объектам.

Интеграция инфраструктуры транспортных средств

После того, как в отдельных тестах была подтверждена способность бортового блока передавать и принимать определенные сообщения, на следующем этапе проверяется, правильно ли используются эти сообщения на уровне приложений – для информирования водителя или, в случае беспилотных автомобилей, для прямой коррекции управления.

Работа приложений описывается сценариями использования. Инженеры производителей комплектного оборудования или поставщиков первого уровня интерпретируют эти сценарии и в зависимости от результата устанавливают приложения на транспортное средство. На этом уровне выходной сигнал подается на дисплей или, в итоге, на органы управления автомобилем.

Простые приложения по-прежнему можно проверить на уровне бортового блока или встроенного телематического блока управления (TCU) [9]. Однако, когда продвинутое приложение начинают воздействовать на органы управления за пределами интерфейса человек-машина, полезнее применять тестирование с обратной связью. В терминах V-модели это соответствует переходу вверх по правой ветви до уровня системного теста.

Использование программно-аппаратного тестирования

В автомобильной отрасли обычно используют программно-аппаратные (HIL) способы для имитации систем автомобиля [10], которые полностью имитируют всю среду и соединяются с любым вновь разработанным компонентом (например, каким-либо бортовым устройством). Это позволяет тестировать различные компоненты по отдельности, прежде чем система будет собрана из составных элементов. В конечном итоге, создаётся полноценный виртуальный прототип автомобиля, который можно испытать без затрат и физических рисков, связанных с реальными испытаниями на трассе полигона или на дороге общего пользования.

Что касается применений V2X, то сам автомобиль является просто частью гораздо более крупной системы дорожного движения, которая предназначена для управления такими факторами, как занятость проезжей части, транспортный поток, общественная безопасность и эффективность (например, потребляемая энергия и выбросы). Несмотря на то, что функционал бортового блока и его соответствие стандартам можно всесторонне протестировать с использованием методик без обратной связи, работа и производительность всей системы всё равно могут быть ухудшены из-за нарушений в модуле беспроводной связи. Возникающие в результате проблемы проявятся при функциональном тестировании с обратной связью, когда бортовой блок будет испытываться в неблагоприятном режиме, включая перегруженный трафик, помехи радиосвязи и т.д.

Тестирование без обратной связи способно обнаружить много базовых ошибок в системе, зато тестирование с обратной связью или HIL-тестирование находит системные проблемы. Когда такие проблемы проявляются не при тестировании с обратной связью, а на полигоне или на дороге, это обходится намного дороже. Несмотря на большую важность чисто программного моделирования, эмуляция реалистичных сценариев (например, дорожного движе-

ния и дорожных условий) обеспечивает более тщательное тестирование фактических характеристик какой-либо системы автомобиля.

Заключение

Таким образом, очевидно, что автомобилестроители, стремясь создать безупречные системы ADAS и AV, по-прежнему будут инвестировать сразу в несколько новых технологий: радары, лидары, C-V2X, SerDes, видеокамеры 4K и др. Любое транспортное средство новой конструкции всегда подвергалось множеству испытаний, но сейчас, когда количество используемых в машине технологий выросло вчетверо и каждый автомобиль ежедневно генерирует терабайты данных, эта задача кажется неразрешимой. Производителям комплектного оборудования нужны методы проведения испытаний с применением реальных сигналов в условиях замкнутой лабораторной системы, что позволит существенно сократить финансовые, трудовые, ресурсные, а также временные затраты, а значит обеспечить конкурентное преимущество.

Список литературы

1. Абдулхаков, А. К. К вопросу о развитии технологий беспилотного движения в системе метрополитена / А. К. Абдулхаков, П. П. Павлов, А. Э. Аухадеев // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021. – Казань, 2021. – С. 13–19.
2. Абдулхаков, А. К. Особенности построения систем автоматизированного управления движением трамваев / А. К. Абдулхаков, П. П. Павлов, А. Э. Аухадеев, Р. С. Литвиненко // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021. – Казань, 2021. – С. 20–25.
3. Gulino, M. S. Prospective and retrospective performance assessment of Advanced Driver Assistance Systems in imminent collision scenarios / M. S. Gulino, A. Fiorentino, D. Vangi // European Transport Research Review. – 2020. – Volume 14 (1). – P. 3.
4. Valenti, G. Vehicle localisation using asphalt embedded magnetometer sensors / G. Valenti, F. Biral, D. Fontanelli // IEEE International Workshop on Metrology for Automotive, MetroAutomotive. Proceedings. – 2021. – P. 210–215.
5. Kiela, K. Review of V2X-IoT standards and frameworks for ITS applications / V. Barzdenas, M. Jurgo, L. Kladovcikov, R. Navickas // Applied Sciences (Switzerland). – 2020. – Volume 10 (12). – P. 4314.
6. Jiang, J. Lane-Level Vehicle Counting Based on V2X and Centimeter-level Positioning at Urban Intersections / Y. Yang, Y. Li, R. Wang, S. Zeng // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. – 2022. – Volume 2 (1). – P. 11–28.
7. Wiechowski, N. Automated Hardware-in-the-Loop Testing Using a Cloud-Based Architecture / N. Wiechowski, A. Chevalier, F. Stefan, D. Roettger, F. Goebe // SAE Technical Papers. – 2021. – Volume 1. – P. 0133.
8. Berlt, P. Concept for Virtual Drive Testing on the Basis of Challenging V2X and LTE Link Scenarios / P. Berlt, B. Altinel, C. Bornkessel, M. A. Hein // 2022 16th European Conference on Antennas and Propagation. – EuCAP 2022. – Volume 19 (2). – P. 334.
9. Song, W. A novel solution for smart unmanned minibus based on intelligent fusion sensing technology / W. Song // Journal of Physics : Conference Series. – 2022. – Volume 2195 (1). – P. 012002.
10. Wang, J. Lane detection and steering control of vision-based micro-intelligent vehicle / J. Wang, R. Zhao, B.-L. Cao, X. Deng, Q.-S. Chen // Shanghai Jiaotong Daxue Xuebao=Journal of Shanghai Jiaotong University. – 2015 – Volume 49 (8). – P. 1159–1167.