

УДК 629.113

Г.Р. Мардоян¹, Р.И. Симонян², Н.А. Карпов³, Н.А. Пронин³, С.Ю. Метелев³**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПЫТАНИЮ СИСТЕМ ADAS
НА ВСЕХ ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ**ЕИА Инжиниринг¹,
ООО «Нэшнл Инструментс АМ»²,
ООО «ЭнАй Рус»³

В публикации ставится задача рассмотреть процесс создания аппаратно-программного комплекса для исследования, разработок и испытаний алгоритмов системы ADAS, состоящего из программных сценариев и имитаторов реальных сигналов для датчиков автомобиля, таких как камеры и радары. В публикации продемонстрировано выполнение лабораторной проверки таких систем, как радары, камеры и лидары, которые работают автономно или интегрированы в систему Sensor Fusion в автомобиле. Это дает возможность проводить испытания до наличия транспортного средства, чтобы выявлять ошибки системы на этапе разработки, которые в противном случае возникли бы слишком поздно. Гибкость, модульность и масштабируемость программно-аппаратной платформы National Instruments позволяет в рамках одного интегрированного стенда решать задачи по комплексным испытаниям системы Sensor Fusion, состоящей из любого набора и типа датчиков. Открытость платформы предоставляет возможность интегрировать сторонние системы программно-аппаратного моделирования узлов автомобиля. Все компоненты системы Sensor Fusion являются критическими для безопасности пассажира автомобиля, поэтому способность тестировать алгоритмы в лаборатории до проведения тестов на транспортных средствах является необходимым шагом.

Ключевые слова: программно-аппаратное моделирование, HIL, ADAS, Sensor Fusion, Radar, Camera, LIDAR, Connected Car, Autonomous Driving, Unmanned Vehicle.

В настоящее время подавляющее большинство современных автомобилей представляет собой достаточно сложные многофункциональные, а порой и многопроцессорные программируемые электронные системы, к эффективности, качеству и надежности которых предъявляются самые высокие требования. Сложность электронных компонентов автомобиля, их широкая номенклатура и разнообразие требований по контролю качества требуют от производителей внедрения автоматизированных контрольно-измерительных систем, предназначенных для оперативного многофункционального тестирования изделий в условиях разработки, испытаний и массового производства.

При разработке новой системы производители автомобильных систем проходят несколько основных этапов:

- программное моделирование (MIL, SIL);
- параметрические испытания прототипа;
- программно-аппаратное моделирование (HIL);
- производственные испытания;
- полевые испытания.

В настоящее время полевые испытания становятся все дороже и сложно реализуемы. В частности, переход к автономному (беспилотному) транспорту сопровождается естественным процессом внедрения в автомобиль все большего количества интеллектуальных систем и датчиков. Полевое испытание автомобиля на протяжении многих лет является основным этапом разработки, а его результаты – ключевыми перед выпуском автомобиля на рынок. С появлением в автомобиле большого количества сложных систем и подсистем, основанных на передовых технологиях, возникает серьезный вопрос к безопасности и надежности всей системы в целом. Большинство экспертов сходятся во мнении, что новому автомобилю, оснащенному системами автономного движения, для достижения требуемого тестового покрытия дорожных

ситуаций, необходимо преодолеть на полевых испытаниях не менее 16 млн км. Проведение испытаний традиционным способом становится слишком долгим и дорогим.

Также отчетливо ясно, что датчики, системы датчиков и алгоритмы, их связывающие, играют одну из главных ролей в будущем поколении систем автономного движения, обеспечивая множественными способами обучение автомобиля к восприятию окружающей среды. Данные, предоставляемые от датчиков разного типа, должны быть верно интерпретированы и объединены для построения суммарной картины окружающего пространства. Сразу возникают вопросы: какие испытания дадут наибольшую пользу и как проверить работоспособность новейших алгоритмов и сенсоров.

В настоящее время, компания National Instruments развивает несколько ключевых и перспективных направлений по испытаниям беспилотных автомобильных систем:

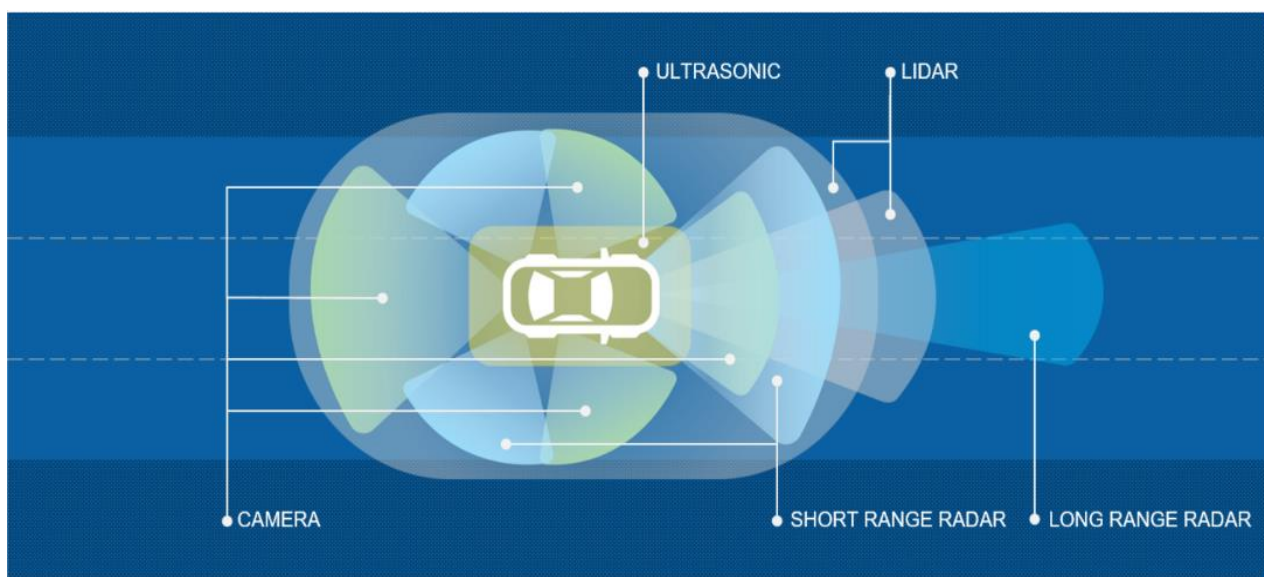
- 1) испытания систем помощи водителю (ADAS);
- 2) аппаратно-программные комплексы для исследования и разработок системы беспроводной коммуникации типа V2X-коммуникации автомобилей, инфраструктуры, человека;
- 3) испытательные стенды для отработки технического зрения;
- 4) имитация сигналов для навигационных систем автономных автомобилей;
- 5) аппаратно-программные комплексы моделирования дорожной обстановки и движения автомобиля.

Постановка задачи. Что такое Sensor Fusion

Сегодня многие автомобили имеют несколько ADAS-систем на основе различных датчиков – таких, как радары, камеры, лидары и ультразвуковые дальнометры. Исторически каждая из этих подсистем выполняла определенную функцию, и только в редких случаях они обменивались информацией друг с другом. Объем информации, которую получает водитель, пропорционален количеству используемых датчиков и подсистем различного типа. Если подсистемы предоставляют достаточно данных и являются связанными друг с другом, то возможна разработка комплексных интеллектуальных алгоритмов для создания автономной системы вождения.

Sensor Fusion – это совокупность информации от различных датчиков, которая обеспечивает более полное представление об окружении автомобиля (рис. 1). Это необходимая технология для создания более безопасных, функциональных и эффективных автономных систем вождения.

Система Sensor Fusion может быть актуальна для всех типов датчиков. Типичным примером является объединение информации, предоставляемой передней камерой и передним радаром. Камера, работающая в видимом спектре, имеет проблемы в нескольких условиях, таких как дождь, густой туман, солнечный блик и отсутствие света, но обладает высокой надежностью при распознавании цвета (например, дорожных разметках). Радар даже при низком разрешении полезен для обнаружения расстояния и не чувствителен к условиям окружающей среды.



**Рис. 1. Датчики, входящие в систему Sensor Fusion
Обоснование использования Sensor Fusion**

Ряд функций ADAS, которые используют объединение данных от датчиков передней камеры и радара, являются наиболее распространенными.

1. Адаптивный круиз-контроль (ACC). Система круиз-контроля автомобиля адаптирует скорость к условиям движения. Скорость уменьшается, когда расстояние до автомобиля впереди падает ниже порога безопасности. Когда дорога становится свободной или расстояние до следующего автомобиля достаточно, ACC производит возврат автомобиля до заданной скорости.
2. Автономное аварийное торможение (АЕВ). Данная функция управляет тормозной системой, уменьшая скорость в случае вероятного столкновения или иным образом предупреждая водителя в критических ситуациях.

Описание системы ADAS HiL

Для проверки сложных систем необходимо создать соответствующую тестовую среду, которая эффективно симулирует датчики для проверки поведения транспортного средства в реальных условиях.

Далее мы рассмотрим одно из внедренных решений подобной системы, которая предназначена для тестирования алгоритмов системы ADAS [1]. Был разработан единый комплекс программно-аппаратного моделирования, состоящий из имитатора радарных объектов на основе технологий National Instruments и имитатора окружающей среды. В программной части данного комплекса создаются виртуальные сценарии дорожного окружения, а аппаратная часть на базе платформы National Instruments PXI синхронно генерирует симулированные сигналы на реальные объекты испытаний – камеры и радиолокаторы автомобиля.

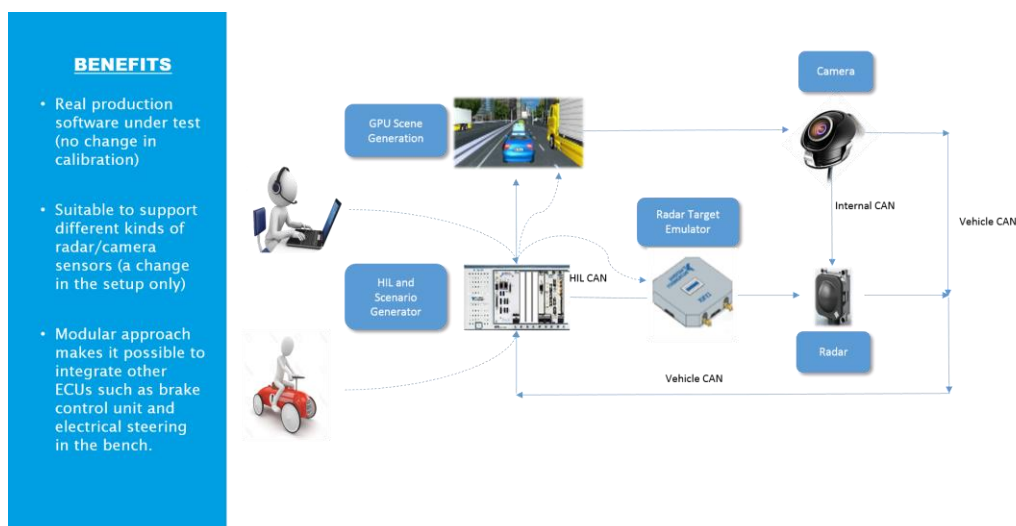


Рис. 2. Тестовая система ADAS HIL

Имитатор окружающей среды открыт к изменениям, позволяя настраивать такие параметры, как модели транспортных средств, дороги или тестовые маршруты с подробным окружением, стили и поведение водителя, сценарии дорожного движения с многочисленными окружающими объектами и т.д. (рис. 3). Существует множество графических сред, которые можно интегрировать в данный комплекс, например Altran, IPG Carmaker, TASS PreScan и другие.

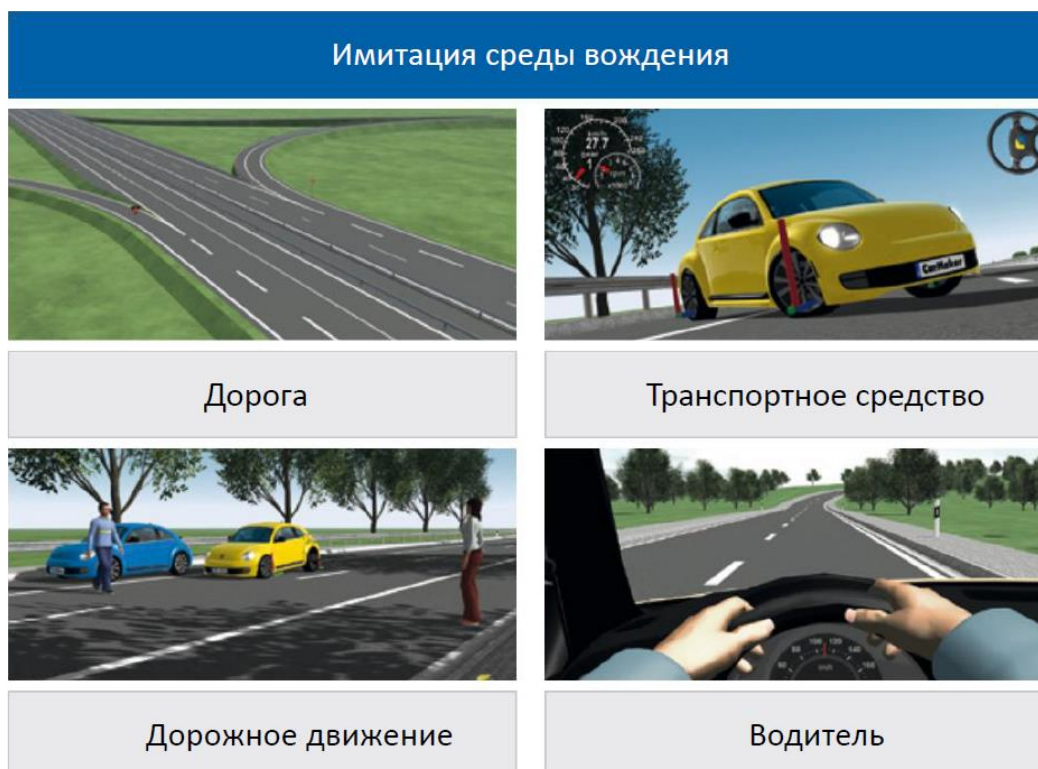


Рис. 3. Имитатор окружающей среды

Для управления автомобилем графический движок получает данные о положении педалей тормоза и дроссельной заслонки в дополнение к углу поворота колес. Система National Instruments PXI дополняет эти данные к сигналам от рулевого колеса и педалей. Динамическая модель автомобиля интегрирована в систему симуляции и может быть гибко настроена.

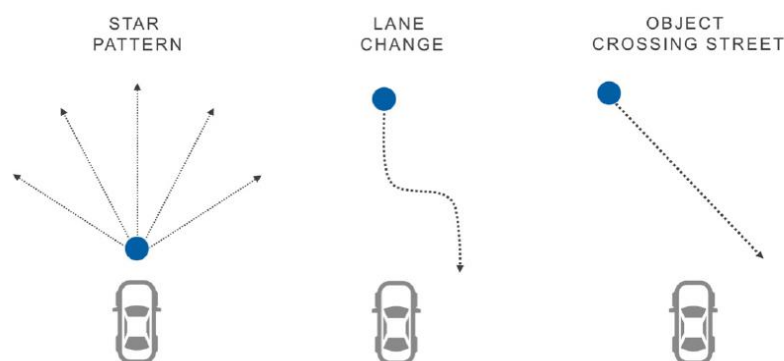


Рис. 4. Сценарии стандартных маневров

Исходя из сценария выбранного маневра (с примерами на рис. 4) программная модель рассчитывает скорость транспортного средства, а также при помощи NI VRTS (система имитации целей для радара) генерирует радиочастотные сигналы для радара, соответствующие имитируемым объектам. Все данные через каналы ввода/вывода передаются через требуемые пользователю протоколы и интерфейсы, а также могут быть изменены по мере необходимости.

Данные от программного симулятора (расстояние, ЭПР, угол места и скорость цели) передаются по CAN-интерфейсу посредством модуля NI PXI-8512. NI PXI-8512 – это двухпортовый высокоскоростной интерфейс CAN/CAN-FD для PXI-систем, используемый для передачи и приема кадров CAN-шины со скоростью 1 Мбит/с.

Помимо отправки данных в имитатор целей и получения сигналов педалей и рулевого управления, PXI также передает сообщения CAN через локальную сеть автомобиля. Сообщения CAN синхронизируются с происходящими в виртуальной среде событиями и имитатором целей для создания достоверного окружения, необходимого для тестирования современных камер и радарных систем автомобиля.

Описание компонентов системы

Ниже приведены краткие описания компонентов системы (рис. 5).

1. Электронный блок управления радаром (ECU). Основной задачей радиолокационного датчика является обнаружение объектов и измерение их скорости и положения относительно движения транспортного средства, оснащенного радаром. Радиолокационный датчик является моностатическим мультимодальным радаром и работает на частоте 76 ГГц с шестью фиксированными радиолокационными антеннами. Датчик может обнаруживать другие транспортные средства примерно на расстоянии 250 метров. Радиолокатор оснащен обогреваемой линзой, которая обеспечивает работу датчика даже в плохих погодных условиях, таких как снег и лед. Относительная скорость объектов измеряется с помощью эффекта Доплера – изменение частоты между отраженным и передаваемым сигналами, а расстояние до объекта может определяться временной задержкой. Электронный блок управления объединяет данные с радаров и камеры и отвечает за такие функции, как АСС и АЕВ.

2. Электронный блок управления камеры обрабатывает изображения окружающей среды и предоставляет информацию, такую как расстояние от линий полосы и других объектов. Эта информация отправляется в электронный блок управления радиолокатором для объединения данных с датчиков, но в некоторых случаях (например, дорожные знаки и удержание полосы) ЭБУ камеры работает в одиночку и отправляет CAN-сообщения по CAN-интерфейсу.

3. Генератор видеопотока – это симулятор, включающий в себя модель транспортного средства, который получает данные от NI PXI-8512/2 через CAN-интерфейс и передает информацию об имитируемой среде. Радарные данные, такие как расстояние, эффективная площадь

рассеяния (ЭПР), угол места и скорость, генерируются во время моделирования и вычисляются в реальном времени на основе данных виртуальной среды. Через автоматизированное рабочее место оператора можно удаленно управлять параметрами симуляции, изменять погодные условия, регулировать положение радара, добавлять объекты на дороге, например, автомобиль с определенной скоростью и расстоянием.

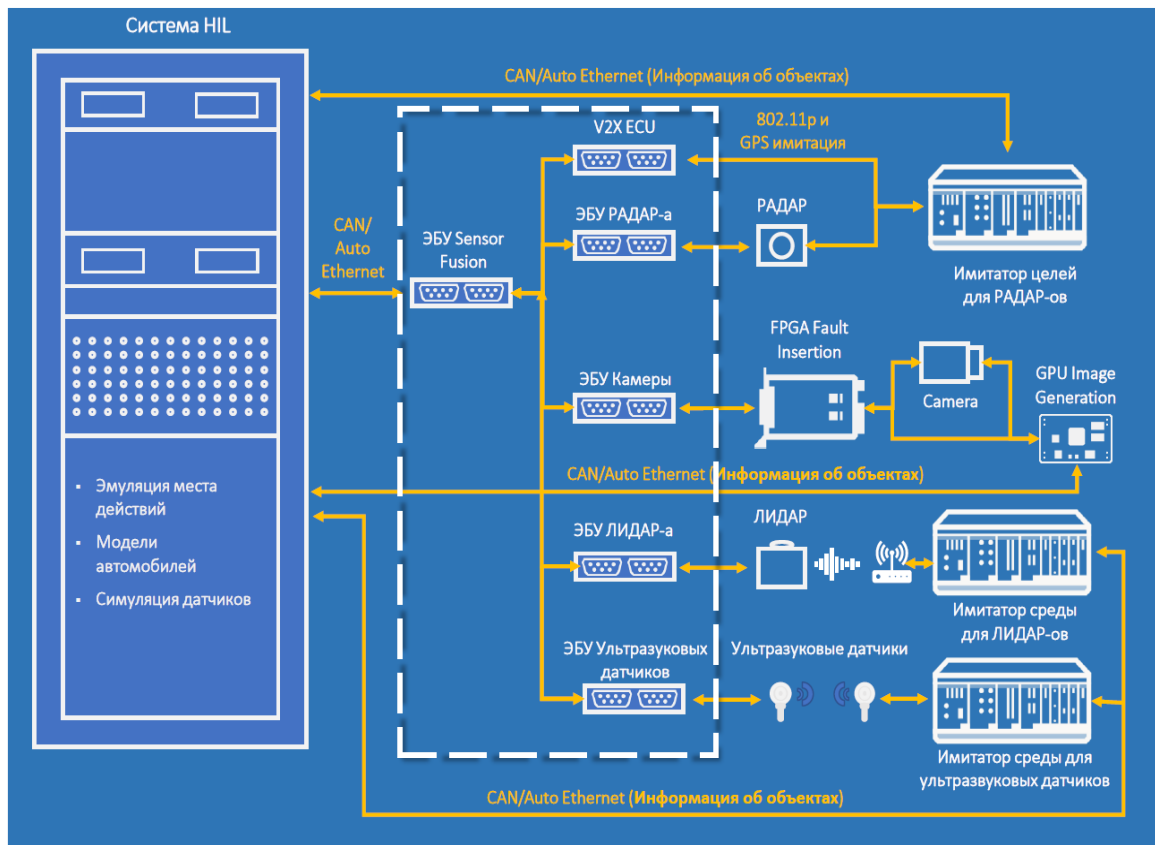


Рис. 5. Архитектура тестирования системы ADAS с использованием комплекса программно-аппаратного моделирования

Платформа PXI представляет собой крейтовую систему, базирующуюся на форм-факторе CompactPCI, и использующую дополнительные шины синхронизации и управления запуском контрольно-измерительных модулей, установленных в шасси. Измерительная станция управляется контроллером PXI, работающим под управлением таких операционных сред, как Microsoft Windows, Linux, MacOS, LabVIEW Real-Time и др. Функциональные возможности тестовой станции определяются, во-первых, набором контрольно-измерительных модулей, а во-вторых, разработанным ПО, определяющим процедуру использования измерительных модулей при испытаниях каждого конкретного электронного блока или компонента.

В настоящее время NI производит более 500 модификаций контрольно-измерительных модулей PXI таких типов, как осциллографы, генераторы, мультиметры, источники питания, системы управления приводами, машинного зрения, а также распространенные и специализированные интерфейсы RS232/485, GPIB, CAN и др., на базе которых не составляет труда построить универсальные тестовые станции для испытаний самого широкого класса электронной аппаратуры.

Имитатор радарных целей предназначен для использования в составе комплекса программно-аппаратного моделирования для испытаний и тестирования радарной системы автомобиля. Гибкость, модульность и масштабируемость программно-аппаратной платформы National Instruments позволяют в рамках одного интегрированного стенда решать задачи по комплексным испытаниям системы Sensor Fusion, состоящей из любого набора и типа датчиков.

Открытость программно-аппаратной платформы предоставляет возможность интегрировать сторонние системы программно-аппаратного моделирования узлов автомобиля по протоколу ASAM XIL.

Система позволяет производить следующие действия:

- радиочастотные измерения для проверки автомобильного радара;
- анализ сигналов: излучаемая мощность, коэффициент шума, ширина луча ДН и несущая частота;
- анализ ЛЧМ сигнала;
- имитация целей различного типа (ЭПР);
- одиночные и множественные цели;
- фиксированное и переменное расстояние;
- несколько сценариев объектов (расстояние, скорость, размер и угол места);
- настраиваемые сценарии перемещения нескольких объектов.

В основе имитатора целей – векторный приемо-передатчик с ПЛИС NI PXIe-5840 с характеристиками:

- количество входных аналоговых каналов – 1;
- количество выходных аналоговых каналов – 1;
- частота дискретизации – 1.25 ГГц/канал;
- входная полоса пропускания – до 1 ГГц;
- диапазон частот – 9 кГц – 6,5 ГГц;
- разрешение ЦАП/АЦП – 16 бит;
- ПЛИС Xilinx Virtex-7 X690T.

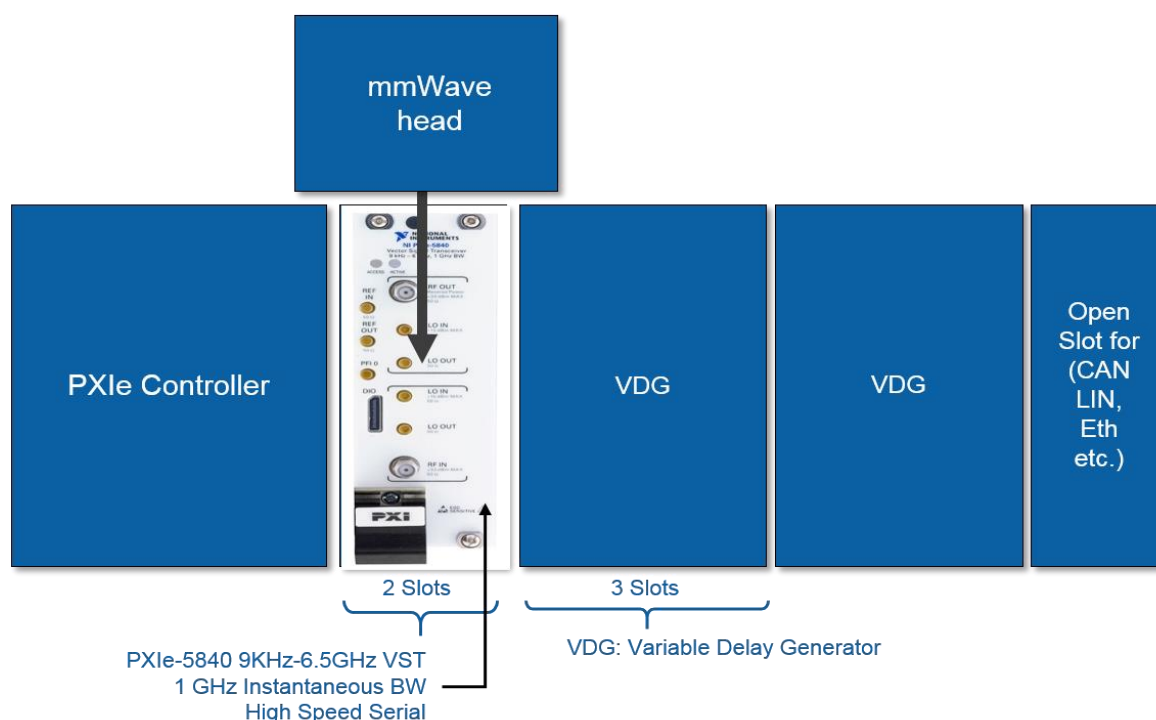


Рис. 6. Архитектура, реализующая симуляцию сигнала двух целей с одним углом места

На рис. 6 эскиз PXI системы с одним векторным приемопередатчиком NI PXIe-5840 и одним переносчиком частоты до 76 ГГц может генерировать две цели с одинаковым углом места. Благодаря гибкости платформы PXI система может быть легко расширена, чтобы имитировать несколько целей с кратными углами места. На рис. 7 конфигурация с четырьмя устройствами PXIe-5840 и четырьмя переносчиками частоты может моделировать до восьми различных целей.

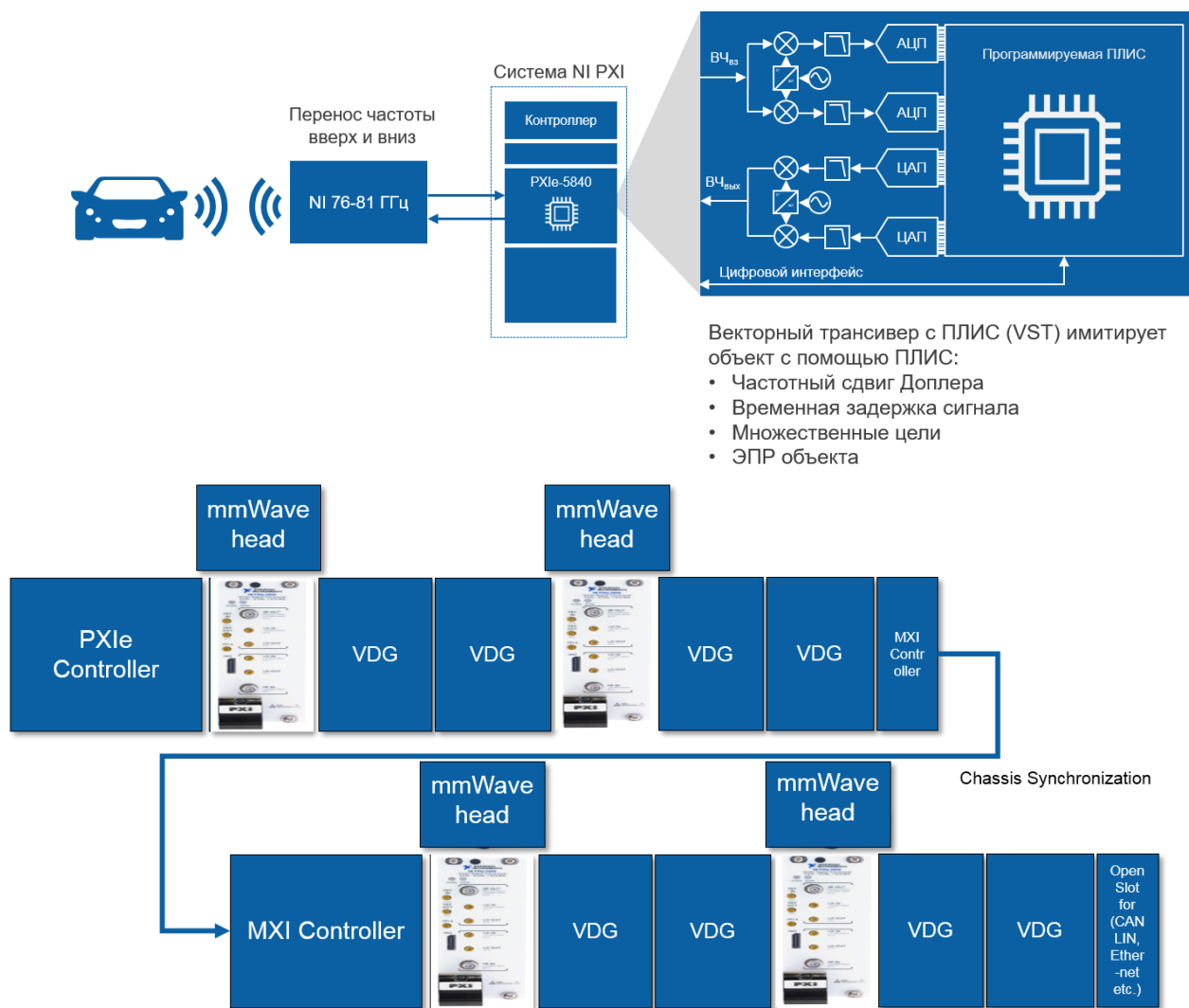


Рис. 7. Архитектура, реализующая симуляцию сигнала восьми целей с четырьмя углами места

Система имитации целей PXI может обмениваться данными как по стандартной автомобильной шине (CAN, LIN, FlexRay), так с помощью других протоколов, необходимых для взаимодействия с ЭБУ автомобиля. Модульность решения позволяет автопроизводителям тестировать сложные сценарии движения транспортных средств с возможностью обработки нескольких углов места одновременно. Стандартные маневры, предусмотренные рекомендациями NCAP, могут быть подгружены автоматически, что позволяет сократить время проработки испытаний.

В рамках данной публикации была рассмотрена система для лабораторной валидации совместной работы в рамках Sensor Fusion радарной системы и камеры автомобиля. Оба компонента критичны для безопасности, поэтому тестирование в лабораторных условиях перед испытаниями является необходимым и важным этапом. Валидация в подобных условиях предоставляет следующие преимущества:

- 1) возможность реализовать проверку на этапе до наличия транспортного средства, чтобы запланировать корректирующие действия, которые в противном случае потребовалось бы производить слишком поздно;
- 2) общее время разработки значительно сокращается, так как испытания могут быть начаты до того, как автомобиль будет доступен;
- 3) затраты на разработку сокращаются за счет наличия системы, которая может работать весь день, семь дней в неделю;

4) безрегрессионные испытания могут проводиться в значительно сокращенное время и с минимальными затратами по сравнению с использованием собранного автомобиля.

Хотя комплекс для тестирования ADAS-системы с применением программно-аппаратного моделирования был создан на основе программного обеспечения и аппаратного обеспечения National Instruments для проверки и валидации, его использование не ограничивается этими областями; на самом деле он может также использоваться, например, для калибровки ЭБУ, для определения параметров испытаний транспортных средств.

Система тестирования ADAS может быть полностью интегрирована с другими аппаратными продуктами National Instruments для программно-аппаратного моделирования (HIL), такими как аппаратное обеспечение формирования согласования сигнала и нагрузки (SLSC) для стандартизации и маршрутизации сигналов, коммутирующих нагрузок и формирования сигнала (рис. 8) [2]. С помощью программного обеспечения VeriStand в режиме реального времени каждый компонент может быть интегрирован в инфраструктуру, которая может взаимодействовать с системами HIL реального времени, в том числе сторонних производителей.

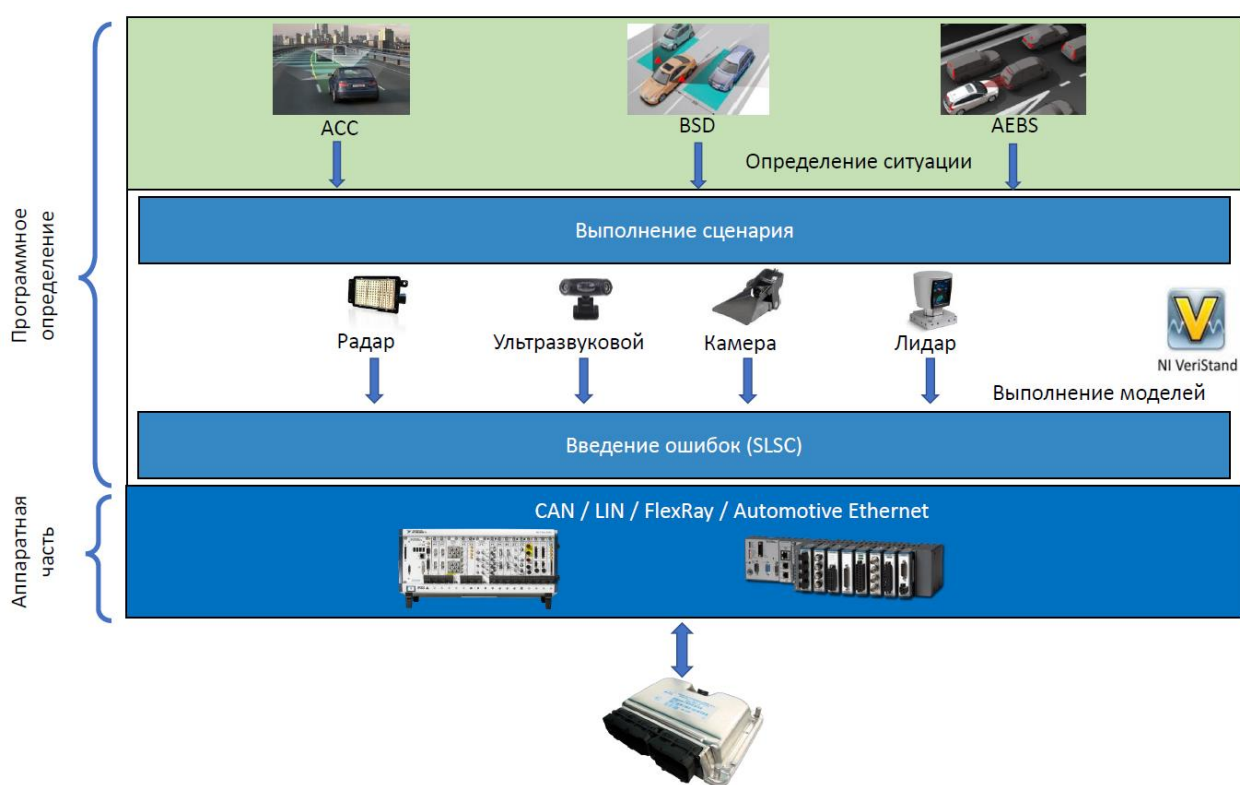


Рис. 8. Архитектура системы с применением аппаратного обеспечения формирования согласования сигнала и нагрузки

Также подобная система может быть интегрирована с системами тестирования мультимедиа, системы управления гибридной и электрической энергоустановкой, V2X и другими системами современных автомобилей.

Библиографический список

1. ADAS HIL With Sensor Fusion // National Instruments. [США, Остин, 2017]. – URL: <http://www.ni.com/white-paper/53961/en/> (дата обращения: 20.09.07).
2. Using The SLSC Architecture To Add Additional Elements To The Signal Path Of A Test System // National Instruments. [США, Остин, 2017]. – URL: <http://www.ni.com/white-paper/53702/en/> (дата обращения: 20.09.07).

G.R. Mardoyan¹, R.I. Simonyan², N.A. Karpov³, N.A. Pronin³, S.Yu. Metelev³

**MODERN APPROACHES TO TESTING ADAS SYSTEMS
AT ALL STAGES OF DEVELOPMENT**

YEA Engineering ¹,
LLC «National Instruments AM»²,
LLC «NI Rus»³

Purpose: The publication aims to consider the process of creating a hardware-software complex for research, development and testing of algorithms of the ADAS system, consisting of software scenarios and simulators of real signals for vehicle sensors, such as cameras and radars.

Design/methodology/approach: Currently, the vast majority of modern cars are quite complex multifunctional, and sometimes multiprocessor, programmable electronic systems, to the efficiency, quality and reliability of which the highest demands. The complexity of the electronic components of the car, their wide range and variety of quality control requirements require manufacturers to introduce automated control and measurement systems designed for rapid multifunctional testing of products in terms of development, testing and mass production.

Findings: As part of this publication, a system was considered for laboratory validation of joint work within Sensor Fusion radar system and a car camera. Both components are critical to safety, so testing in the laboratory before testing is a necessary and important step.

Research limitations/implications: Currently, the vast majority of modern cars are quite complex multifunctional, and sometimes multiprocessor, programmable electronic systems, to the efficiency, quality and reliability of which the highest demands. The complexity of the electronic components of the car, their wide range and variety of quality control requirements require manufacturers to introduce automated test systems

Originality/value: The ADAS testing system can be fully integrated with other National Instruments hardware products for software and hardware modeling (HIL), such as signal conditioning and load shaping hardware (SLSC) for standardizing and routing signals, switching loads and signal generation.

Keywords: Software and hardware modeling, HIL, ADAS, Sensor Fusion, Radar, Camera, LIDAR, Connected Car, Autonomous Driving, Unmanned Vehicle.