

# Перспективы развития высокоскоростных соединений между датчиками и бортовыми дисплеями автомобиля

Кэрри Брауэн, Кевин Кершнер (Keysight Technologies)

Ни для кого не секрет, что темпы инноваций в автомобильной промышленности растут стремительно. Если предыдущие двадцать лет развитие автомобильной электроники было линейным, то за последние два-три года оно стало экспоненциальным. Автомобили становятся всё более технически сложными устройствами, интегрирующими в себе разнообразную электронику, и вопрос организации скоростных коммуникаций между устройствами становится всё актуальнее.

Раньше автомобиль был просто средством передвижения из пункта А в пункт Б. Сейчас мы можем с уверенностью сказать, что это не относится к современным машинам и уж точно – к автомобилям завтрашнего дня. Практически каждый новый автомобиль на рынке оснащён камерой заднего вида, системой помощи при парковке и системой мониторинга слепых зон. Некоторые предлагают обзор на 360°. Другие функции обеспечивают обновления данных о дорожной обстановке в режиме реального времени, сотовую связь с потенциальными источниками опасности, другими участниками дорожного движения, транспортными средствами или пешеходами. Есть функции, которые могут определить, что водитель отвлекается или устал. А между тем люди в машине часто не задумываются о том, насколько сложное оборудование помогает им в вождении, и оценивают по достоинству лишь возможности информационно-развлекательных систем. Эти функции реализуются с помощью различных датчиков, камер и сетей.

По мере роста требований передовые системы помощи водителю (ADAS) нового поколения требуют применения камер и радаров всё более высокого разрешения. Это означает увеличение скорости передачи и

пропускной способности сетей, коммутаторов и интерфейсов, по которым передаются данные. Инновации в автомобильной электронике стремительно ускоряются. Они, в частности, нацелены на то, чтобы обеспечить передачу данных для этих продвинутых функций со скоростью более 1 Гбит/с по существующим кабельным соединениям. Сети с более высокой пропускной способностью и меньшей задержкой будут играть решающую роль в решении проблем, связанных с реализацией будущих сложных, чувствительных ко времени автомобильных технологий.

Многие из этих требований могут быть удовлетворены автомобильным Ethernet со скоростью передачи до 10 Гбит/с. Если учесть, что некоторые камеры требуют до 3500 Мбит/с, мы должны рассмотреть и другую технологию для передачи этих данных.

## Требования к пропускной способности

Чтобы лучше понять требования к пропускной способности, запомните, что приблизительную скорость передачи видеопотока можно рассчитать по следующим формулам:

- Размер кадра = Разрешение × Глубина цвета;
- Скорость передачи данных = Размер кадра × Частота кадров;

Таким образом, для камеры передовой системы помощи водителю (ADAS), снимающей изображение 1080p с глубиной цвета 24 бита и частотой кадров 30 кадров в секунду, поддерживаемая скорость передачи данных равна:

$$\text{Размер кадра} = 1920 \times 1080 \times 24 = 49\,766\,400 \text{ бит.}$$

Скорость передачи данных равна  $49\,766\,400 \times 30 = 1\,493 \text{ Мбит/с}$ .

В табл. 1 приведены типичные объёмы данных от различных датчиков, задействованных в беспилотном вождении.

## Отраслевые требования

Автомобильный рынок развивается под влиянием множества факторов, среди которых наиболее важными являются следующие:

- увеличение потребности в более широких полосах пропускания и применении более лёгких материалов для реализации соединений;
- увеличение потребности в системах помощи водителю;
- рост спроса на элитные автомобили;
- перспективные технологии;
- повышение безопасности данных.

Авторами установлена необходимость применения технологий, обеспечивающих повышение пропускной способности и снижение веса проводных соединений для достижения максимальной эффективности использования топлива (или батарей). Рост спроса на камеры заднего вида, датчики парктроников и систем помощи при смене полосы движения, не говоря уже об отображении приборной панели на ветровом стекле и навигаторах, а также любых дополнительных информационно-развлекательных системах, вызван развитием систем помощи водителю и технологий беспилотного вождения.

Кроме того, разработчикам сетей нужно понимать, каким образом будут масштабироваться системы автомобиля по мере развития технологий. Сегодня ожидается, что срок владения машиной составит 10–15 лет. В целях повышения экономической эффективности уже сегодня следует рассмотреть возможность проектирования сетевых решений, позволяющих увеличить пропускную способность для поддержки дополнительных ресурсоёмких функций помощи водителю и беспилотного вождения, которые клиенты захотят получить в течение срока службы автомобиля. И конечно, обе-

Таблица 1. Объёмы данных от датчиков, задействованных в беспилотном вождении

Датчик	Скорость передачи данных, Мбит/с
Камера	500...3500
Лидар	20...100
Радар	0,1...5
Ультразвуковой датчик	0,01

спечение безопасности – это ещё одна важнейшая задача при проектировании автомобиля. Поскольку всё больше функций помощи водителю и беспилотного вождения автоматизируется, очень большое внимание уделяется безопасности пассажиров.

## Зональная архитектура

Инженеры всегда пытаются уменьшить сложность конструкции, и это также относится к бортовым сетям.

На рис. 1 схематически показан автомобиль, в котором через объединительную плату передаются потоки данных с разными скоростями. Это грубое упрощение, но в рамках данного обсуждения оно помогает нам представить, как некоторые из этих технологий и стандартов работают вместе.

Зональная архитектура объединяет множество входов и, в конечном счёте, уменьшает сложность системы, стоимость и вес проводов, переходя от архитектуры «звезда» к архитектуре «шлейф» или «точка-точка». Это пример архитектуры на основе зон. Также существует архитектура на основе доменов. Обе архитектуры будут агрегировать данные с камер и датчиков, а Ethernet будет служить связующим звеном между каждой зоной или доменом. Поскольку центральный вычислительный комплекс связан с датчиками и устройствами через зональные сетевые шлюзы, зональный подход может обеспечить лучшую масштабируемость, а также повышенную надёжность и функциональность.

## Введение SerDes

В современных информационно-развлекательных системах автомобильные камеры и дисплеи обычно подключаются к электронному блоку управления (ЭБУ), обрабатывающему изображение, через соединение SerDes (последовательно-параллельный интерфейс). Сегодня они поставляются разными производителями, использующими закрытые проприетарные стандарты.

Для расширения зоны действия многофункциональных каналов интерфейс SerDes может потребовать перехода на более низкие скорости передачи и использования модуляции более высокого порядка (например, PAM-4). Кроме того, в качестве первичных соединений между зонами потребуются каналы Ethernet с более высокой пропускной способностью, возможно, с использованием 802.3ch со скоростью передачи до 10 Гбит/с.

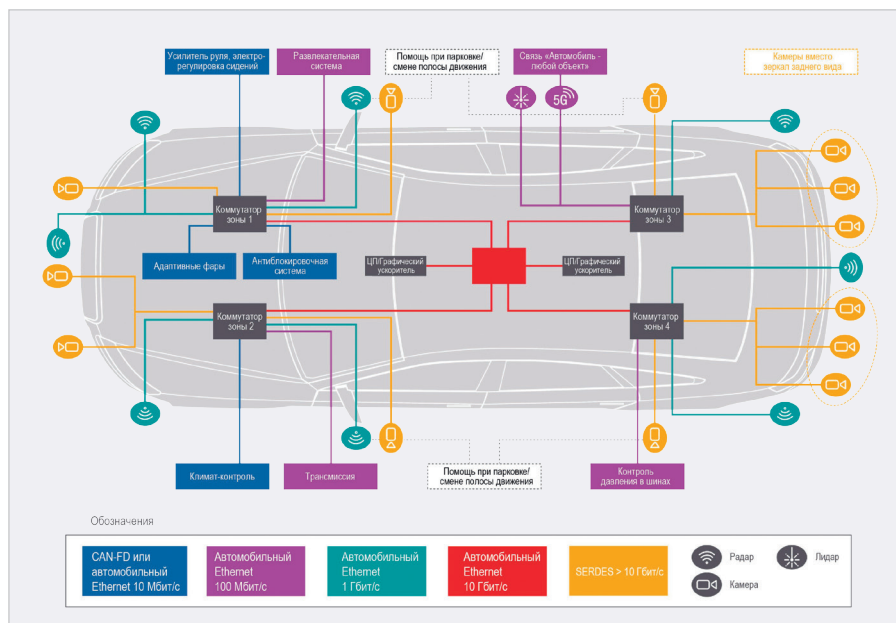


Рис. 1. Концептуальная схема зональной архитектуры бортовой сети



Рис. 2. Пример применения автомобильных дисплеев

Многие производители микросхем реализуют новые стандарты интерфейса SerDes, такие как MIPI A-PHY (спецификация физического уровня процессорного интерфейса переносных устройств, предназначенная для датчиков контроля окружающей обстановки систем помощи водителю и беспилотного вождения, а также дисплеев бортовых информационно-развлекательных систем) и Automotive SerDes Alliance (ASA). Это создаёт конкурентный рынок, который будет стремиться к снижению стоимости при обеспечении необходимых функций. Также существует желание иметь стандартизированные методы тестирования во всей экосистеме, которые устанавливают требования к функциональной совместимости. Испытателям и

поставщикам контрольно-измерительных приборов это позволит унифицировать требования к производителям микросхем, комплектного оборудования и их поставщикам первого уровня. Единые требования к испытаниям позволяют производителям микросхем, комплектного оборудования и их поставщикам первого уровня ускорить цикл разработки, снизить затраты и улучшить совместимость с другими серийно выпускаемыми устройствами.

На рис. 2 показан пример применения автомобильных дисплеев. Иллюстрация взята из документации MIPI Alliance и сопровождается ссылкой на вновь выпущенный стандарт A-PHY [1].

Некоторые функции SerDes следующего поколения поддерживают будущую сервис-ориентирован-





Рис. 3. Изображение с камеры заднего вида с разрывами передачи

ную архитектуру с туннелированием и адаптацией протоколов, что позволит новым стандартам SerDes пересылать данные устаревших автомобильных протоколов по шлейфовым соединениям к соответствующему ЭБУ или межсетевому мосту. Дублирование потоков обеспечивает критически важным для безопасности системам возможность резервирования на случай отказа основного канала связи. Соединение шлейфом позволит подключить несколько портов SerDes друг к другу, агрегируя данные на линии связи, прежде чем они поступят в ЭБУ. И наконец, функциональная безопасность достигается путем обеспечения сквозных механизмов защиты, соответствующих стандарту ISO 26262.

Эти функции востребованы в следующем поколении автомобилей, разработанных с системами помощи водителю и беспилотного вождения. Но существует ряд проблем, которые следует преодолеть, включая наличие различных кабелей и разъемов MDI (интерфейс, зависящий от передающей среды), обеспечение безопасности сети и совместимость с продукцией других производителей, технические проблемы тестирования передатчиков с целью обеспечения линейности и измерения спектральной плотности мощности (PSD) в сетях PAM-N. Также важно проверить устойчивость приемников к электромагнитным помехам для обеспечения работы в жестких условиях на борту автомобиля. Это сложное измерение, которое включает в себя подачу заранее определенных, калиброванных уровней шума на вывод RX устройства SerDes и контроль его способности синхронизировать символы в пределах допустимой погрешности.

### Тестирование на физическом уровне

Функциональная совместимость – это реальная проблема. Приемопередатчики – это чувствительные устрой-

ства, которые должны работать в чрезвычайно жестких условиях на борту автомобиля, включающих в себя тепло, вибрации, электростатические разряды и электромагнитные помехи.

Keysight разделяет три области тестирования. Первая – это передача. Вы должны быть уверены в том, что отправили то, что нужно было отправить. Вторая – это возможность приема, то есть то, насколько надежно ваше устройство (шлюз, модуль, коммутатор или другой компонент физического уровня) принимает полезные сигналы. И наконец, это характеристики пассивного соединения между приемопередатчиками, известного как сегмент линии связи. Проверка на физическом уровне охватывает все три эти области.

Конечная цель этого тестирования – обеспечение совместимости устройств разных производителей. В одном автомобиле может использоваться продукция более 100 поставщиков, для которых организации по сертификации создают соответствующие спецификации. Проверка оборудования по известным мировым стандартам позволяет оценить его способность обеспечить целостность данных и надежность его функционирования.

### Тестирование передачи

В случае с передатчиком мы стремимся удостовериться в хороших характеристиках передаваемого сигнала. Поэтому мы используем прибор, действующий как приемник – в данном случае осциллограф. Тестируемое устройство (IU) переключается в ряд известных состояний, а приемник проверяет, остаётся ли сигнал в пределах допустимых значений.

На рис. 3 показано изображение с камеры заднего вида с горизонтальными полосами. Полосы соответствуют разрывам передачи, т.е. потерянным пакетам. Одна или две полосы ещё позволяют видеть изображение, но вам определённо не захочется, чтобы оно превратилось в сплошные чёрные полосы, когда в слепой зоне находится ребёнок.

Камера изготовлена одним производителем, кабель – другим. То же самое можно сказать о коммутаторе, передающем сигнал, центральном процессоре или ЭБУ, обрабатывающим данные, и затем о тормозах, которые в конечном итоге должны остановить автомобиль. Все они выпускаются разными производителями, но должны исправно рабо-

тать вместе, что подчёркивает важность совместимости различных компонентов между собой.

Кроме того, требуемая скорость передачи данных возрастает в 100...1000 раз по сравнению с пропускной способностью шины CAN, а для обработки высокоскоростных сигналов требуются более сложные решения. Схемы модуляции становятся всё более сложными. Прежние стандарты, такие как CAN, использовали NRZ или PAM-2, в то время как для автомобильных интерфейсов Ethernet и SerDes используются уже PAM-3 и PAM-4. Таким образом, при тестировании передачи данных необходимо проверять их целостность, что требует:

- измерения джиттера передатчика, который может быть вызван ошибками синхронизации;
- тестирования спектральной плотности мощности, которая измеряется как шум в диапазоне частот (с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) или анализатора спектра), поскольку дорожки печатной платы при высоких скоростях передачи могут вести себя как антенны;
- измерения линейности для выявления любых искажений, вызванных отражениями, которые, в свою очередь, могут вызвать ошибки передатчика и битовые ошибки.

В итоге нам нужно убедиться, что передача данных не вызывает паразитных излучений, отражений или затуханий, а также не создаёт помех для других схем. Если устройство не пройдёт хотя бы один из этих тестов, то это приведет к символьным или пакетным ошибкам, потерянным кадрам в приемнике, то есть полосам на экране, как проиллюстрировано выше.

### Тестирование канала

Кабель, разъем, оснастка и жгут, соединяющий эти устройства, представляют собой канал или сегмент линии связи.

Для оценки влияния канала на сигнал и проверки целостности сигнала между передатчиком и приемником можно воспользоваться векторным анализатором цепей. Учитывая длину кабеля, используемого в жестких условиях автомобиля, очень важно рассмотреть зависимость импеданса от частоты, чтобы предсказать, как канал будет работать в автомобиле. Сегмент линии связи состоит из кабеля со штатными разъемами и ответными разъемами

устройств на обоих концах. Различные кабели, отвечающие за передачу данных управления и полезной нагрузки, а также подачу питания постоянного тока на удалённые датчики, объединяются в жгут. Измерение характеристик для канала SerDes включает в себя анализ во временной и частотной областях. Для этого необходимо изучить кабельную систему, MDI, а также требования к оснастке и схеме измерений.

Сам разъём MDI не является стандартизированным, но существуют некоторые жёсткие спецификации, позволяющие свести к минимуму взаимодействие между MDI и кабелем. На рис. 4 показан пример соединителя H-MTD, который используется в многотерабитных сетях автомобильного Ethernet, а также в линиях новых стандартов SerDes.

Тестирование канала нацелено на обнаружение таких ошибок, как:

- рассогласование импеданса;
- искажения или дефекты сигнала;
- перекрёстные помехи между кабелями.

### Тестирование приемника

Приёмники выполняют первичную обработку данных, переданных по каналу связи, а затем пересылают их для дальнейшей обработки в ЭБУ или устройство отображения. Битовые

ошибки в приёмнике приводят к потере или повреждению данных, поступающих от критически важных датчиков, таких как камеры, радары и лидары.

Обеспечение правильного функционирования приёмника становится всё более трудным для сложных типов модуляции, таких как PAM-4, особенно при передаче по длинным линиям, подверженным одновременному воздействию многих источников шума.

Чтобы охарактеризовать возможности приёмника, необходимо измерить уровни ошибок в присутствии многочисленных источников шума, включая:

- узкополосные помехи;
- подачу большого тока;
- переходные процессы в линии;
- перекрёстные помехи внутри жгута и между жгутами.

Схема измерений может включать источники шума, усилители и схемы связи, которые позволяют подавать точные уровни шума в активный канал интерфейса SerDes. Затем опрашиваются регистры качества сигнала TU, чтобы проверить, может ли приёмник правильно интерпретировать символы в присутствии шума. При тестировании приёмника особое внимание уделяется предельным показателям, чтобы убедиться, что он всё ещё может поддерживать приемлемый коэффициент битовых ошибок (BER).



Рис. 4. Пример соединителя MDI с H-MTD и SMA

### Прогноз на будущее

Будет больше камер, больше соединений и больше датчиков при лучшей точности, меньшем весе и повышенной надёжности. Несомненно, при этом возникнет потребность в бортовой автомобильной сети, которая способна беспрепятственно решать задачи быстрой передачи данных. Такие автомобильные сети должны тщательно тестироваться, поскольку они должны быть совместимыми и безопасными.

### Литература

1. URL: [https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/other/eipatd-presentations/2019/D1-04\\_KLAUS-Zonal\\_EE\\_Architecture.pdf](https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/other/eipatd-presentations/2019/D1-04_KLAUS-Zonal_EE_Architecture.pdf).
2. URL: <https://semiengineering.com/shedding-pounds-in-automotive-electronics/>.
3. URL: <https://groups.vesa.org/wg/AES/document/16623>.



## НОВОСТИ МИРА

### КЕБОТИХ УТВЕРЖДАЕТ, ЧТО НАХОДИТСЯ НА ПОРОГЕ «МНОГООБЕЩАЮЩЕГО» ПРОРЫВА В ОБЛАСТИ OLED

Компания Kobotix, занимающаяся разработкой реактивов и материалов с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, утверждает, что находится на пороге «многообещающего» прорыва в области органических светодиодов (OLED).

Технология OLED уже достаточно широко используется в электронных устройствах, включая смартфоны, компьютеры, телевизоры, портативные игровые консоли и другие устройства с плоскими экранами, которые требуют высокого качества изображения и низкого энергопотребления. По словам Kobotix, светодиоды OLED также набирают популярность в освещении, поскольку они обеспечивают рассеянный свет, менее вредный для человеческих глаз, и могут найти приме-

нение в секторе здравоохранения в виде носимых смарт-патчей со встроенными датчиками.

Технология OLED была изобретена в 1987 году специалистами компании Eastman Kodak и коммерциализирована в дисплее для автомобильных стереосистем Pioneer в 1997 году. Она не лишена недостатков. В частности, это низкий процент выхода годной продукции, высокая стоимость, проблемы с синим эмиттером и меньший срок службы органических материалов.

Используя свою запатентованную инновационную платформу с обратной связью, которая ускоряет открытия, компания Kobotix создала «конвейер» для интеллектуального проектирования молекул эмиттера OLED. Он использует способность искусственного интеллекта анализировать огромные объёмы данных с участием экспертов. Менее чем за шесть месяцев было обнаружено не-

сколько новых классов молекул-кандидатов, которые были проверены в прототипах.

В Kobotix рассчитывают, что уже в первом полугодии 2022 года всё будет готово к испытаниям новых материалов с партнёрами-производителями, заинтересованными в том, чтобы первыми внедрить коммерчески жизнеспособную технологию следующего поколения.

Новые материалы-эмиттеры, найденные Kobotix, лучше современных, наносимых в производстве дисплеев с помощью технологии молекулярного осаждения из паровой фазы. Они могут быть депонированы в стек из раствора, например, методом печати. Это открывает путь к более широкой коммерциализации технологии OLED в умных упаковках, носимых датчиках и других областях применения, где производственные затраты относятся к решающим факторам.

[ixbt.com](http://ixbt.com)