

# Содержание

<b>Предисловие от рецензента</b> .....	10
<b>Благодарности</b> .....	12
<b>Об авторах</b> .....	13
<b>Предисловие от авторов</b> .....	14
<b>Введение</b> .....	18
<b>Глава 1. Ключевые аспекты автономных и подключенных транспортных средств</b> .....	20
1.1. Тематика этой книги и ее ограничения .....	21
1.1.1. Архитектуры.....	21
1.1.2. Коммуникационные сети .....	22
1.2. Терминология.....	22
1.2.1. Автономные и/или подключенные транспортные средства .....	22
1.2.2. Термины и определения, относящиеся к автономному транспорту.....	24
1.3. Краткая история автономного транспортного средства.....	38
1.3.1. Наши ожидания от автономного транспорта .....	38
1.3.2. Типы двигателей и автономные транспортные средства .....	40
1.4. Влияние пандемии COVID-19 .....	40
<b>Глава 2. Сопутствующие аспекты при разработке автономных и подключенных транспортных средств</b> .....	42
2.1. Словарь .....	43
2.2. Нормативные аспекты и рекомендации .....	44
2.2.1. Текущие постановления и нормы, действующие в отношении автономных транспортных средств .....	44
2.2.2. Смягчение законодательства об автономных транспортных средствах .....	45
2.2.3. Автономные транспортные средства в Германии .....	47
2.2.4. Автономные транспортные средства во Франции .....	48
2.2.5. Автономные транспортные средства в США.....	52
2.3. Законодательный аспект – Кодексы .....	53
2.3.1. Статья R415-5 .....	53
2.3.2. Статья R110-2 – остановка.....	54
2.3.3. Статья P417-10 – об остановке и стоянке .....	54
2.4. Нормативные аспекты.....	56
2.4.1. ISO, CEN и IEC, CENELEC.....	57
2.4.2. BNA.....	57
2.4.3. ETSI.....	57

2.4.4. ASQUER .....	58
2.5. Правовые аспекты.....	58
2.5.1. Международные аспекты .....	58
2.5.2. Пример: национальные правовые нормы Франции .....	59
2.6. Соображения, связанные со страхованием .....	65
2.6.1. Гражданская ответственность.....	65
2.6.2. Уголовная ответственность .....	66
2.6.3. Кто платит в случае аварии?.....	67
2.6.4. Другие проблемы, требующие решения.....	67
2.7. Моральные и этические аспекты, связанные с автономными транспортными средствами .....	68
2.7.1. Дилеммы, которые необходимо решить .....	68
2.7.2. Достижимые технические цели.....	69
2.8. Безопасность .....	69
2.8.1. Слабые звенья .....	70
2.8.2. Уровни безопасности, применяемые в транспортных средствах .....	73
2.8.3. Криптография .....	74
2.8.4. Уязвимости подключенных транспортных средств .....	76
2.8.5. Уровни безопасности в обычных и автономных транспортных средствах .....	76
2.9. Аспекты кибербезопасности .....	76
2.9.1. Общие положения.....	77
2.9.2. Безопасность личных автомобилей.....	78
2.9.3. Проблема с парками транспортных средств.....	78
2.9.4. Что нам делать?.....	78
2.9.5. Кибербезопасность и страхование .....	79
2.10. Социальные аспекты и GDPR .....	80
2.10.1. Положение об индивидуальных и общественных свободах.....	80
2.10.2. Закон Франции об информации и свободах .....	81
2.10.3. Мандат 436.....	83
2.10.4. Общий регламент по защите данных .....	84
2.11. Аспекты, касающиеся охраны здоровья.....	89
2.12. Аспекты, связанные с экологическими нормами.....	90
2.12.1. Переработка компонентов .....	90
2.12.2. Переработка электронных отходов.....	90
2.13. Аспекты, связанные с общественной приемлемостью .....	91
2.13.1. Человеческий фактор.....	91
2.14. Аккумуляторные технологии в электрических и автономных транспортных средствах .....	94
2.14.1. Электрический и автономный... но на каком расстоянии? .....	94
2.14.2. Принцип работы электрической батареи.....	95
2.14.3. Настоящее и будущее аккумуляторных технологий.....	97
2.15. Прочие термины и понятия .....	103
2.15.1. Тестирование .....	103
2.15.2. Испытания .....	104
2.15.3. Валидация.....	104

2.15.4. Омологация .....	105
2.15.5. Сертификация .....	108
2.16. Прогноз развития автономных транспортных средств .....	108

### **Глава 3. Переход от DAS, ADAS и HADAS к L3, L4, L5 .....**

3.1. Функции, которые необходимо обеспечить.....	110
3.2. Датчики и технологии, применяемые в беспилотных автомобилях .....	117
3.2.1. Общие положения .....	117
3.2.2. Зрение .....	118
3.2.3. Камеры.....	118
3.2.4. Радар .....	131
3.2.5. Лидар.....	135
3.2.6. Ультразвуковые датчики (сонары).....	152
3.2.7. Позиционирование транспортного средства .....	153
3.2.8. Измерение динамики движения автомобиля.....	155
3.2.9. Промежуточные итоги.....	155
3.2.10. Примеры применения систем автономного вождения .....	159
3.3. ADAS и компания .....	164
3.3.1. DA – помощь водителю .....	164
3.3.2. ADAS – передовые системы помощи водителю.....	165
3.3.3. HADAS – высокоуровневые передовые системы помощи водителю .....	165
3.3.4. ADAS – дополнительная информация .....	165
3.3.5. Неполный перечень примеров некоторых систем ADAS .....	169

### **Глава 4. Сети и архитектура .....**

4.1. Различные сетевые решения.....	183
4.1.1. Управление силовой установкой .....	184
4.1.2. Управление шасси .....	185
4.1.3. Управление кузовом автомобиля .....	185
4.1.4. Управление коммуникациями .....	188
4.1.5. Управление безопасностью и ADAS.....	188
4.1.6. Контролируемое и организованное управление комплексом систем.....	188
4.2. Подключенный автомобиль .....	188
4.2.1. Большие данные – новое золото автомобильной индустрии .....	188
4.2.2. Связь .....	190
4.3. Автономные транспортные средства: объединение данных, искусственный интеллект и смежные технологии.....	199
4.3.1. Объединение данных датчиков .....	201
4.3.2. Искусственный интеллект, машинное обучение и глубокое обучение.....	207
4.3.3. Подробнее о машинном и глубоком обучении .....	209
4.4. Аппаратная архитектура транспортных средств.....	216
4.4.1. Разновидности топологии коммуникационной сети.....	217
4.4.2. Архитектуры автомобильного оборудования.....	220

4.5. Типы сетей и описание протоколов, используемых в автономных транспортных средствах .....	228
4.5.1. LIN .....	229
4.5.2. SENT .....	229
4.5.3. CAN .....	233
4.5.4. FlexRay .....	271
4.5.5. MOST .....	276
4.5.6. LVDS .....	279
4.5.7. Обзор сетей автомобильного наследия .....	280
<b>Глава 5. Ethernet и автомобили .....</b>	<b>282</b>
5.1. Промышленный Ethernet .....	284
5.1.1. Немного истории .....	284
5.1.2. Общие принципы .....	285
5.1.3. Кадр Ethernet в IEEE 802.3 .....	285
5.1.4. Распространенные варианты Ethernet .....	288
5.1.5. Варианты физического уровня промышленного Ethernet .....	291
5.2. Парадигмы физических уровней Ethernet и автомобилей .....	300
5.2.1. Введение .....	300
5.2.2. Узкое место автомобильного Ethernet = стоимость + электромагнитная совместимость .....	302
5.2.3. Выбор физического уровня в автомобилях .....	303
5.3. Варианты уровня Ethernet PHY, используемые в автомобилях .....	328
5.3.1. Ethernet 100 Мбит/с в автомобилях .....	328
5.3.2. Автомобильный Ethernet на скорости 1 Гбит/с .....	335
5.3.3. Multi-Giga Ethernet в автомобилях .....	338
5.3.4. Автомобильный Ethernet на скорости 10 Мбит/с .....	339
5.3.5. Питание через Ethernet – PoE IEEE 802.3bu .....	341
5.3.6. Общий обзор Ethernet в автомобилях .....	341
5.3.7. OPEN Alliance .....	342
5.3.8. Электронные компоненты для автомобильного Ethernet .....	343
5.4. Детерминированный Ethernet, работающий в реальном времени, и автомобильный Ethernet .....	350
5.4.1. Детерминированный Ethernet и Ethernet реального времени, или TSN .....	350
5.4.2. TSN .....	352
5.4.3. Сводный обзор применяемых стандартов .....	361
<b>Глава 6. Моделирование, приложения и архитектура программного обеспечения для автомобилей .....</b>	<b>363</b>
6.1. Программное моделирование автономного транспортного средства и его окружения .....	363
6.1.1. Моделирование .....	364
6.1.2. Синхронный сбор данных при высоких скоростях передачи .....	366
6.1.3. Программное решение для измерения и калибровки .....	367
6.1.4. Аппаратное решение для высокоскоростного сбора данных .....	368

6.1.5. Решение для регистрации данных со скоростью 1 Гбит/с .....	369
6.1.6. Решения для транспортировки терабайтных объемов записанных данных.....	371
6.1.7. Три подхода к моделированию .....	372
6.1.8. Физическое моделирование и моделирование окружающей среды .....	372
6.1.9. Моделирование – промежуточный итог .....	379
6.2. Эволюция аппаратной и программной архитектуры автомобиля .....	380
6.2.1. Эволюция архитектуры электрических и электронных систем .....	380
6.2.2. Эволюция архитектуры программного обеспечения в автомобилях.....	385
6.2.3. Автомобильный Ethernet.....	393
6.3. Функции.....	398
6.3.1. Модель автомобильных коммутаций.....	398
6.3.2. XCP в сети Ethernet .....	400
6.3.3. DoIP – диагностика по IP .....	402
6.3.4. AVB – аудио/видеомост (IEEE 802.1) .....	406
6.3.5. Сервисно-ориентированная связь SOME/IP .....	414
6.4. Инструменты тестирования и анализа.....	427
6.4.1. Инструменты, необходимые для новых архитектур .....	427
6.4.2. Эволюция средств разработки .....	428
6.5. Выводы.....	450
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>452</b>

# Предисловие от рецензента

Прежде всего я хочу поблагодарить Доминика Паре и Хассину Ребейн за их идею написать эту превосходную книгу о технологиях, без которых невозможно создать автономные транспортные средства будущего. Почти ежедневно в этой области появляются новые разработки, но технической литературы пока очень мало.

Франция намерена воспользоваться уникальной возможностью и к 2030 году занять лидирующие позиции среди разработчиков и производителей автономного транспорта, поскольку мировая автомобильная промышленность в настоящее время переживает период обширных и глубоких изменений. Транспортные средства будут частично или полностью автономными, подключенными, электрифицированными, общественными и т. д. Способы их использования также развиваются, а новые виды транспорта расширяют спектр возможностей. Кроме того, пользователи жаждут получить новые впечатления в результате изменения их образа жизни и окружающей среды.

Каждый день появляются новые технологии и связанные с ними навыки, позволяющие понять, развить и реализовать незнакомый доселе опыт. Традиционные инженерные науки XX и начала XXI века все больше внимания уделяют человеку, а инженерам завтрашнего дня придется быть еще и дизайнерами, маркетологами, психологами, юристами, философами...

Меняются даже термины. Вместо *эргономики* мы обсуждаем *человеко-машинные интерфейсы*; *бортовую электронику* заменили *сенсорика, большие данные и алгоритмы*; объектом государственного регулирования стали *персональные данные*, а ключевое место в современной автоматизации начинает занимать *этика*.

Подготовка инженеров не является исключением в этом стремительно меняющемся контексте. Глубокие изменения происходят повсюду: новые специальности, новые факультеты, слияние вузов; непрерывные циклы образования школа–вуз; государственные гранты на образование; международный обмен студентами и совместные курсовые проекты; цифровая инженерия; новые технологии обучения. Однако этого еще недостаточно. Автомобильная отрасль должна вовлекать своих инженеров и техников в совместное строительство нового академического мира, в разработку курсов, проведение стажировок и конференций, приглашать на профессорские должности и т. д. Сегодня уже ясно, что транспортные средства будущего будут в значительной степени основаны на концепции искусственного интеллекта (ИИ), но на самом деле такой ИИ лишь воплощает коллективный интеллект инженеров, которые его разработали.

Эта чрезвычайно познавательная книга адресована читателям, желающим изучить устройство и способы применения автономных транспортных средств различного назначения (независимо от подключения к сети обмена данными), а также проектировщикам транспортных систем.

На мой взгляд, уникальность этой книги состоит в том, что в ней в доступной форме изложены все фундаментальные основы автомобильной инжене-

рии – функциональные, программные и аппаратные аспекты технологических строительных блоков, представлены архитектуры, описаны различные протоколы, рассказано о действующих правилах и нормах, включая обработку конфиденциальных данных и вопросы физической и кибернетической безопасности. Не остались без внимания и важные аспекты технико-экономической реализации этих систем в реальном мире.

Доминик и Хассина на протяжении многих лет являются признанными экспертами международного уровня в области автомобильных архитектур и сетей, как мультиплексированных (LIN, CAN, CAN FD, FlexRay и т. д.), так и «точка-точка с коммутацией» (быстрый и сверхбыстрый Ethernet). Высокая техническая сложность тем, рассматриваемых в этой книге, свидетельствует об уровне их профессионализма.

Я искренне уверен, что эта книга поможет читателям развить навыки, необходимые для разработки автономных транспортных средств!

*Филипп Омон,*  
вице-президент SIA (Société des Ingenieurs de l'Automobile)

# Об авторах

Два автора этой книги в течение многих лет вместе работали над аппаратным и программным обеспечением для бортовых систем, протоколами, структурами и архитектурами сетей связи в автомобильной и авиационной отраслях.

**Доминик Паре** – инженер-электронщик, обладатель диплома технического университета Breguet-ESIEE и степени магистра перспективных исследований в области физики в UPMC, Париж. В течение многих лет, до своей недавней отставки, он был техническим экспертом и занимался разработками в области бесконтактных/радиочастотных технологий (бесконтактные чип-карты, RFID, NFC, Geoloc, Zigbee, BT, BLE, UWB, UNB, IEEE 804-xxx и др.), а также автомобильных технологий и мультиплексируемых сетей в составе международной группы по производству электронных компонентов (Philips – NXP). Он был членом и делегатом консультативных органов AFNOR, ISO и BNA в роли эксперта. Параллельно с этой карьерой преподавал примерно в 15 технических вузах как в своей родной Франции, так и за рубежом.

Доминик Паре является основателем и генеральным директором консалтинговой и технической компании dp-Consulting, которой он руководил в течение 12 лет, а также соучредителем GDPR Associates. Он также является автором более 35 технических книг, опубликованных на французском, английском, испанском, корейском и китайском языках.

**Хассина Ребейн** – инженер-электронщик широкого профиля. Она окончила Алжирский национальный политехнический колледж, имеет докторскую степень по электронике по системам СБИС CAD и степень DEA по обработке информации INSTN, UPMC, Париж.

Начала свою профессиональную деятельность с разработки инструментов моделирования для СБИС ASIC, а впоследствии переключилась на разработку FPGA/ASIC, написанных на VHDL, для компании Verilog (Europe Technologies).

Сегодня Хассина работает менеджером по обучению в компании Vector в области автомобильных бортовых систем. В сферу ее интересов входят инструменты для проверки использования протоколов связи CAN, LIN, FlexRay и Ethernet. Она также преподает в ряде технических колледжей и университетов.



# Предисловие от авторов

На протяжении долгой карьеры в полупроводниковой промышленности (а именно в Philips Semiconductors/NXP) мне посчастливилось играть прямую и активную роль в планировании, разработке и создании различных протоколов и консорциумов по стандартизации, таких как ISO, BNA, CAN (с Bosch), LIN (с Motorola), FlexRay (с BMW и Freescale), CAN FD и CAN XL (с Bosch – CiA) и Ethernet BroadR-Reach (с BroadCom). Кроме того, поскольку я всегда любил делиться знаниями, одновременно с основной работой я обучал и профессионалов, и студентов инженерных специальностей – в общей сложности сотни человек – по направлениям «Встроенные системы и сети» и «Автомобильные бортовые сети». Параллельно за свою карьеру я опубликовал десятки книг, в том числе несколько в сотрудничестве с Хасиной Ребейн, сотрудником инженерной службы компании Vector.

## Почему мы написали эту книгу?

За последние годы мы опубликовали несколько технических книг по темам «CAN», «FlexRay и его применение» и «Мультиплексные сети для встраиваемых систем». В последней книге наше внимание было сосредоточено на неизбежности внедрения в автомобильной отрасли протоколов CAN FD и CAN XL, которые лягут в основу взрывного развития будущих систем ADAS (advanced driver assistance system, усовершенствованная система помощи водителю), а также на ранних реализациях сети Ethernet в транспортных средствах, начинающих обретать первые проблески реальной автономии. С тех пор мы прочесывали рынок в поисках книги разумного уровня сложности, ясной, простой, точной и легкодоступной, отвечающей на вопросы «почему и как» и описывающей различные аспекты архитектуры сетей передачи данных для автономных транспортных средств (фактически это «скелет» автомобиля). По правде говоря, вместо такой книги мы обнаружили бесплодную пустыню – за исключением нескольких работ, упомянутых в библиографии, нам попадались либо слишком упрощенные книги, либо специализированные монографии и университетские диссертации, посвященные определенному аспекту научных исследований. В течение трех лет мы посетили огромное количество конференций (включая очень дорогие), маркетинговых симпозиумов, охватывающих целый ряд областей и тем, касающихся автономных транспортных средств, транспорта и т. д. Когда мы попытались получше разобраться в состоянии отрасли, включая прикладные аппаратные и программные архитектуры, *настоящие* скорости передачи данных, *реальные* проблемы, – в общем, захотели вникнуть в ежедневные заботы автопроизводителей, OEM-производителей, малых и средних предприятий, стартапов и т. д., – мы обнаружили аналогичное отсутствие обобщающих публикаций. Кроме того, проработав долгое время в автомобильной отрасли, мы постоянно сталкивались с удручающей путаницей

терминов и определений, относящихся к интеллектуальным и/или автономным транспортным средствам. Поскольку с таким положением дел мириться нельзя, после многочисленных дискуссий с рядом коллег и друзей мы решили еще раз набраться смелости, собрать воедино все доступные знания в этой области и, в надежде заполнить какую-то малую часть пустоты, написать эту сугубо техническую книгу, посвященную автономным (или почти автономным) транспортным средствам, которые – как теперь стало ясно – в обозримой перспективе найдут широкое применение.

## Как устроена эта книга и как ей пользоваться

Мы много раз переписывали и перетасовывали разделы этой книги, чтобы она была связной и удобочитаемой, а читатели могли легко сориентироваться. В итоге мы разделили книгу на пять основных частей.

В первой части мы определяем предмет обсуждения и обрисовываем разумные границы обширной темы, с которой имеем дело, включая косвенные, но неотъемлемые технологические и правовые аспекты. В этой части мы предлагаем:

- общее введение в мир автономных транспортных средств, включая точные определения различных уровней *автономности* и *подключенности* автомобиля, вводим термины и рассматриваем вероятные тенденции развития (глава 1);
- описание и детальный анализ многочисленных аспектов, контекстов, ограничений и проблем (нормативных, правовых, моральных, этических и т. д.), влияющих на конструкцию автономных транспортных средств, которые должны поступить на рынок в период с 2022 по 2035 год. На первый взгляд эти вопросы могут показаться второстепенными, но на самом деле от них зависят важные аспекты проектирования и эксплуатации различных транспортных средств (глава 2).

Вторая часть более инженерная. Она разделена на две основные части, проиллюстрированные многочисленными практическими примерами, и включает в себя:

- подробный технический обзор многочисленных датчиков, прямо или косвенно связанных с автономностью транспортного средства (инфракрасные, ультразвуковые, камеры, радары, лидары, инерциальные навигационные системы и т. д.) (глава 3);
- подробный технический обзор различных ADAS и, в частности, слияния данных в этих системах. Мы исследуем внедрение в такую систему искусственного интеллекта, способного принимать решения, совместимые с желаемым уровнем автономии. Обсуждение также затрагивает проблемы, связанные с мобильностью, удобством и безопасностью передачи данных (глава 3).

Затем мы переходим к третьей части, которая посвящена базовым технологиям и рассказывает про:

- различные сетевые архитектуры, используемые для реализации сетей управления и передачи данных в структурных блоках автомобиля, – силовой

агрегат, шасси, оборудование для комфорта, информационно-развлекательная система, ADAS и т. д. – для удовлетворения требований к автономным и/или подключенным транспортным средствам с точки зрения эксплуатационной безопасности и кибербезопасности (глава 4);

- растущую пропускную способность этих сетей, обеспечивающих скорость передачи данных, достаточную для функций автоматизации. Также в этой части подробно обсуждаются протоколы CAN FD, CAN XL и FlexRay.

В четвертой, самой высокотехнологичной части мы описываем возможности Ethernet в промышленном мире, особенности, характерные для автомобильного рынка, и новые магистральные структуры в коммутируемых высокоскоростных (до нескольких Гбит/с) сетях, применяемые в автомобилях (глава 5).

Наконец, в пятой части приведено подробное описание программного обеспечения и инструментов, которые приобретают все большее значение при моделировании, разработке, тестировании, калибровке и диагностике всех узлов будущих «автономных суперкомпьютеров на колесах» (глава 6).

## Кому адресована эта книга

Эта книга предназначена для всех, кому интересна новая (или почти новая) обширная область автономного транспорта, охватывающая множество физических, технологических, технических, промышленных и маркетинговых аспектов. Конечно, она также написана для студентов, профессионалов автомобилестроения, желающих повысить свою квалификацию, новичков в автомобильной отрасли и просто любителей техники.

## Ожидаемый уровень подготовки читателей

Читателям вовсе не обязательно обладать профессиональными техническими знаниями. Мы стремились к тому, чтобы каждый читатель нашел в этой книге что-то полезное, но главная цель состоит в том, чтобы удовлетворить любопытство читателей и максимально быстро и доходчиво предоставить технические знания на высоком уровне.

## Стиль изложения

Поскольку мы оба в течение многих лет преподаем в вузах и обучаем экспертов в области автономного транспорта, используемый язык и тон намеренно сделаны простыми и доступными без ущерба для точности. Чтобы обеспечить полное представление о предмете, мы предлагаем множество примеров промышленного применения. Кроме того, главный мотив, побудивший нас написать эту книгу, – острое желание поделиться знаниями с миром. Для любознательных читателей мы включили в текст многочисленные сводные таблицы, отраслевые секреты и занимательные истории. Проще говоря, эта книга предназначена для обучения с удовольствием и наслаждения новыми знаниями.

## Примечание

Конечно, эта книга в чем-то совпадает с нашими предыдущими публикациями. Стремясь охватить в одной книге столь обширные и разнородные знания, невозможно избежать повторений. Мы считаем, что это цена, которую стоит заплатить за то, чтобы в этой книге была представлена непрерывная картина новой отрасли. Поэтому мы просим читателей благосклонно отнестись к нашей работе.

Напомним, Ethernet был разработан в 1975 г., протокол I2C – в 1979 г., D2B (предшественник MOST) – примерно в 1981 г., шина CAN – в 1983 г. и т. д. Все эти технологии развивались около 40 лет и не собираются уходить со сцены. Так что неудивительно, если вы о чем-то уже хорошо знаете и даже используете в своей работе. Фактически мы живем в окружении винтажных технологий!

## Отзывы и пожелания

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге, – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com); при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

## Список опечаток

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг, мы будем очень благодарны, если вы сообщите о ней главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com). Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и поможете нам улучшить последующие издания этой книги.

## Нарушение авторских прав

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательства «ДМК Пресс» и Manning Publications очень серьезно относятся к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу электронной почты [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.

# Введение

## Предупреждение

Эта книга не предназначена для использования в качестве энциклопедии по автономным и/или подключенным транспортным средствам. Ее единственная цель – рассказать о разновидностях, выборе, принципах работы, свойствах и архитектуре сетей, которые можно использовать в автономных транспортных средствах, в зависимости от множества внешних параметров. Поэтому часть книги (по существу, более ранние главы) отведена под подробное описание различных параметров и методики их выбора – например, топологии сети, скорости передачи данных, сквозных задержек, уровня безопасности, соответствия нормам, стандартам и правилам и т. д.

В этой книге сталкиваются разные миры – в основном мир автомобилей, связанные с ним предметные области и многочисленные сущности из миров электроники, механики и коммуникаций. Все эти дисциплины имеют свой специфический словарный запас, свои способы бытия и действий, методы проектирования, маркетинговые приемы и коммерческие подходы, которые, как правило, сильно различаются, – и это совершенно нормально. В электронике обычно применяется линейный тип мышления, работающий шаг за шагом в логической последовательности. Однако в автомобильном мире техническая мысль движется по намного более извилистому пути, потому что все реагирует на окружающие факторы (и влияет на них в ответ), и часто нам нужно рассматривать продукт, который хочет конечный клиент, как непрерывное целое, а не набор подсистем.

## Прежде чем мы начнем...

Прежде чем отправиться в это долгое путешествие, давайте сделаем два важных замечания.

На тему автономных и подключенных транспортных средств в интернете опубликованы сотни статей, хороших и не очень. В них представлены сложные и удивительные теории, всевозможные разнообразие и обширные будущие рынки, невероятные протоколы шифрования и т. д. Мы не любим непродуктивную избыточность, поэтому сосредоточились исключительно на темах, о которых написано не так много статей, то есть на приземленной, повседневной жизни в этой области, и намерены предложить конкретное и технически грамотное обсуждение широкого спектра применений и архитектур. При этом наша цель состоит в том, чтобы вовремя направлять читателей, ничего не упускать из виду и избегать ловушек, с которыми можно столкнуться в процессе проектирования и внедрения безопасных, автономных и подключенных транспортных средств. Очень полезно рассказывать о таких вещах в лекциях

и докладах (как мы видели и слышали много раз). Однако намного полезнее физически реализовать подключенное решение для коммерческих целей и продавать его в больших количествах по разумной цене. В противном случае было бы лучше ничего не делать и отказаться от пустой болтовни. В этой книге описаны методики, которых нужно придерживаться, чтобы избежать типичных ловушек в проекте и облегчить переход от виртуального мира к реальному. Именно поэтому мы предлагаем подход, основанный на реальных технических, финансовых, эргономических и других стандартах, а не на громких обещаниях.

По этому поводу в конце 2018 г. Бернар Фавр, эксперт Inria и бывший руководитель отдела исследований Volvo-Renault Trucks и программы промышленных исследований LUTV Transport and Systems, написал следующее. «Автономные транспортные средства – это очень сложная технология, в которой, вероятно, сложнее использовать искусственный интеллект, чем в любой другой области. Никакой другой сектор промышленности не сталкивается с таким разнообразием ситуаций. В настоящее время нас захлестнула волна лабораторных инноваций, но все еще нет реального проверенного рынка... Количество тестов, которые требуются автопроизводителям для проверки характеристик автономных транспортных средств, стремительно растет. Они включают в себя физические эксперименты в реальных условиях и цифровое моделирование... Регулярно наблюдая несоответствие между тем, что говорят автопроизводители в прогнозах о доступности новых технологий, и тем, когда они действительно становятся доступными для коммерциализации (по разным причинам: зрелость, законы, приемлемость на рынке, стоимость, реальная производительность и т. д.), я начинаю бояться, что судьба автономных транспортных средств ничем не будет отличаться от того, что я неоднократно видел в своей карьере». В заключение он прогнозирует, что «полностью автономные автомобили будут работать на ограниченных трассах к 2025 г. Что касается использования автономных транспортных средств на произвольных дорогах общего пользования / открытых дорогах, это, вероятно, будет 2040 год...»

Это точка зрения, которую мы, авторы, уже давно разделяем.

Так что эта книга должна оставаться на ваших рабочих столах в качестве справочника по крайней мере до 2035 г. – пожалуй, этого будет достаточно.

# 1

## Ключевые аспекты автономных и подключенных транспортных средств

Эта книга начинается с главы, состоящей из двух частей, непосредственно связанных с технологиями, которые применяются как в транспортных средствах в целом, так и в автономных и подключенных транспортных средствах.

Первая часть главы дает краткий обзор понятий, встречающихся в области автономного транспорта. Она поможет нам избежать путаницы, обычно возникающей на пересечении разных отраслей, и внесет ясность в толкование терминов, используемых в контексте автономных транспортных средств.

Вторая часть описывает огромный мир транспортных средств, окружающие его темы, освещение в обычной и специализированной прессе и отслеживает цепочку проектирования, тестирования, доводки и промышленного производства продукта вплоть до успешных продаж на рынке.

К тому времени, когда эту книгу опубликовали во Франции в 2021 г., мы располагали следующими статистическими данными:

- в мире уже насчитывалось более миллиарда автомобилей (источник: Комитет французских автопроизводителей – CCFA);
- в 2016 г. в Париже водители провели в пробках более 65 ч. Ситуация была еще хуже в Москве (91 ч) и в Лос-Анджелесе (104 ч) (источник: исследование INRIX, 2016 г.);
- ежегодно во всем мире в дорожно-транспортных происшествиях погибали 1,3 млн человек (источник: ВОЗ);
- каждый год во всем мире 2,6 млн смертей вызваны загрязнением воздуха, которое частично связано с автомобильным движением;
- прогнозируется, что в 2030 г. в результате дорожно-транспортных происшествий погибнет 2,3 млн человек (источник: ВОЗ);
- к 2050 г., по прогнозам, 70 % населения мира будут проживать в городах (источник: ВОЗ).

Кроме того, население мира постоянно увеличивается, что приводит к следующим проблемам:

- увеличение трафика;
- заторы в центре города;
- стремительный рост выбросов CO<sub>2</sub>;
- рост количества дорожно-транспортных происшествий.



В краткосрочной и среднесрочной перспективе все эти соображения ставят вопрос о том, каким должен быть транспорт будущего *urbi et orbi* (в городах и за их пределами). Кроме того, в первой половине XXI века автомобильная промышленность претерпевает серьезные технологические изменения, и, как упоминалось в предисловии, со временем автомобили станут частично или полностью автономными, подключенными, часто электрическими, общественными и т. д. Варианты их использования будут становиться разнообразнее, а новые формы мобильности, технологии и функции будут расширять спектр возможностей.

Как мы уже говорили, эта техническая книга – всего лишь один камень в фундаменте огромного здания, состоящего из автономных и подключенных транспортных средств. Поэтому мы ограничили поле нашего исследования небольшой частью этого здания.

## 1.1. Тематика этой книги и ее ограничения

Автономные и/или подключенные транспортные средства представляют собой огромную и очень сложную тему, включающую очень много понятий, которые необходимо усвоить. Поэтому мы начнем с краткого обзора областей, которые решили охватить в этой книге. Стоит заметить, что, хотя мы решили сосредоточиться только на технических и технологических аспектах, каждый из них имеет свою собственную философию и техническое воплощение.

### 1.1.1. Архитектуры

В автомобиле присутствует широкий спектр архитектур, которые конфликтуют, перекрываются, сосуществуют или вытесняют одна другую. В этой книге мы рассмотрим следующие архитектуры:

- **функциональная архитектура**, определяющая общую организацию всех системных функций автомобиля. Данной архитектуре мы уделим лишь небольшое внимание;
- **сетевая архитектура**, определяющая способ выбора и структурирования протоколов и обмена данными между функциональными узлами и ЭБУ (электронный блок управления, electronic control unit) в автомобиле. Это будет основной темой книги, поскольку мы постепенно переходим от мультиплексных сетевых систем к автомобильным архитектурам Ethernet;
- **аппаратная архитектура**, целью которой является структурирование и определение выбора ЭБУ, электронных узлов, датчиков, приводов и т. д. Этот тип архитектуры мы также обсудим достаточно подробно, поскольку он напрямую связан с различными типами данных, которые необходимо обрабатывать и передавать;
- **программная архитектура**, которая определяет структуру и управление различными программными модулями в автомобиле. В конце книги мы рассмотрим программные архитектуры, предназначенные для сетей;
- **органическая архитектура**, отвечающая за реализацию различных функций электрических и электронных компонентов автомобиля;



- **топологическая архитектура**, определяющая принципы физического размещения различных систем и компонентов внутри транспортного средства. Данная архитектура имеет решающее значение для оценки и минимизации физической длины сетевых соединений, которые прямо влияют на максимально достижимые скорости передачи данных;
- **кабельная архитектура**, определяющая способ физического разделения сетей и жгутов кабелей и их укладку в транспортное средство, их характеристики, сечение, вес и т. д.

### 1.1.2. Коммуникационные сети

В течение многих лет в транспортных средствах использовались различные типы коммуникационных сетей. Каждая сеть имела свое узкое назначение.

Значительная часть этой книги посвящена анализу качества и быстродействия таких сетей с целью создания подходящих и безопасных приложений для транспортных средств, обладающих высоким уровнем автономности и возможностью подключения к внешним сетям. До недавнего времени большинство этих сетей были основаны на мультиплексной технологии, и многие из них сейчас находятся в процессе перехода к протоколу Ethernet, адаптированного для использования в автомобилях. Одна из главных целей нашей книги – провести читателей через этот технологический переход.

## 1.2. Терминология

Словарь терминов, помещенный в начало книги, может выглядеть немного странно. Но прежде чем обсуждать автономные транспортные средства, необходимо четко определить и описать различные уровни автономности, чтобы исключить множество потенциальных недоразумений и обойтись без неуместных обобщений и путаницы, которые типичны для непрофессиональных публикаций в средствах массовой информации.

### 1.2.1. Автономные и/или подключенные транспортные средства

Начнем с того, что читатели должны понимать глубокое различие между *автономными* и *подключенными* транспортными средствами. Эти термины обозначают два совершенно разных понятия, которые ни в коем случае нельзя смешивать.

- По определению, *автономное* транспортное средство должно быть способно передвигаться без посторонней помощи, в одиночку, в любом месте и в любое время, без каких-либо ограничений в управляемости, без участия или даже присутствия водителя. Если говорить проще, автомобиль или автономен, или нет. Он не может быть почти автономным или полуавтономным – это не имеет смысла.
- Тем не менее, чтобы оценить характеристики транспортного средства, мы можем говорить об *уровнях автономности* (т. е. о способности транспортно-

го средства быть автономным), позаботившись четко обрисовать ситуацию, о которой идет речь.

- **Подключенное** транспортное средство – это транспортное средство, которое связано с внешними системами и сетями посредством телекоммуникационных систем, включая сотовую связь, Wi-Fi и т. д.
- Автономное транспортное средство не обязательно является подключенным, и наоборот.

С другой стороны, автономное транспортное средство часто приходится делать подключенным для решения сопутствующих задач (например, для загрузки или выгрузки информации о дороге, по которой движется автомобиль) – вот почему так часто возникает путаница.

## Автономные транспортные средства

Термины «автономность» и «автономные транспортные средства» слишком широки и слишком неточно определены. Чтобы избежать путаницы в этой книге, описывающей методологию и понятия автомобильной промышленности, мы будем использовать четкие определения уровней автономности, о которых расскажем позже.

## Подключенные транспортные средства

Мы часто упоминали подключенные транспортные средства, но пока ничего не говорили о том, к чему они подключены, зачем и как. На рис. 1.1 показаны некоторые из возможных вариантов подключения. Они будут обсуждаться более подробно в главе 4.

В завершение этого краткого общего введения на рис. 1.2 показано транспортное средство, обладающее определенными подключениями и функциями автономности.



Рис. 1.1 Пример каналов передачи данных в подключенном автомобиле

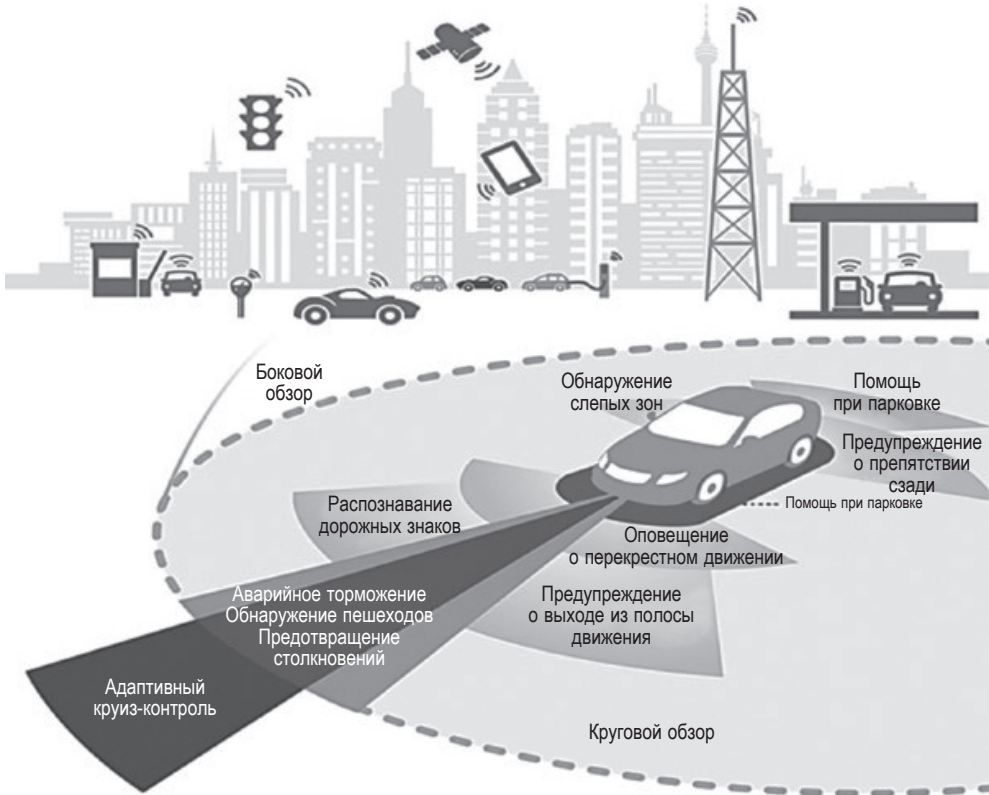


Рис. 1.2 Пример функций автономности транспортного средства

## 1.2.2. Термины и определения, относящиеся к автономному транспорту

Изменения, происходящие в автомобильной отрасли, нашли свое отражение в лексиконе специалистов – существует целый ряд терминов, посвященных автономным транспортным средствам.

### Понятия и определения

Сюда входят такие термины, как ADAS (advanced driver assistance system, усовершенствованная система помощи водителю), *беспилотное такси*, *совместная геонавигация* и т. д. Рассмотрим несколько других примеров:

- *страхование с оплатой за вождение* (pay-how-you-drive, PHYD): договор страхования транспортного средства, согласно которому размер страховых взносов зависит от поведения водителя за рулем и способа использования транспортного средства. Заметим, что в подключенном автомобиле поведение водителя и использование транспортного средства оцениваются с использованием данных, передаваемых в страховую компанию бортовыми датчиками;

- *видеореги́стратор, регистри́ратор сцены вождения*: бортовая камера, записывающая сцену перед автомобилем, иногда и позади него. Заметим, что часто в памяти фактически сохраняются только последние несколько минут записи. Эти записи могут, например, использоваться для документирования обстоятельств аварии;
- *автономное вождение или автоматизированное вождение*: метод автоматизированного управления транспортным средством, который не требует участия пользователей, и, соответственно, система, облегчающая такое вождение;
- *ассистент движения в пробке (traffic jam assist)*: система, позволяющая транспортному средству самостоятельно передвигаться в пробке. Простейшие формы автономных систем вождения в пробках просто следуют за транспортным средством впереди по той же полосе (что действительно представляет собой определенную степень автономии); самые сложные также могут перестраиваться;
- *система оповещения водителя, система мониторинга поведения водителя*: бортовая система, которая использует датчики и анализирует поведение водителя, чтобы обнаружить любое снижение его бдительности и предупредить его об этом. Самая продвинутая форма – это *система мониторинга бдительности (alertness monitoring system)*:
  - в качестве датчиков могут применяться камеры, анализирующие движения головы и глаз водителя. Существуют также системы, которые анализируют вращение руля для оценки концентрации внимания водителя;
  - словосочетание *Attention Assist* является зарегистрированным товарным знаком, поэтому этот термин не следует использовать ни в каком другом контексте.

Давайте теперь рассмотрим определения уровней автономии.

## Уровни автономности

В автомобильной промышленности классификация уровней автономности транспортного средства служит ориентиром для развития технологий автономного управления. Уровень 0 соответствует 100%-но управляемому вручную транспортному средству, а самый высокий уровень (4 или 5, в зависимости от используемых стандартов) соответствует полностью автономному транспортному средству (ограниченному конкретными вариантами использования), которому не нужен водитель.

## Варианты использования

### Примечание

На момент написания книги (2021 г.) упомянутые ниже уровни автономности соответствовали только применениям в определенных средах и вариантах использования.