

Содержание

Предисловие от рецензента	10
Благодарности	12
Об авторах	13
Предисловие от авторов	14
Введение	18
Глава 1. Ключевые аспекты автономных и подключенных транспортных средств	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
Глава 2. Сопутствующие аспекты при разработке автономных и подключенных транспортных средств	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

Глава 5. Ethernet и автомобили..... 282

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

Глава 6. Моделирование, приложения и архитектура программного обеспечения для автомобилей..... 363

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
Предметный указатель	452

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, зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу 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/ или напишите в издательство по адресу 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. 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.

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 CO₂;
- 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

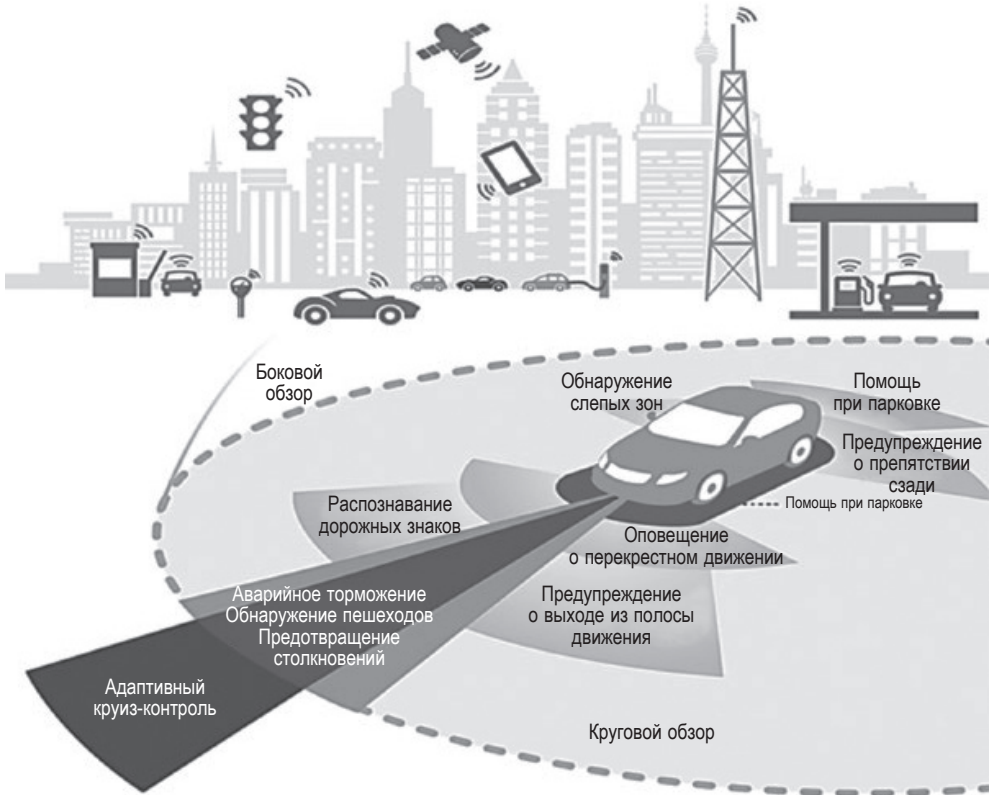


Рис. 1.2 Пример функций автономности транспортного средства

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.

Три определенных стандартами варианта использования и их характерные особенности заключаются в следующем:

- личный транспорт:
 - в пробке, не перестраиваясь;
 - по трассе, не перестраиваясь;
 - автономная парковка;
- промышленные транспортные средства:
 - регулирование скорости инфраструктурой;
 - движение в автоколонне;
 - мусоровозы;
 - сельскохозяйственные опрыскиватели;
- общественный транспорт:
 - бесплатный сервис на частной территории;
 - автобусное сообщение на защищенной территории.

Примечание

Все эти варианты использования сильно ограничены. Нигде в этих трех вариантах использования не упоминается «открытое» обращение автономных транспортных средств с движением по произвольной местности.

Теперь рассмотрим классификацию уровней автономности.

Классификация NHTSA (США)

В Соединенных Штатах Министерство транспорта и Национальная администрация безопасности дорожного движения (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) разработали пятиуровневую шкалу автономности транспортных средств (табл. 1.1):

Таблица 1.1 Краткая классификация уровней автономности согласно NHTSA

Уровень автономности	Функциональность
Level 4 (уровень 4)	Полностью автономное движение
Level 3 (уровень 3)	Ограниченное автономное движение
Level 2 (уровень 2)	Автоматизация комбинированных функций
Level 1 (уровень 1)	Автоматизация некоторых функций
Level 0 (уровень 0)	Без автоматизации

Уровень 0 – без автоматизации

Водитель всегда полностью контролирует органы управления автомобилем (запуск/останов двигателя, акселератор, рулевое управление, тормоза).

Уровень 1 – автоматизация некоторых функций

Системы автоматизации, применяемые только к определенным функциям автомобиля, просто помогают водителю, который сохраняет полный контроль над транспортным средством.

Уровень 2 – автоматизация совмещенных функций

Управление как минимум двумя основными функциями объединено в системе автоматизации, чтобы заменить водителя в определенных ситуациях.

Уровень 3 – ограниченное автономное движение

Водитель может передать полный контроль над автомобилем автоматизированной системе, которая затем будет отвечать за критически важные функции безопасности. Однако автономное вождение возможно только в определенных условиях окружающей среды и области движения (например, только на шоссе). Водитель должен иметь возможность достаточно быстро вновь взять на себя управление, когда система попросит об этом, особенно когда необходимые условия для автономного вождения больше не выполняются (выезд с шоссе, движение задним ходом и т. д.).

Уровень 4 – полностью автономное движение

Автомобиль способен без посторонней помощи управлять всеми критически важными функциями безопасности на протяжении всего маршрута. Водитель вводит пункт назначения или направление, но его дальнейшее участие не требуется. Таким образом, водитель может оставить руль без присмотра, и автомобиль может двигаться самостоятельно.

Классификация OICA-SAE

Международная организация автопроизводителей (известная как OICA по французской аббревиатуре) взяла за основу классификацию SAE J3016. Классификация автономности, принятая OICA-SAE, очень похожа на систему NHTSA, за исключением того, что она имеет шесть уровней вместо пяти – эквивалент третьего уровня в американской системе классификации разделен на два подуровня.

Функциональная разбивка уровней автономности в структуре OICA дается только в информационных целях и не является нормативной (рис. 1.3). Расшифровка определений дана в табл. 1.2.

Классификация OICA-SAE J3016						
	0	1	2	3	4	5
	Нет автоматизации	Только водитель	Помощь водителю	Помощь	Частичная автоматизация	Частично автоматизирован
						
VDA	Условная автоматизация	Высокая степень автоматизации	Высокая автоматизация	Полностью автоматизирован	Полная автоматизация	Без водителя
NHTSA	0	1	2	3	3/4	

Рис. 1.3 Уровни автономности транспортных средств согласно OICA-SAE

Таблица 1.2 Расшифровка уровней автономности согласно OICA-SAE

Уровень	Функции	Функции	
		Водитель	Автомобиль
Уровень 5	Полностью автономное вождение	Больше не нужен	Способен выполнять все функции динамического вождения при любых обстоятельствах
Уровень 4	Высокий уровень автоматизации	Больше не требуется ни для вождения, ни для подстраховки	Может справиться практически со всеми задачами вождения в различных сценариях
Уровень 3	Ограниченное автономное движение	Больше не требуется управлять транспортным средством, но водитель должен быть готов временно взять на себя управление, если система попросит об этом	Рулит, ускоряется и тормозит автоматически, но только в определенных ситуациях. Система распознает собственные ограничения и предупреждает водителя о необходимости взять управление на себя
Уровень 2	Автоматизация комбинированных функций	Должен сохранять бдительность, даже когда транспортное средство выполняет базовые задачи вождения, и иметь возможность немедленно взять на себя управление	Рулит, ускоряется и тормозит автоматически, но только в определенных ситуациях
Уровень 1	Автоматизация отдельных функций	Должен постоянно управлять сам, но с некоторой периодической поддержкой	Предоставляет простую помощь, такую как автоматическое экстренное торможение и удержание полосы движения
Уровень 0	Нет автоматизации	Всегда полностью отвечает за управление	Просто реагирует на команды водителя, но может предупреждать об окружении автомобиля

Классификация OICA-SAE, на наш взгляд, более точно определяет соответствующие роли водителя и транспортного средства.

Далее мы разберем эти шесть уровней более подробно, начиная с самого нижнего, и предложим немного больше деталей и пояснений, а также несколько примеров.

Уровень 0 – без автоматизации

Водитель всегда имеет полный контроль над автомобилем и его основными функциями (двигатель, акселератор, рулевое управление и тормоза).

Автомобиль просто реагирует на команды водителя и не выдает никаких предупреждений об окружающей среде.

Конечно, это самый обычный уровень автономности и самый простой для понимания – все делается вручную. В любое время водитель имеет полный и исключительный контроль над основными функциями автомобиля (тормоза, рулевое управление, ускорение и крутящий момент), и, по логике вещей, автоматических функций нет. Однако даже когда водитель все делает сам и ни одна из основных функций не автоматизирована, в транспортном средстве все равно могут быть механизмы оповещения. Следовательно, все старые автомобили можно охарактеризовать как автономный транспорт нулевого уровня! Возьмем, к примеру, армейский джип 1942 г. Это автомобиль с автономностью нулевого уровня (рис. 1.4).

Пример помощи водителю на уровне 0: звуковое оповещение ультразвукового сонара заднего хода, предупреждение о выходе из полосы движения и т. д. Этому уровню автономности соответствуют почти все современные массовые автомобили.



Рис. 1.4 Автомобиль с автономностью нулевого уровня

Давайте теперь рассмотрим уровни 1 и 2, которые основаны на продвинутых системах помощи водителю (ADAS).

Уровень 1 – помощь водителю

Водитель сохраняет полный контроль движения, но в определенных ситуациях он может получать базовую поддержку.

Автомобиль может оказать водителю некоторую базовую помощь, например применить экстренное торможение или удержать автомобиль в полосе движения.

В уровне автономности 1:

- системы автоматизации, предназначенные для определенных функций автомобиля, просто помогают водителю;
- водитель может временно передать управление транспортному средству при условии, что оно воздействует только в одном из двух направлений (продольном или поперечном);
- человек-оператор всегда несет ответственность за маневры, делегируя часть задач системам. Водитель всегда должен иметь возможность взять на себя полный контроль над вождением, если этого требует ситуация.

Пример помощи уровня 1:

- *адаптивный круиз-контроль*: автомобиль берет на себя управление в продольном направлении (ускорение), но водитель несет ответственность за сохранение наиболее подходящего положения в полосе движения (в поперечном направлении);
- *антиблокировочная тормозная система* (anti-lock braking system, ABS) и *электронная система курсовой устойчивости* (electronic stability program,

ESP) автоматически воздействуют на тормоза, помогая водителю сохранять контроль над автомобилем.

Уровень 2 – частичная автоматизация комбинированных функций

Водитель должен сохранять полную бдительность, пока автомобиль выполняет определенные базовые задачи вождения.

Автомобиль управляет как минимум двумя основными функциями, которые объединены в автоматизированной системе, чтобы заменить водителя в определенных ситуациях. Он может автоматически поворачивать, ускоряться или тормозить.

На уровне 2 водитель в основном играет роль контролера-наблюдателя, поскольку транспортное средство движется по дороге самостоятельно. В случае аварии водитель по-прежнему несет полную ответственность за сбой системы, поскольку он не был достаточно внимателен к окружающей среде и пренебрегал своими обязанностями по надзору. Во всех случаях важно помнить, что **безопасность системы, рассматриваемой в целом, не должна зависеть от уровня автономности**. На этом уровне любое действие водителя, каким бы незначительным оно ни было, будет превалировать над собственным поведением автомобиля при любых обстоятельствах. Человек всегда несет ответственность за маневры автомобиля и должен быть готов полностью взять на себя управление, если того требует ситуация. Обратите внимание, что некоторые автоматизированные функции используются в обычных гражданских автомобилях уже много лет, например автоматическое торможение, электронный контроль устойчивости и круиз-контроль, но за них по-прежнему отвечает человек-водитель. В дополнение к электронной системе курсовой стабилизации в массовые автомобили начали внедряться системы уровня 1 и уровня 2, такие как АЕВ и LKA (см. ниже). В итоге:

- уровень 1 означает, что в любой момент времени в автомобиле может быть активна только одна автоматизированная система;
- уровень 2 означает, что несколько автоматических функций могут работать совместно в одно время.

Примеры автономности уровня 2:

- адаптивный круиз-контроль в сочетании с удержанием полосы движения;
- *автоматическое экстренное торможение* (automatic emergency braking, АЕВ) – автомобиль может самостоятельно задействовать экстренное торможение, если столкновение неизбежно, плюс *система удержания в полосе* (lane keeping assist, LKA), которая предупреждает водителя, если автомобиль начинает сбиваться с пути и/или менять направление, если транспортное средство отклоняется от своей полосы движения;
- *помощь при парковке* – хороший пример функции уровня 2, которая может припарковать автомобиль без участия водителя на рулевом колесе или педалях. Автомобиль сам управляет всеми параметрами движения под наблюдением водителя. Водитель в любой момент может взять на себя управление и скорректировать траекторию.

Сегодня государственные надзорные органы во всем мире начинают рассматривать технологии уровня 1 и уровня 2 в качестве необходимого предва-

рительного условия для достижения автомобилем уровня 4 или 5. Например, в Европе все модели автомобилей, выпущенные после 2018 г., должны иметь автоматические системы экстренного торможения, обнаружения края дороги и удержания полосы движения. Поскольку в обозримом будущем около 85 % транспортных средств на дорогах общего пользования должны соответствовать уровню 4, то есть быть оснащены более совершенными системами ADAS, где водитель должен все время сохранять полную бдительность, технологии уровней 1 и 2, скорее всего, получат повсеместное распространение в течение ближайших трех–пяти лет. В хороших условиях такое транспортное средство может справиться со многими обычными задачами вождения.

В настоящее время существует определенный юридический «порог», поскольку невозможно переложить ответственность на машину, даже если говорят, что машина принимает решения лучше, чем человек.

На уровнях с 3 по 5 мы, наконец, входим в сферу автономного вождения – и то лишь в определенной степени.

Уровень 3 – автономное движение при определенных обстоятельствах

Водитель может передать полный контроль над автомобилем автоматизированной системе, которая затем будет отвечать за критически важные функции безопасности. Тем не менее по сигналу системы автономного вождения водитель всегда должен быть готов возобновить управление в течение приемлемого, заданного промежутка времени (особенно когда условия для автономного вождения больше не выполняются, например выезд с шоссе, приближение к пробке и т. д.).

В 2019 г. на этом этапе автоматизации находились автомобили Tesla и Google Car (рис. 1.5).



Рис. 1.5 Автомобиль Google

Автомобиль в определенных условиях может взять на себя полный контроль над рулевым управлением, акселератором и тормозами. Однако автономное управление допустимо только в определенных условиях окружающей среды и дорожного движения (например, только на открытой трассе).

В этом случае водитель-человек может делегировать часть двухмерной задачи вождения и упускать свое внимание для выполнения других задач «на короткое время». Однако при определенных обстоятельствах транспортному средству придется просить водителя взять управление на себя. Водитель должен иметь возможность немедленно возобновить управление, если того требуют условия.

Поскольку водитель, очевидно, не может мгновенно взять на себя управление транспортным средством, система должна обеспечивать постоянную безопасность в течение периода времени, когда водитель еще не включился в управление (вплоть до остановки транспортного средства, если водитель не реагирует на неоднократные просьбы взять на себя управление). Эта избыточность должна быть обеспечена дополнительными датчиками, такими как радар, лидар (для измерения расстояния до объектов и распознавания их формы) и информацией о местоположении на карте, чтобы определять безопасные дороги, а также учитывать перекрестки и другие сигналы или инструкции.

На этом уровне водитель может полностью устраниваться от управления, пока автомобиль не потребует иного. Автомобиль демонстрирует настоящую «способность к автономности», а технология помимо стандартных требований безопасности обеспечивает ряд существенных преимуществ, таких как повышенная защита.

Переход с уровня 2 на уровень 3 требует существенного улучшения показателей функциональной безопасности и резервирования в системе. С технической точки зрения уровень 3 мало отличается от уровня 2, но в периоды автономного вождения ответственность временно переносится на систему.

Здесь сразу же возникает вопрос: каковы должны быть юридические последствия, если водитель не возьмет на себя управление? Ответ на этот вопрос довольно сложен, но мы обсудим его в главе 2. Короче говоря, юридическая проблема, с которой сталкиваются водители, страховщики и автопроизводители, настолько сложна, что не обойтись без четких и однозначных законов, определяющих ответственность водителя, который не принял на себя ответственность за управление транспортным средством в течение заданного периода времени.

Уровень 3 означает, что при определенных обстоятельствах автомобиль может выполнять все функции вождения:

- *пример 1*: наименее сложной средой движения является шоссе (все транспортные средства движутся в одном направлении, без пешеходов и сложных перекрестков). Все основные функции автоматизированы, включая торможение, рулевое управление и ускорение;
- *пример 2*: медленное вождение в пробках, когда система управления автономного транспортного средства берет на себя позиционирование и удержание на своей полосе, поддерживая при этом скорость, соответствующую дорожным условиям и скорости других транспортных средств. В таких случаях водитель может, например, почитать новости, не обращая особого вни-

мания на пробку. Однако когда пробка закончится, автомобиль снова попросит водителя взять на себя управление.

Хотя верно то, что уровни автономности транспортного средства основаны в первую очередь на разделении ответственности, важно помнить, что первые три уровня не подразумевают никакой ответственности со стороны транспортного средства. Системы первых трех уровней предназначены не более чем для помощи водителям (рис. 1.6).



Рис. 1.6 Примеры автомобилей уровня 3: Renault Espace (слева) и Peugeot 508 First Edition (справа)

Транспортные средства уровней 4 и 5 автономны в любых ситуациях и условиях вождения, а не только при определенных обстоятельствах, как в случае уровня 3.

Уровень 4 – высокая автоматизация

Водителем может быть не только подготовленный оператор, но и любой пассажир в салоне, который может взять на себя управление, когда автоматизированная система вождения не может продолжать работу и запрашивает передачу управления.

Автомобиль может выполнять все задачи вождения практически во всех заданных условиях, не требуя внимания со стороны водителя.

Уровень 4, представляющий собой практически полную автономность транспортного средства, характеризуется наличием приоритета решений транспортного средства над решениями человека в отношении конкретных функций и в ряде конкретных случаев. На уровне 4 человек больше не обязан быть обученным водителем, потому что транспортное средство подготовлено для всех ситуаций; следовательно, человек превращается из водителя в простого пассажира. В этих случаях система берет на себя все функции и отвечает за маневры, даже не требуя присутствия водителя. Однако решение об активации или деактивации автономного режима вождения всегда принимает человек.

Пример: служебная парковка, когда транспортное средство находит место и паркуется самостоятельно, а затем возвращается, чтобы вечером забрать водителя из офиса.

Этот уровень автономии можно найти только в европейской системе (хотя она не имеет нормативной базы). Автомобиль представляет собой систему,

способную к полностью автономному вождению на протяжении всего пути. Человек устанавливает пункт назначения и поручает транспортировать себя, а также указывает свои предпочтения. Таким образом, транспортное средство действует как умный робот.

Уровень 5 – полностью автономное движение

Автомобиль реализует без посторонней помощи все важные функции безопасности на протяжении всей поездки (с учетом ограничений использования, упомянутых в начале этой главы). Водитель вводит пункт назначения или навигационные инструкции, но от него не требуется, чтобы он мог взять на себя управление транспортным средством. Поэтому водитель может покинуть свой пост, а транспортное средство способно двигаться даже без пассажиров.

Водитель никогда не садится за руль (если рулевое колесо вообще есть в транспортном средстве), и любой человек может быть пассажиром. Системы уровня 5 никогда не нуждаются в водителе. Транспортное средство правильно ведет себя в любых условиях и способно реагировать так же, как и человек-водитель (или даже лучше). Поэтому органы управления, такие как руль и педали, больше не нужны.

Автомобиль отвечает за вождение и может работать в любых условиях (определенные варианты использования) без помощи человека.

Уровень автономии 5 отличается от уровня 4 идеей так называемой *машинной уверенности* (machine certainty), согласно которой системе разрешается не подчиняться человеческому приказу, если машина расценивает его как ненормальный, опрометчивый или опасный, и в этом случае машине нужно будет проявить инициативу, исходя из показаний своих датчиков. В ряде случаев системы автомобиля могут выполнить маневр, который не запрашивал водитель, и даже отказаться от выполнения операции, представляющей опасность как для автомобиля, так и для его пассажиров (например, открыть дверь во время движения по трассе).

Такой автомобиль сам управляет своим движением, не имея рулевого колеса, педалей или других органов управления, используемых людьми (например, индикаторов). Внедрение этого уровня автономии начинается с автопарков транспортных средств ограниченного применения. Беспилотные транспортные средства делают модель совместного использования автомобилей более жизнеспособной и привлекательной с финансовой точки зрения, потому что они устраняют самое сложное и дорогостоящее ограничение автопарков: водителя. Кроме того, раннее развертывание автономных автопарков даст еще два важных преимущества:

- при первом использовании автономного автомобиля за рулем будет находиться квалифицированный оператор, что позволит потребителям получить первоначальный опыт работы с технологией с гарантией того, что оператор следит за ситуацией;
- возможность безопасно собирать реальные данные об эксплуатации транспортных средств. Как только будет собрано достаточное количество данных, законодательный орган сможет одобрить более широкое использование автономных автомобилей.

Переход между автономией «кое-где» и автономией «езде» в конечном итоге должен быть достижим щелчком переключателя или нажатием кнопки, потому что со временем маршрутные карты будут предоставляться и обновляться везде, а не только в ограниченных областях, для которых доступны геолокация и геопривязка (рис. 1.7).



Рис. 1.7 Типичный пример транспортного средства уровня 5 (шаттл NAVYA)

Итак, мы рассмотрели «официальные» определения уровней автономности», на которые мы ссылаемся в этой книге. К сожалению, средства массовой информации и маркетинговые службы часто используют другие (и не всегда точные) определения, что приводит к значительной путанице.

Проблема с классификациями

Несомненно, в этих классификациях кроется серьезная проблема. В приведенных выше определениях вы могли заметить определенные оговорки, наподобие «конкретные варианты использования» или «в определенных условиях...», которые, к сожалению, не полностью (если вообще хоть как-то) определены явно, оставляя место для множества неоднозначных толкований на техническом, юридическом и коммерческом уровнях. Достаточно ясно только одно – когда появится массовый «полностью автономный автомобиль, способный ездить где угодно, во всех странах, при любых дорожных условиях, по любым дорогам... то есть без каких-либо ограничений», это и будет настоящая автономия 5-го уровня, но до этого дня еще очень далеко, хотя некоторым людям кажется, что он близок.

Альтернативная терминология

В коммерческом отношении у связанных с автономностью технологий встречается почти столько же названий, сколько существует различных моделей «настоящих» автономных транспортных средств, полуавтономных транспортных средств, автоматизированных транспортных средств, роботов-такси и т. д. Часто отделы маркетинга автопроизводителей и других технологических гигантов намеренно сохраняют некоторую недосказанность в отношении истинных возможностей автомобилей, которые они называют «автономными». Для приблизительного определения того, что могут (и не могут) делать люди-водители и/или автономные системы, можно использовать официальную классификацию OICA-SAE International по шести категориям. С точки зрения маркетологов определения этих категорий звучат довольно скучно, поэтому они начинают использовать игру слов и придумывать новые названия, которые больше подходят для средств массовой информации.

Технология «беспилотный автомобиль» примерно соответствует автономному вождению без присмотра человека. В периоды, когда управление передается автоматизированной системе, водителям больше не нужно следить за дорогой или держать руки на руле: управление полностью отдается транспортному средству. Иногда журналисты прибегают к аллегориям с использованием (или неиспользованием) человеческих рук, зрения и разума для управления автомобилем, но такие образные определения обычно не сопровождаются технически строгими пояснениями (рис. 1.8).

OICA SAE (J3016)	0	1	2	3	4	5
	Нет автоматизации	Только водитель	Помощь водителю	Помощь	Частичная автоматизация	Частично автоматизирован
VDA	Условная автоматизация	Высокая степень автоматизации	Высокая автоматизация	Полностью автоматизирован	Полная автоматизация	Без водителя
Глаза						
Руки						
Разум						

Рис. 1.8 Соответствие между уровнями OICA-SAE и использованием зрения/рук/разума

Далее, при активации автономного режима необходимо использовать многочисленные устройства/датчики, отвечающие за мониторинг окружающей обстановки на 360° вокруг автомобиля. Традиционный набор датчиков автономного транспортного средства выглядит следующим образом:

- три лидара (lidar), т. е. лазерных сканера дальнего действия (два спереди, один сзади);
- один фронтальный радар большой дальности;
- четыре угловых радара средней дальности;

- три цифровые камеры с разным фокусным расстоянием (ближний/средний/дальний) в верхней части лобового стекла;
- четыре цифровые камеры ближнего действия с обзором 180° под зеркалами заднего вида и в номерных знаках;
- полоса из 20 ультразвуковых дальномеров (сонаров) ближнего действия.

Набор данных, собранный этими датчиками, анализируется несколькими бортовыми программно-аппаратными комплексами (бортовыми компьютерами), которые решают, как должен вести себя автомобиль. Водителю не нужно смотреть на дорогу или держать руль: автомобиль работает в режиме «без рук / без глаз». Устройства, управляющие траекторией движения автомобиля (рулевое управление и тормоза), и связанная с ними электронная архитектура дублируются, чтобы обеспечить уровень безопасности, необходимый для автономного вождения. Таким образом, в случае неисправности транспортное средство сохраняет контроль над своей траекторией и способно обеспечить безопасность автоматически, если водитель снова не возьмет на себя управление.

Наконец, в ближайшие годы мы увидим рост в области совместного использования и совместного владения, когда люди и организации совместно владеют транспортным средством, которое доставит их по назначению. Вторая концепция еще более революционная, чем совместное использование автомобилей, потому что она открывает совершенно новые бизнес-модели использования транспорта.

Промежуточный итог

В табл. 1.3 представлен обзор этой главы.

Таблица 1.3 Обзор уровней автономности транспортных средств

Уровень		
0	Без помощи водителю	Водитель полностью контролирует основные функции автомобиля (рулевое управление, акселератор и тормоз)
1	Помощь водителю	Система способна контролировать либо продольное измерение движения автомобиля (скорость и расстояние до впереди идущего автомобиля), либо поперечное измерение (относительно линий дорожной разметки), но не оба одновременно. Она помогает водителю, но человек по-прежнему отвечает за вождение. Пример: круиз-контроль, предупреждение о выходе из полосы движения (радар), автоматическое экстренное торможение и система предупреждения о столкновении
2	Частичная автоматизация	В определенных ситуациях водитель может делегировать системе как продольное, так и поперечное управление транспортным средством, но все же обязан постоянно следить за системой и окружением автомобиля и при необходимости брать на себя полный контроль. Пример: помощь в пробках (адаптивный круиз-контроль) или помощь при парковке
3	Условная автоматизация	За мониторинг окружающей среды отвечает система транспортного средства. Однако водитель должен оставаться внимательным к дорожным условиям и иметь возможность немедленно возобновить управление, если это необходимо (это означает, что машина должна дать ему достаточно времени на реагирование). В этом контексте управление автомобилем можно полностью отдать системе, но только в заранее определенных условиях, например на шоссе. Система должна быть способна распознавать собственные ограничения, т. е. определять, когда условия движения больше не соответствуют ее возможностям. В этой ситуации автомобиль просит водителя взять на себя управление с помощью визуального и звукового оповещения, подаваемого за несколько секунд до начала движения. Пример: движение по шоссе, автоматическая парковка, движение в колонне

Таблица 1.3 (окончание)

Уровень		
4	Высокая автоматизация «без глаз» «без рук» «без мозга»	Помощь со стороны водителя не требуется. Он может отвлечься на другие дела, не беспокоясь о дороге. Однако полная автономия ограничена определенной территорией, например шоссе или парковкой, с которой совместимо транспортное средство. Она также ограничена конкретными погодными условиями и видимостью (например, движение в отсутствие тумана или снега или только в дневное время, что также справедливо и для предыдущих уровней автономности). Когда эти критерии выполняются, водитель больше не несет ответственности за вождение: она полностью перекладывается на систему. Однако человек по-прежнему обязан взять на себя управление, когда транспортное средство покидает зону автоматизированного вождения. В отличие от уровня 3, если водитель не реагирует, транспортное средство должно быть в состоянии отреагировать самостоятельно, т. е. снизить скорость и остановиться в безопасном положении. Пример: избавить водителя от скуки в дальних поездках или в пробках на трассе
5	Полная автоматизация	Полностью автономный автомобиль без водителя. Применение ограничено поездками по известным маршрутам (например, автобусы, такси и т. д.). Пример: в 2016 г. Mobileye объявила о сотрудничестве с BMW и Intel с целью создания полностью автономного автомобиля уровня 5 к 2021 году. Мы опубликовали эту книгу в середине 2021 г., но полностью автономный автомобиль так и не появился, поэтому нам все равно остается только ждать и надеяться! (В январе 2022 г. Mobileye представила однокристалльную систему EyeQ Ultra уровня 4, массовое внедрение которой запланировано на 2025 г. Поскольку задача оказалась намного сложнее, чем казалось сначала, некоторые специалисты сомневаются, что полноценный уровень 5 будет достигнут даже к 2035 г. – Прим. перев.)

Разобравшись с официальными определениями, мы наконец готовы начать углубленное обсуждение темы.

1.3. Краткая история автономного транспортного средства

Прежде чем углубиться в рассмотрение конкретных вопросов, кратко пройдемся по истории дисциплины. История автономных транспортных средств уходит далеко в прошлое, еще до времен Жюль Верна. Однако именно в 1990-х дизайнеры начали серьезно задумываться о том, как добиться высокого уровня автоматизации, в частности о разработке промышленных систем ADAS, которые постепенно привели к разработке автономных транспортных средств.

1.3.1. Наши ожидания от автономного транспорта

Развитие автономных транспортных средств привело к появлению двух основных технологических направлений:

- новый тип транспорта с полностью автономным вождением, более легкий, плавный, самоадаптирующийся и т. д.;
- новые способы обеспечения надежности и безопасности (физической, кибернетической и т. д.) в нашей обычной повседневной жизни при любых обстоятельствах.

Фактически все идет к тому, что людям больше не нужно будет владеть собственным транспортным средством или даже уметь водить автомобиль. Эти

два момента окажут глубокое влияние на транспортные средства в целом, а также на общественный транспорт и грузоперевозки.

С технической точки зрения автономный автомобиль – чрезвычайно сложная система. В широком смысле он включает в себя:

- огромное количество бортовых датчиков;
- множество очень быстрых коммуникационных каналов;
- очень сложные бортовые системы искусственного интеллекта, в частности способные определять и удерживать путь, по которому должно двигаться транспортное средство, оперировать различными системами управления транспортным средством (рулевое управление, тормоза, акселератор, подвеска и т. д.) с проверками исправности и избыточностью.

Кроме того, транспортное средство должно поддерживать большое количество вариантов использования и демонстрировать надежность перед бесконечным числом критических событий, с которыми оно может столкнуться:

- в идеальных условиях, при мягком солнечном свете, на чистой дороге с хорошим покрытием задача автономного вождения сегодня не вызывает особых затруднений;
- в дождь, снегопад или на плохой дороге дорожная разметка и окружающие объекты плохо видны, и велика вероятность столкновения с препятствием. В этой ситуации единственный выход – ограничить скорость или вернуться к ручному управлению.

Такая доказуемая надежность тем более важна, если учесть, что в случае аварии очень сложно определить, кто несет ответственность. Хотя очевидно, что автономные транспортные средства будут оснащены черными ящиками (действующими в качестве шпионов, что очень не нравится некоторым пользователям), не всегда можно определить причины движения по неправильной траектории, просто анализируя данные. Чтобы установить детали поведения этих транспортных средств, необходимо провести многочисленные тесты в средах, максимально точно отражающих различные варианты использования. Кроме того, нет никаких сомнений в том, что мы привыкнем делить дорогу с автономными транспортными средствами, которые, как утверждают разработчики, будут (или должны быть) более безопасными, чем обычные транспортные средства.

Помимо чисто технических деталей и технологий, рассмотренных выше, развитию этих очень сложных систем препятствует ряд технических и нетехнических барьеров, которые мы подробно обсудим в следующей главе. В ней мы рассмотрим:

- определение правовой базы и ответственности в случае ДТП;
- адаптацию правил дорожного движения;
- разработку соответствующих стандартов;
- адаптацию инфраструктуры для поддержки этих новых типов транспортных средств;
- доступность бортовых интеллектуальных технологий, их производительность и стоимость;
- эксплуатационную безопасность, кибербезопасность и защиту от кибератак;
- возможность добавления новых вариантов использования и т. д.

1.3.2. Типы двигателей и автономные транспортные средства

В принципе, между понятиями «тип двигателя» и «автономность» нет прямой связи. Транспортное средство может иметь двигатель внутреннего сгорания (ДВС, работающий на бензине, дизельном топливе, сжиженном газе или ином углеродном топливе), быть чисто электрическим или гибридным (ДВС + электро, топливные элементы) и т. д. По большому счету, тип двигателя не имеет значения, кроме нескольких мелких нюансов. Автономность и подключенность – это просто новые функции, добавленные к существующей архитектуре автомобиля. Они неизбежно потребляют энергию (несколько десятков или несколько сотен ватт). Следовательно, они так или иначе влияют на запас хода автомобиля, то есть на расстояние, которое он может проехать на определенном количестве топлива или энергии (раздел 2.14). Это параметр, о котором нельзя забывать, потому что понятно, что мы стоим на пороге тотальной трансформации автомобильной промышленности. Французское правительство объявило о своем намерении к 2050 г. полностью перейти от двигателей внутреннего сгорания к электромобилям, что напоминает переход на электрические трамваи примерно в 1900 г. Короче говоря, мир видел подобный переход раньше. Все технические и экономические факторы, которые мы наблюдаем сегодня, в начале XXI века, аналогичны тем, которые были в начале XX века: существует множество мелких и крупных автопроизводителей и различных типов двигателей, в стадии разработки находятся распределительные сети для новых видов топлива и видов энергии и т. д.

1.4. Влияние пандемии COVID-19

В начале 2020 г. планету охватила пандемия, вызванная коронавирусом COVID-19 и его штаммами. Мы не могли обойти вниманием влияние пандемии на индустрию автономных транспортных средств. Некоторые автопроизводители, OEM-производители и их партнеры еще долго будут ощущать финансовые последствия.

С другой стороны, стремление производителей сгладить финансовые потери значительно ускорило переход от двигателей внутреннего сгорания к гибридным и/или электрическим двигателям и даже привело к краткосрочной финансовой выгоде.

Что касается разработки автономных транспортных средств, связанный с пандемией кризис:

- придал импульс проектам по разработке «роботов» (автономные мини-грузовики для доставки, роботы-такси и т. д.);
- заставил замедлить или отложить некоторые долгосрочные проекты по разработке автомобилей более высокого уровня или лучших в своем классе, которые считались менее остро необходимыми. Тем не менее лишь некоторые проекты были отложены до 2022 г.

В любом случае, эти замечания не имеют никакого отношения к данной книге, потому что, как сказано в предисловии, ее содержание простирается далеко

в будущее, охватывая период с 2020 по 2035 год. Разумеется, не обойдется без небольшой задержки в начале этапа, запланированного на 2021–2025 гг. Однако, на наш взгляд, влияние пандемии на последующие этапы должно быть минимальным. Иными словами, пандемия не отодвинет срок появления автономных транспортных средств, способных полноценно передвигаться по произвольным дорогам общего пользования во всем мире.