

# Содержание

<b>Об авторе .....</b>	13
<b>О рецензенте .....</b>	14
<b>Предисловие .....</b>	15
<b>Глава 1. История интернета вещей .....</b>	21
История развития интернета вещей .....	25
Перспективы развития интернета вещей.....	26
Индустрия и производство .....	30
Потребитель .....	31
Розничная торговля, финансы и маркетинг .....	31
Медицина .....	32
Транспортировка и логистика .....	33
Сельское хозяйство и окружающая среда .....	34
Энергетика .....	35
Умный город .....	36
Правительство и армия .....	37
Заключение .....	38
<b>Глава 2. Архитектура и ключевые модули интернета вещей .....</b>	39
Экосистема интернета вещей .....	40
Интернет вещей против межмашинного взаимодействия .....	41
Полезность сети и законы Меткалфа и Бекстрома.....	42
Архитектура интернета вещей .....	44
Роль архитектора .....	46
Часть 1. Датчики и питание .....	46
Часть 2. Передача данных .....	47
Часть 3. Интернет-маршрутизация и протоколы .....	48
Часть 4. Туманные и граничные вычисления, аналитика и машинное обучение .....	49
Часть 5. Угроза и безопасность в интернете вещей.....	50
Заключение .....	50
<b>Глава 3. Датчики, оконечные точки и системы питания .....</b>	51
Сенсорные устройства.....	52
Термопары и температурные датчики .....	52
Эффект Холла и датчики тока.....	55

Фотоэлектрические датчики .....	56
Датчики PIR.....	57
LiDAR и активные датчики .....	58
Датчики MEMS .....	60
Интеллектуальные оконечные точки IoT .....	64
Видеосистема.....	65
Слияние датчиков.....	67
Устройства ввода .....	68
Устройства вывода.....	68
Функциональные примеры (все вместе).....	69
Функциональный пример – TI SensorTag CC2650 .....	69
Между датчиком и контроллером .....	71
Источники энергии и управление питанием .....	73
Управление питанием.....	73
Воспроизведение электроэнергии.....	74
Хранилище энергии .....	80
Заключение .....	85
<b>Глава 4. Теория коммуникации и информации.....</b>	<b>86</b>
Теория коммуникации .....	87
Радиочастотная энергия и теоретический диапазон.....	87
Радиочастотная интерференция .....	91
Теория информации .....	93
Пределы битрейта и теорема Шеннона-Хартли .....	93
Частота битовых ошибок .....	97
Узкополосная и широкополосная связь.....	100
Радиоспектр .....	102
Управляющая структура.....	103
Заключение .....	106
<b>Глава 5. Беспроводная персональная сеть (WPAN) не на основе IP .....</b>	<b>107</b>
Стандарты беспроводной персональной локальной сети .....	108
Стандарты 802.15.....	108
Bluetooth.....	109
IEEE 802.15.4.....	143
Zigbee .....	151
Z-Wave.....	160
Заключение .....	166
<b>Глава 6. WPAN и WLAN на базе IP .....</b>	<b>167</b>
Протокол интернета и протокол управления передачей .....	167
Роль протокола IP в интернете вещей .....	168

---

WPAN с IP – 6LoWPAN.....	170
Топология 6LoWPAN.....	171
Стек протокола 6LoWPAN .....	173
Адресация и маршрутизация в mesh-сети .....	174
Сжатие и фрагментация заголовка .....	176
Обнаружение соседей.....	178
Безопасность 6LoWPAN.....	179
WPAN с IP – Thread .....	180
Архитектура и топология Thread.....	180
Стек протокола Thread .....	182
Маршрутизация Thread.....	182
Адресация Thread .....	183
Обнаружение соседа .....	184
Протоколы IEEE 802.11 и WLAN.....	184
Обзор и сравнение протоколов IEEE 802.11 .....	185
Архитектура IEEE 802.11 .....	188
Распределение спектра IEEE 802.11 .....	189
Методы модуляции и кодирования IEEE 802.11.....	191
IEEE 802.11 MIMO.....	195
Структура пакета IEEE 802.11 .....	199
Работа IEEE 802.11 .....	201
Безопасность IEEE 802.11 .....	203
Протокол IEEE 802.11ac .....	204
Транспорт-к-транспорту IEEE 802.11p.....	205
Протокол IEEE 802.11ah.....	208
Заключение .....	213
<b>Глава 7. Системы и протоколы дальней связи (ГВС) .....</b>	<b>215</b>
Функциональная совместимость устройств сотовой связи.....	215
Стандарты и модель управления.....	217
Технологии доступа сотовой связи .....	220
Категории абонентского оборудования 3GPP .....	222
Распределение спектра и полос частот в 4G LTE .....	223
Топология и архитектура сети 4G LTE .....	227
Стек протоколов сети E-UTRAN 4G LTE.....	232
Географические области 4G LTE, потоки данных и процедуры передачи обслуживания .....	233
Структура пакета 4G LTE .....	236
Категории 0, 1, M1 и NB-IoT .....	237
5G .....	243
LoRa и LoRaWAN .....	247
Физический уровень LoRa.....	248
Уровень MAC LoRaWAN .....	250

Топология LoRaWAN .....	252
Краткое описание LoRaWAN .....	252
Sigfox.....	254
Физический уровень Sigfox.....	254
Уровень MAC Sigfox .....	256
Стек протокола Sigfox.....	257
Топология Sigfox .....	258
Заключение .....	259
<b>Глава 8. Маршрутизаторы и шлюзы .....</b>	<b>262</b>
Функции маршрутизации .....	262
Функции шлюза .....	263
Маршрутизация .....	263
Отказоустойчивость и внеполосное управление .....	267
VLAN .....	268
VPN .....	269
Управление скоростью трафика и QoS.....	271
Функции безопасности .....	273
Метрики и аналитика.....	275
Обработка на краю .....	275
Программное сетевое взаимодействие .....	276
Архитектура SDN .....	277
Традиционное межсетевое взаимодействие .....	279
Преимущества SDN.....	280
Заключение .....	281
<b>Глава 9. IoT-протоколы передачи данных от граничного устройства в облако .....</b>	<b>282</b>
Протоколы.....	282
MQTT .....	284
Издание-подписка MQTT.....	285
Детали архитектуры MQTT .....	287
Структура пакета MQTT .....	290
Форматы соединений MQTT .....	290
Рабочий пример MQTT.....	293
MQTT-SN.....	295
Архитектура и топология MQTT-SN .....	296
Прозрачные и собирающие шлюзы .....	297
Широковещательное вещание и обнаружение шлюза .....	297
Различия между MQTT и MQTT-SN .....	297
Ограниченный прикладной протокол .....	298
Детали архитектуры СоAP .....	299
Форматы сообщений СоAP .....	302

---

Пример использования СоAP .....	306
Другие протоколы.....	307
STOMP.....	307
AMQP .....	308
Сводка и сравнение протоколов.....	310
Заключение .....	311
<b>Глава 10. Топология облачных и туманных вычислений.....</b>	<b>312</b>
Модель облачных сервисов .....	313
NaaS .....	314
SaaS .....	314
PaaS.....	315
IaaS.....	315
Публичное, частное и гибридное облако .....	315
Частное облако.....	316
Публичное облако.....	316
Гибридное облако .....	316
Облачная архитектура OpenStack.....	317
Keystone – управление идентификацией и обслуживанием .....	319
Glance – сервис изображений .....	319
Вычисления Nova.....	319
Swift – хранение объектов.....	321
Neutron – сетевые сервисы .....	321
Cinder – блочное хранилище .....	322
Horizon.....	322
Heat – гармоническое сочетание (опция).....	323
Ceilometer – телеметрия (опция) .....	323
Ограничения облачных архитектур для IoT .....	323
Эффект задержки.....	324
Туманные вычисления .....	327
Философия Hadoop для туманных вычислений .....	327
Сравнение туманных, граничных и облачных вычислений .....	327
Архитектура OpenFog RA .....	328
Amazon Greengrass и лямбда-функции .....	334
Туманные топологии.....	336
Заключение .....	340
<b>Глава 11. Анализ данных и машинное обучение в облачных и туманных платформах .....</b>	<b>342</b>
Простой анализ данных в интернете вещей .....	343
Верхний уровень облачной архитектуры .....	346
Система правил .....	347
Потребление информации: потоки, обработка и озера данных .....	350

Обработка сложных событий.....	353
Lambda-архитектура.....	354
Промышленное применение.....	355
Машинное обучение в интернете вещей.....	355
Модели машинного обучения .....	361
Классификация .....	362
Регрессия .....	363
Случайный лес .....	364
Байесовские модели .....	365
Сверточные нейронные сети .....	368
Рекуррентные нейронные сети .....	376
Обучение и получение логических выводов в интернете вещей .....	382
Анализ данных в IoT и сравнение/оценка методов машинного обучения.....	383
Заключение .....	385
<b>Глава 12. Безопасность интернета вещей .....</b>	<b>386</b>
Общеупотребительные понятия кибербезопасности .....	387
Термины, связанные с атакой .....	387
Термины, связанные с защитой .....	389
Анатомия кибератак на IoT-устройства.....	391
Mirai .....	392
Stuxnet .....	394
Цепная реакция .....	395
Физическая и аппаратная безопасность.....	397
Корень доверия .....	397
Управление ключами и модули TPM.....	398
Адресное пространство в процессоре и памяти .....	399
Безопасность хранения данных .....	399
Физическая безопасность .....	400
Криптография .....	402
Симметричная криптография .....	403
Асимметричная криптография .....	405
Криптографический хеш (аутентификация и цифровая подпись).....	410
Инфраструктура открытого ключа .....	411
Сетевой стек: протокол защиты транспортного уровня.....	412
Программно-определяемый периметр .....	413
Архитектура программно-определяемого периметра .....	413
Блокчейн и криптовалюта в интернете вещей.....	416
Bitcoin (блокчейн) .....	417
IOTA (направленный ациклический граф) .....	421
Правовое регулирование.....	423
Законопроект об улучшении безопасности интернета вещей (август, 2017) .....	423

---

Другие правительственные учреждения .....	424
Рекомендации по защите IoT-устройств .....	425
Комплексная безопасность .....	426
Краткий перечень мер безопасности .....	427
Заключение .....	428
<b>Глава 13. Консорциумы и сообщества .....</b>	<b>429</b>
Консорциумы по персональным сетям .....	429
Bluetooth SIG .....	430
Thread Group .....	430
Альянс Zigbee .....	431
Другое .....	431
Консорциумы по протоколам .....	431
Open Connectivity Foundation и Allseen Alliance .....	431
OASIS .....	432
Object Management Group .....	433
IPSO Alliance .....	433
Другое .....	434
Консорциумы по глобальным вычислительным сетям .....	434
Weightless SIG .....	434
LoRa Alliance .....	434
Инженерный совет интернета .....	435
Wi-Fi Alliance .....	435
Консорциумы по туманным и граничным вычислениям .....	436
OpenFog .....	436
EdgeX Foundry .....	437
Специализированные организации .....	437
Консорциум промышленного интернета .....	437
Институт инженеров по электротехнике и электронике IoT (IEEE IoT) .....	438
Другое .....	438
Американские правительственные организации по вопросам IoT и безопасности .....	439
Заключение .....	439
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>440</b>

*Дорогие друзья!*

Книга Перри Ли «Архитектура интернета вещей» – это, пожалуй, на сегодня одно из самых подробных исследований темы интернета вещей с самых разных ракурсов и в самых разных аспектах: от влияния этого явления на общественные отношения до способов построения и программирования среды IoT.

Что самое приятное – книга к тому же еще и интересная, и любой фанат современных технологий, даже не слишком хорошо разбирающийся в инженерии или программировании, будет читать ее залпом. Но в первую очередь книга, разумеется, предназначена для технических специалистов, менеджеров технологий, программистов и проектировщиков, которые хотят лучше разобраться в сути интернета вещей, понять, как он устроен и какие имеет особенности. Очень здорово, что автор не просто рассказывает об IoT и его элементах, а дает живые примеры проектирования устройств и программирования, учит читателя практическим действиям, подсказывает, где получить дополнительные знания.

Это не просто книга, а учебник по интернету вещей для каждого. Ничего подобного в России до сих пор не выходило, и актуальность этой книги для нашей страны трудно преувеличить. Интернет вещей – основа цифровизации экономики, явление, которое в ближайшие годы до неузнаваемости может изменить промышленность, сельское хозяйство, энергетику да и всю нашу повседневную жизнь. Потребность в архитекторах IoT высока, и благодаря книге Перри Ли специалисты в разных областях технологий получат знание о том, как все эти технологии могут образовать мир интернета вещей и как построить этот мир вместе.

Уверен, что книга будет иметь огромный успех у нас в России, а Ассоциация интернета вещей, которую я представляю, будет рада рекомендовать книгу Перри Ли «Архитектура интернета вещей» своим членам, в том числе высшим учебным заведениям, где готовятся кадры будущей цифровой экономики страны и среди них – архитекторы интернета вещей.

*Андрей Колесников,  
директор Ассоциации интернета вещей*

# Об авторе

**Перри Ли** 21 год проработал главным ИТ-архитектором в компании Hewlett Packard, где проявил себя как замечательный технический специалист. Затем он перешел в Micron Technologies, где стал важным членом технического персонала и занял должность директора по стратегическому развитию, возглавив команду, занимающуюся продвинутыми вычислительными устройствами. В настоящий момент он является техническим директором в компании Cradlepoint, где в сферу его задач входит разработка и исследование в сфере интернета вещей и туманных вычислений.

Перри окончил Колумбийский университет по специальностям «информатика», «компьютерная инженерия» и «электроинженерия». Он старший член Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и главный спикер Ассоциации вычислительной техники (ACM). У него 8 патентов, и еще 40 патентов находятся на рассмотрении.

*Благодарю свою жену Дон, а также родственников и друзей за поддержку, которую они оказывали мне в процессе написания этой книги.*

*Я хочу поблагодарить Сандру Капри из компании Ambient Sensors за критический обзор и комментарии по поводу датчиков и технологии ближней бесконтактной связи.*

*Я также благодарю Дэвида Раша из компании Cradlepoint за его комментарии относительно дальней бесконтактной связи и сотовых систем связи.*

*И наконец, я благодарю разнообразные консорциумы и технические общества, такие как IEEE и ACM.*

# О рецензенте

**Паркаш Карки** – главный архитектор и руководитель отдела разработки с более чем 20-летним опытом работы в сфере информационных технологий. Он с отличием окончил Делийский университет, где изучал физику, и магистратуру по компьютерным приложениям, прошел сертификацию PMP (профессионал в управлении проектами) и получил ряд сертификатов Microsoft. Он преимущественно работал над различными технологиями Microsoft и технологиями с открытым исходным кодом, включая обширный опыт работы с DevOps и облачной платформой Azure. Как DevOps- и Azure-архитектор он помогает клиентам перейти на эти технологии. С большим интересом относится к интернету вещей, искусственному интеллекту и средствам автоматизации.

# Предисловие

Скорее всего, вы ежедневно сталкиваетесь с интернетом вещей в личной жизни и по работе. В основном люди получают представление об интернете вещей благодаря личному опыту взаимодействия с фитнес-трекером Fitbit, умным динамиком Amazon Echo или терmostатом от Google.

В 2017 г. при поиске по ключевому слову «IoT» сервис LinkedIn показывал 7189 объявлений о работе, тем или иным образом связанный с интернетом вещей. Портал Glassdoor показывает 5440, а сайт [monster.com](http://monster.com) – более тысячи объявлений. Рынок интернета вещей затягивает в себя все больше специалистов и технологий. Очень часто технические специалисты идут самым простым путем и подключают к интернету те объекты, которые раньше работали автономно. Безусловно, данный подход дает результаты, но это не то, что делает архитектор. Архитектор должен видеть общую картину, понимать, как работают разномастные технологии, разбираться в коэффициентах масштаба, безопасности и электроэнергии, – только тогда он сможет создать IoT-решение, которое будет не просто функционировать, но и приносить пользу компании, пользователям и акционерам.

Многие IoT-проекты оказываются провальными или застrevают на стадии разработки по двум причинам. Во-первых, создать надежную систему сложно как в плане безопасности, так и в плане устойчивости к возникновению сбоев. Во-вторых, часто IoT-решение технически работает, но не получает одобрения со стороны менеджера, отвечающего за материально-техническое обеспечение ИТ-отдела. Поскольку границы интернета постоянно расширяются, мы как архитекторы должны учитывать тот факт, что миру корпоративных и промышленных информационных технологий уже более 50 лет. Конечно, IP-адрес можно присвоить даже лампочке, но будет ли от этого практическая польза для клиентов? В этой книге мы попытались подойти к интернету вещей с корпоративной/промышленной/коммерческой точки зрения, а не с развлекательной.

В этой книге интернет вещей рассматривается с точки зрения архитектуры и общего устройства, от датчика до облака, включая все физические переходы и трансформации между ними. Поскольку данная книга представляет собой пособие для архитекторов, мы попытались затронуть обозначенные вопросы достаточно глубоко, чтобы рассказать другим архитекторам что-то новое о трудностях и подводных камнях базовой системы. Об особенностях интернета вещей, например о протоколе MQTT, разработке в облаке и методологии DevOps, проектировании источников питания и батарей, а также анализе радиосигналов, написано много книг и учебных пособий. Все это – важные компоненты IoT-системы, и квалифицированный архитектор, чтобы спроектировать надежную систему, должен принимать во внимание каждый из

этих элементов. Однако архитектор также должен чувствовать, когда пришла пора оторваться от деталей и сместить фокус своего внимания на архитектуру в целом.

От читателя не требуется хорошо разбираться в каждой области инженерии. В книге присутствует информация, касающаяся радиочастотных сигналов, питания и энергии и теории электрических цепей. Параллельно с этим книга повествует о программировании TCP/IP и управлении облаком. И наконец, она подробно рассказывает о приложениях для машинного обучения, таких как сверточная нейронная сеть. Свести все эти технологии вместе – задача архитектора. Эта книга поможет вам развить свои навыки до необходимого уровня, но от вас не требуется глубоко разбираться в каждой из этих областей.

Возможности, которые предоставляет интернет вещей, невероятны: именно интернет вещей будет основой для следующего глобального переворота в промышленности, здравоохранении, системе государственного управления и предпринимательстве. Он, безо всякого сомнения, окажет сильное влияние на ВНП, наемный труд и рынки по всему миру. Однако, как вы увидите, с точки зрения безопасности с интернетом вещей связан ряд проблем и рисков.

Из тысяч объявлений о работе на тех сайтах многие предназначены для IoT-архитекторов, технических специалистов и координаторов, способных создавать IoT-решения, а не просто виджеты. Эта книга поможет вам изучить и освоить технологии, необходимые для выполнения такого рода проектов.

Кроме того, она интересная. Чтобы разработать устройство, с помощью которого можно регулировать освещение в доме или даже самолете или управлять тысячами уличных фонарей в городе на другом конце света, требуется невероятно мощная технология, созданная для фанатов технических новинок, но применяемая архитекторами.

## Для кого эта книга?

Эта книга предназначена для архитекторов, проектировщиков систем, технических специалистов и менеджеров по технологиям, которые хотят получить представление об экосфере интернета вещей, различных технологиях и альтернативах, а также рассмотреть IoT-архитектуру со всех ракурсов.

## О чём эта книга

Глава 1 «История интернета вещей» в описательной манере расскажет вам о развитии, значении и влиянии интернета вещей с исторической точки зрения. Также вы познакомитесь с примерами применения интернета вещей в различный сферах, включая промышленность, умные города, транспортную систему и здравоохранение.

Глава 2 «Архитектура и ключевые модули интернета вещей» создает общее представление о тех технологиях, о которых идет речь в данной книге,

и о том, как они сочетаются друг с другом. Каждый компонент служит своей цели и может подспудно оказывать влияние на другие компоненты. Эта глава очень важна для понимания общей картины взаимодействия связанных технологий. В ней также говорится о том, как можно повысить значимость интернета вещей.

Глава 3 «Датчики, оконечные точки и системы питания» рассказывает о миллиардах граничных IoT-устройств и сенсорных технологий, которые появятся в интернете. Говорится об основах разработки и проектирования датчиков и систем питания.

Глава 4 «Теория коммуникации и информации» представляет обзор важных сведений о динамической и математической моделях коммуникационных систем, которые имеют непосредственное отношение к интернету вещей. Вы познакомитесь с теоретическими основами, на которых строятся архитектурные решения в сфере телекоммуникаций.

Глава 5 «Беспроводная персональная сеть (WPAN) не на основе IP» рассказывает об основных технологиях и протоколах IoT, работающих не на основе IP. В этой главе подробно говорится о новой архитектуре Bluetooth 5, протоколах Zigbee, Z-Wave и сенсорных сетях с ячеистой топологией.

Глава 6 «WPAN и WLAN на базе IP» дополнит рассказ о системах ближней связи информацией о технологиях связи на основе протокола IP, включая стандарты 6LoWPAN, Thread и IEEE 802.11. В этой главе также подробно говорится о новых протоколах семейства 802.11, таких как протокол 802.11r для транспортных систем и протокол 802.11ah для интернета вещей.

Глава 7 «Системы и протоколы дальней связи (ГВС)» посвящена глобальной вычислительной сети и способам передачи данных от вещей в облако через системы дальней связи. В этой главе в подробностях рассказывается о стандарте сотовой связи LTE, технологиях LoRaWAN, Sigfox, а также о новом узкополосном варианте архитектуры сети LTE и о 5G-сетях.

Глава 8 «Маршрутизаторы и шлюзы» рассказывает о значимости периферийной маршрутизации и шлюзов. В этой главе рассматриваются системы маршрутизации, функции шлюза, технологии VPN, VLAN и приоритизация трафика, а также программно-конфигурируемые сети.

Глава 9 «IoT-протоколы передачи данных от граничного устройства в облако» знакомит вас с основными IoT-протоколами передачи данных в облако, такими как MQTT, MQTT-SN, CoAP, AMQP и STOMP. Вы узнаете, как их применять и, что важно, какие из них применять.

Глава 10 «Топология облачных и туманных вычислений» рассказывает об основах архитектуры облачных систем на примере OpenStack. Вы узнаете о том, какие тут существуют сложности, и о том, как туманные вычисления (на основе стандарта OpenFog) могут помочь в решении этих проблем.

Глава 11 «Анализ данных и машинное обучение в облачных и туманных платформах» описывает технологии и практические примеры эффективного анализа огромных массивов IoT-данных с помощью таких инструментов, как

обработка правил, обработка сложных событий и лямбда-выражения. В этой главе также изложена информация о приложениях машинного обучения для обработки IoT-данных и о том, в каких обстоятельствах следует их применять.

Глава 12 «Безопасность интернета вещей» рассматривает каждый описанный в данной книге компонент интернета вещей с точки зрения общей безопасности. Вы познакомитесь с теоретическими основами и архитектурой протоколов, аппаратными средствами, программно-определенным периметром и с информацией об обеспечении безопасности технологии распределенных реестров.

Глава 13 «Консорциумы и сообщества» рассказывает о многочисленных промышленных, научных и государственных консорциумах, определяющих стандарты и правила в сфере интернета вещей.

## КАК ПОЛУЧИТЬ ОТ КНИГИ МАКСИМУМ ПОЛЬЗЫ

В этой книге вы найдете несколько примеров проектирования устройств и программирования. Большинство примеров, связанных с программированием, представляют собой псевдокод на основе синтаксиса языка Python. Действующие примеры также основаны на Python 3.4.3, который подходит для macOS, Linux и Microsoft. По некоторым темам (например, глава 9) можно свободно найти библиотеки для Python (например, библиотека Paho, которая позволяет реализовать обмен данными по протоколу MQTT).

Тесное знакомство с некоторыми основополагающими методами математического анализа, теорией информации, электротехникой и информатикой способствует более глубокому пониманию интернета вещей с точки зрения архитектуры.

Ряд примеров из главы 10 берут за основу OpenStack или облачные сервисы Amazon AWS/Greengrass. Если вы хотите разобраться в задачах, стоящих перед архитектором в случаях из данных примеров, лучше завести аккаунт в облачном сервисе, хотя обязательным это не является.

## ЗАГРУЗИТЕ ЦВЕТНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Мы подготовили для вас PDF-файл с цветными изображениями из данной книги (снимки экрана и диаграммы). Если вы хотите скачать его, перейдите по ссылке: [www.packtpub.com/sites/default/files/downloads/InternetofThingsforArchitects\\_ColorImages.pdf](http://www.packtpub.com/sites/default/files/downloads/InternetofThingsforArchitects_ColorImages.pdf).

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В данной книге используется ряд условных обозначений.

Моноширинный текст. Обозначает в тексте строки программного кода, названия таблиц с данными из баз. Пример: «Операция `insert` вносит изменение в оперативную память».

Фрагмент программного кода выглядит следующим образом:

```
rule "Furnace_On"
when
Smoke_Sensor(value > 0) && Heat_Sensor(value > 0)
then
insert(Furnace_On())
end
```

Когда мы хотим привлечь ваше внимание к тому или иному фрагменту программного кода, нужные строки или слова выделены полужирным шрифтом:

```
rule "Furnace_On"
when
Smoke_Sensor(value > 0) && Heat_Sensor(value > 0)
then
insert(Furnace_On())
end
```

Текст, который вводится или отображается в командной строке, выглядит следующим образом:

```
aws greengrass create-function-definition --name "sensorDefinition"
```

**Полужирный шрифт.** Обозначает новый термин, важное слово или слова, которые вы видите на экране, а также реальные и выдуманные URL-адреса, введенный пользователем текст и имена пользователей в Twitter. Допустим, текст меню или диалоговых окон будет выделен полужирным шрифтом. Вот пример: «**Internet Key Exchange (IKE)** – это протокол безопасности в IPsec».

**Курсивом** обозначены имена папок и файлов, расширения файлов, а также путь к файлам.

 Предупреждения или важные примечания отмечены подобным образом.

 Советы и подсказки выделены как этот текст.

## 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 прямо на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги, и оставить комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com), при этом напишите название книги в теме письма.

Если есть тема, в которой вы квалифицированы, и вы заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://www.dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://www.dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

## СКАЧИВАНИЕ ИСХОДНОГО КОДА ПРИМЕРОВ

Скачать файлы с дополнительной информацией для книг издательства «ДМК Пресс» можно на сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com) на странице с описанием соответствующей книги.

## СПИСОК ОПЕЧАТОК

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы удостовериться в качестве наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг — возможно, ошибку в тексте или в коде, — мы будем очень благодарны, если вы сообщите нам о ней. Сделав это, вы избавите других читателей от огорчения и поможете нам улучшить последующие версии этой книги.

Если вы найдете какие-либо ошибки в коде, пожалуйста, сообщите о них главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com), и мы исправим это в следующих тиражах.

## НАРУШЕНИЕ АВТОРСКИХ ПРАВ

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательства «ДМК Пресс» и Packt очень серьезно относятся к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконно выполненной копией любой нашей книги, пожалуйста, сообщите нам адрес копии или веб-сайта, чтобы мы могли применить санкции.

Пожалуйста, свяжитесь с нами по адресу электронной почты [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com) со ссылкой на подозрительные материалы.

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, помогающую нам предоставлять вам качественные материалы.

# Глава 1

---

## История интернета вещей

В четверг, 17 мая 2022 г., вы, как обычно, просыпаетесь около 6:30 утра по тихоокеанскому времени. Вы никогда не заводите будильник, вы один из тех людей, у кого хорошо развиты «биологические часы». Мгновение спустя перед вашими глазами предстает фантастическое солнечное утро, поскольку температура за окном достигает 70 °С. Ваш день будет абсолютно не похож на утро среды 17 мая 2017 г. Абсолютно все: образ жизни, здоровье, финансы, работа, транспорт, даже парковочное место, – будет другим. Все в мире вокруг вас изменится: энергия, медицина, сельское хозяйство, промышленность, транспортная система, общественный транспорт, экология, система безопасности, магазины и даже одежда. Причиной тому будет подключение повседневных объектов к интернету, или интернет вещей (IoT). Наиболее удачным (с моей точки зрения) названием этого явления стало бы «интернет всего».

Еще до того, как вы проснулись, в окружающем вас интернете вещей произошло множество событий. Датчик сна или умная подушка зафиксировали то, как вы спите. Данные были отправлены шлюзу IoT, а затем переданы вашему бесплатному облачному сервису, который отправляет отчеты на информационную панель на вашем телефоне. Вы обходитесь без будильника, но, если у вас, например, самолет в 5 утра, вы все же поставите будильник, который, опять же, контролируется облачным сервисом, работающим на протоколе IFTTT (англ. **«if this then that»** – «если это, тогда то»). Ваш двухзонный котел отопления обслуживается другим облачным сервисом и подключен к вашей домашней 802.11 Wi-Fi-сети, как и датчики дыма, дверной звонок, система полива, дверь гаража, камеры наблюдения и система безопасности. Ваша собака чипирована датчиком для отслеживания, снабженным источником электропитания, с помощью которого открывается дверка для домашних животных, а также позволяющим вам в любой момент узнать, где собака находится.

У вас больше нет компьютера как такового. Конечно, у вас есть планшетник и смартфон, поскольку это базовые устройства, но центром вашего мира стали очки VR/AR Goggles, поскольку экран намного лучше и больше. У вас в шкафу есть шлюз для туманных вычислений. Он подключен к провайдеру интернета 5G и к глобальной вычислительной сети, потому что проводное соединение не соответствует вашему образу жизни – вы мобильны, на связи и онлайн, неза-

висимо от того, где находитесь, а 5G-интернет и любимый оператор обеспечивают вам одинаковый уровень комфорта и в отеле в Майами, и в вашем доме в Бойсе, штат Айдахо. Кроме того, шлюз выполняет за вас множество бытовых задач, таких как обработка видео с камер наблюдения, чтобы определить, не произошел ли в доме как-нибудь сбой или инцидент. Система безопасности проверяет дом на предмет аномалий (странных звуков, возможных протечек воды, перегоревших ламп или испорченной вашей собакой мебели). Границы узел также служит домашней док-станцией, где хранится резервная копия информации с вашего телефона, поскольку вы частенько разбиваете свои телефоны, а также выступает в качестве частного облака, даже если вы ничего не знаете об облачных сервисах.

До работы вы добираетесь на велосипеде. Ваша веломайка оснащена печатными датчиками и отслеживает частоту вашего сердцебиения и температуру тела. Эти данные с помощью технологии Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy) передаются на ваш смартфон, параллельно с этим вы слушаете музыку, причем Bluetooth-гарнитура получает аудиосигнал также с помощью технологии Bluetooth. По пути вы проезжаете мимо нескольких рекламных щитов, транслирующих видео и рекламные ролики в режиме реального времени. Вы заезжаете в местную кофейню, у входа в которую установлено цифровое информационное табло, которое, обращаясь к вам по имени, спрашивает, хотите ли вы повторить свой вчерашний заказ: *большая чашка американо со сливками*. Это возможно благодаря радиомаяку и шлюзу, которые с расстояния полутора метров позволяют определить, что вы приближаетесь к табло. Разумеется, вы выбираете вариант «да». Большинство людей добирается до работы на машинах, а оптимальное парковочное место им позволяют подобрать умные датчики, которым оснащены все парковки. Конечно же, вы оставляете свой велосипед в наиболее подходящем месте – прямо у въезда на парковку, на велосипедной стоянке.

Компания, в которой вы работаете, участвует в природосберегающей программе потребления возобновляемой энергии. Корпоративная политика придерживается курса на сведение к нулю вредных выбросов и отходов, являющихся результатом эксплуатации офисных помещений. В каждой комнате установлены датчики присутствия, дающие информацию не только о том, что в комнате кто-то есть, но и о том, кто именно. Ваш именной бейдж, служащий пропуском на работу, представляет собой устройство-маяк с батарейкой, заряда которой хватит на 10 лет. О вашем присутствии становится известно, как только вы подходите к входной двери. Освещение, вентиляция, система отопления и система кондиционирования воздуха, автоматические шторы, потолочные вентиляторы и даже цифровые информационные табло связаны между собой. Центральный узел туманных вычислений получает всю информацию о здании и синхронизирует ее с облачным сервером. За принятие решений в режиме реального времени отвечает процессор правил, который принимает в расчет количество людей в помещении, время суток, время года, а также температуру

внутри помещения и снаружи. Для максимально эффективного использования энергетических ресурсов система опирается на условия окружающей среды. На главных предохранителях также установлены датчики, которые *отслеживают* тип энергопотребления, передавая эту информацию на узлы туманных вычислений, чтобы при появлении странных тенденций система обратила на них внимание.

Все это происходит благодаря некоторым алгоритмам машинного обучения и граничной аналитики в режиме реального времени, которые отрабатываются в облаке и выполняются на граничных устройствах. В офисном помещении также расположена малая сотовая сеть 5G для подключения к оператору верхнего уровня, а кроме того, несколько шлюзов для малых сетей, обеспечивающих связь внутри здания. Внутренние шлюзы для малых сетей 5G также выступают в роли локальной вычислительной сети.

Ваш телефон и планшет поймали внутренний сигнал 5G, и вы подключились к оверлейной сети, определяемой вашим программным обеспечением, и тут же оказались в корпоративной локальной вычислительной сети. Ваш смартфон выполняет за вас большой объем задач, по сути, он стал вашим персональным шлюзом для подключения к вашей собственной персональной сети, окружающей ваше тело. Вы спешите на свою первую сегодняшнюю встречу, но ваш коллега еще не пришел и появляется на пару минут позже вас. Он извиняется, но объясняет, что добирался на работу не без приключений. Его новая машина отправила производителю сообщение о вероятных отклонениях в работе компрессора и турбонагнетателя. Производитель немедленно отреагировал и позвонил владельцу, чтобы поставить того в известность о 70%-ной вероятности поломки турбокомпрессора в течение ближайших двух дней эксплуатации машины. Они договорились о времени встречи в дилерском центре, куда были отправлены новые детали для ремонта компрессора. Это сэкономило вашему коллеге приличную сумму, которую пришлось бы потратить на замену турбокомпрессора, а также позволило избежать массы побочных последствий.

Обедать ваша компания решила в центре города, в новом ресторанчике с рыбными тако. Вы вчетвером втискиваетесь в купе, где и вдвоем-то не очень просторно, и отправляйтесь в путь. К сожалению, вам приходится припарковаться на одной из самых дорогих многоуровневых парковок. На этой парковке действует динамическое ценообразование, т. е. цена зависит от спроса и количества свободных мест. В результате некоторых событий и повальной тупости людей стоимость парковки увеличилась вдвое, несмотря на то что сейчас полдень вторника. Хороший момент в том, что та же система, которая отвечает за ценообразование, передает вашей машине и смартфону информацию о свободных парковках и их точное местонахождение. Вы вводите адрес рыбного тако-ресторана, высвечивается информация о подходящей парковке и ее загруженности, и вы бронируете место еще до своего приезда туда. Машина подъезжает к воротам, которые идентифицируют вас по сигналу смартфона и открывают. Вы заезжаете на парковку, и мобильное приложение отмечает

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине «Электронный универс»  
([e-Univers.ru](http://e-Univers.ru))