



Архитектура интернета вещей

Перри Ли

УДК 004.738, 004.62
ББК 32.973
Л55

Ли П.

Л55 Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-672-8

Книга посвящена всем аспектам использования интернета вещей с примерами его применения в различных сферах, включая промышленность, умные города, транспортную систему и здравоохранение. Это наиболее подробное руководство в данной области на русском языке, которое рекомендуется всем отраслевым специалистам Ассоциацией интернета вещей в России. Вы получите полное представление об экосфере интернета вещей, различных технологиях и альтернативах, а также сможете рассмотреть IoT-архитектуру со всех ракурсов.

Издание будет полезно для архитекторов и проектировщиков информационных систем, технических специалистов и менеджеров по технологиям.

УДК 004.738, 004.62
ББК 32.973

Authorized Russian translation of the English edition of Internet of Things for Architects ISBN 781788470599 © 2018 Packt Publishing.

This translation is published and sold by permission of Packt Publishing, which owns or controls all rights to publish and sell the same.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-1-78847-059-9 (анг.)
ISBN 978-5-97060-672-8 (рус.)

Copyright © 2018 Packt Publishing
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2019

Содержание

Об авторе	13
О рецензенте	14
Предисловие	15
Глава 1. История интернета вещей	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
Глава 2. Архитектура и ключевые модули интернета вещей	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
Глава 3. Датчики, оконечные точки и системы питания	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
Воспроизводство электроэнергии.....	74
Хранилище энергии	80
Заключение	85
Глава 4. Теория коммуникации и информации.....	86
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
Глава 5. Беспроводная персональная сеть (WPAN)	
не на основе IP	107
Стандарты беспроводной персональной локальной сети	108
Стандарты 802.15.....	108
Bluetooth.....	109
IEEE 802.15.4.....	143
Zigbee.....	151
Z-Wave.....	160
Заключение	166
Глава 6. WPAN и WLAN на базе IP	167
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
Глава 7. Системы и протоколы дальней связи (ГВС).....	215
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
Глава 8. Маршрутизаторы и шлюзы	262
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
Глава 9. IoT-протоколы передачи данных от граничного устройства в облако	282
Протоколы.....	282
MQTT	284
Издание-подписка MQTT.....	285
Детали архитектуры MQTT	287
Рекламирование и обнаружение шлюза	290
Структура пакета MQTT	290
Форматы соединений MQTT.....	290
Рабочий пример MQTT.....	293
MQTT-SN.....	296
Архитектура и топология MQTT-SN	296
Прозрачные и собирающие шлюзы	297
Различия между MQTT и MQTT-SN	297
Ограниченный прикладной протокол	298
Детали архитектуры CoAP	299
Форматы сообщений CoAP	302
Пример использования CoAP	306

Другие протоколы.....	307
STOMP.....	307
AMQP.....	308
Сводка и сравнение протоколов.....	310
Заключение.....	311
Глава 10. Топология облачных и туманных вычислений.....	312
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.....	318
Glance – сервис изображений.....	318
Вычисления Nova.....	319
Swift – хранение объектов.....	321
Neutron – сетевые сервисы.....	321
Cinder – блочное хранилище.....	321
Horizon.....	322
Heat – оркестрация (опция).....	322
Ceilometer – телеметрия (опция).....	322
Ограничения облачных архитектур для IoT.....	323
Эффект задержки.....	324
Туманные вычисления.....	326
Философия Nadoor для туманных вычислений.....	326
Сравнение туманных, граничных и облачных вычислений.....	327
Архитектура OpenFog RA.....	327
Amazon Greengrass и лямбда-функции.....	333
Туманные топологии.....	335
Заключение.....	340
Глава 11. Анализ данных и машинное обучение	
в облачных и туманных платформах.....	341
Простой анализ данных в интернете вещей.....	342
Верхний уровень облачной архитектуры.....	345
Система правил.....	346
Потребление информации: потоки, обработка и озера данных.....	349
Обработка сложных событий.....	352

Lambda-архитектура.....	353
Промышленное применение.....	354
Машинное обучение в интернете вещей.....	354
Модели машинного обучения.....	360
Классификация.....	361
Регрессия.....	362
Случайный лес.....	363
Байесовские модели.....	364
Сверточные нейронные сети.....	367
Рекуррентные нейронные сети.....	375
Обучение и получение логических выводов в интернете вещей.....	381
Анализ данных в IoT и сравнение/оценка методов машинного обучения.....	382
Заключение.....	384
Глава 12. Безопасность интернета вещей.....	385
Общепотребительные понятия кибербезопасности.....	386
Термины, связанные с атакой.....	386
Термины, связанные с защитой.....	388
Анатомия кибератак на IoT-устройства.....	390
Mirai.....	391
Stuxnet.....	393
Цепная реакция.....	394
Физическая и аппаратная безопасность.....	396
Корень доверия.....	396
Управление ключами и модули TPM.....	397
Адресное пространство в процессоре и памяти.....	398
Безопасность хранения данных.....	398
Физическая безопасность.....	399
Криптография.....	401
Симметричная криптография.....	402
Ассиметричная криптография.....	404
Криптографический хеш (аутентификация и цифровая подпись).....	409
Инфраструктура открытого ключа.....	410
Сетевой стек: протокол защиты транспортного уровня.....	411
Программно-определяемый периметр.....	412
Архитектура программно-определяемого периметра.....	412
Блокчейн и криптовалюта в интернете вещей.....	415
Bitcoin (блокчейн).....	416
ИОТА (направленный ациклический граф).....	420
Правовое регулирование.....	422
Законопроект об улучшении безопасности интернета вещей (август, 2017).....	422

Другие правительственные учреждения	423
Рекомендации по защите IoT-устройств	424
Комплексная безопасность	425
Краткий перечень мер безопасности	426
Заключение	427
Глава 13. Консорциумы и сообщества	428
Консорциумы по персональным сетям	428
Bluetooth SIG	429
Thread Group	429
Альянс Zigbee	430
Другое	430
Консорциумы по протоколам	430
Open Connectivity Foundation и Allseen Alliance	430
OASIS	431
Object Management Group	432
IPSO Alliance	432
Другое	433
Консорциумы по глобальным вычислительным сетям	433
Weightless SIG	433
LoRa Alliance	433
Инженерный совет интернета	434
Wi-Fi Alliance	434
Консорциумы по туманным и граничным вычислениям	435
OpenFog	435
EdgeX Foundry	436
Специализированные организации	436
Консорциум промышленного интернета	436
Институт инженеров по электротехнике и электронике IoT (IEEE IoT)	437
Другое	437
Американские правительственные организации по вопросам IoT и безопасности	438
Заключение	438
Предметный указатель	439

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). Граничный 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 несколько 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 батареей, 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 нескольким 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 сота 5G для подключения к оператору верхнего уровня, а кроме того, несколько шлюзов для малых сот, обеспечивающих связь внутри здания. Внутренние шлюзы для малых сот 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 отправляетесь 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 открываются. Вы заезжаете на парковку, и мобильное приложение отмечает

в облаке парковки, что вы поставили машину на правильное место, над нужным датчиком.

После обеда вам нужно посетить производственный объект на другом конце города. Это типичная фабрика: несколько литьевых машин, подъемно-транспортные устройства, упаковочные машины и вся сопутствующая инфраструктура. Недавно качество продукции стало снижаться. У конечного продукта появились проблемы с узловым соединением, и он стал менее привлекательным внешне по сравнению с прошлым месяцем. Вы приехали на точку, побеседовали с менеджером и проинспектировали фабрику. Все кажется нормальным, но качество, безусловно, изменилось в худшую сторону. Вы вдвоем садитесь и начинаете разбираться с панелями управления производственного этажа.

Для контроля над цехом система опирается на ряд датчиков (датчик вибрации, температуры, скорости, обзора и слежения). Данные поступают и визуализируются в режиме реального времени. Несколько алгоритмов диагностического обслуживания проверяют различные устройства на внешние признаки износа или сбоев. Эта информация направляется производителю оборудования, а также вашей команде. Анализ журналов учета и анализ динамики показателей не выявил никаких аномалий, его выполняли ваши лучшие специалисты. Все указывает на то, что на решение этой проблемы уйдет не одна неделя и лучшим сотрудникам вашей организации придется ежедневно проводить рабочие совещания.

Однако в вашем распоряжении большой объем данных. Все данные по производственному цеху за долгое время хранятся в базе данных. Это дорогая услуга, расходы на которую поначалу было трудно объяснить, но вы считаете, что в данных обстоятельства она оправдывает себя на тысячу процентов. Прогнав все ретроспективные данные через сложную систему анализа данных и событий, вы быстро получаете набор критериев, влияющих на качество проблемных деталей. Отследив ситуацию до тех событий, которые привели к потере качества, вы понимаете, что причиной стал не точечный сбой, а целый ряд факторов:

- внутренняя температура рабочего пространства была повышена на 2 °C в целях энергосбережения в летний период;
- в результате экономии электроэнергии скорость работы сборочного конвейера снизилась на 1,5%;
- одна из литьевых машин должна была в ближайшее время проходить плановое профилактическое техобслуживание, а температура рабочего пространства и скорость конвейера привели к тому, что она дала сбой раньше, чем прогнозировалось.

Вы выявили проблему и перенастроили алгоритмы диагностического обслуживания с учетом изменившихся параметров, чтобы в будущем избегать подобных ситуаций. В целом, рабочий день был продуктивным.

Неважно, сбудется или не сбудется эта выдуманная история – как бы там ни было, она довольно близка к современной реальности. Википедия (ru.wikipedia.org/wiki/интернет_вещей) определяет понятие «интернет вещей» следующим

образом: «Интернет вещей (IoT) (англ. Internet of Things, IoT) – концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека».

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Термин «интернет вещей», по всей видимости, обязан своим появлением Кевину Эштону, который в 1997 г., работая на компанию Proctor and Gamble, для управления системой поставок применил технологию радиочастотной идентификации (RFID). Благодаря этой работе в 1999 г. его пригласили в Массачусетский технологический институт, где он с группой единомышленников организовал исследовательский консорциум Auto-ID Center (более подробную информацию можно найти на сайте www.smithsonianmag.com/innovation/kevin-ashton-describes-the-internet-of-things-180953749/). С тех пор интернет вещей совершил переход от простых радиочастотных меток к экосистеме и индустрии, которая к 2020 г. привлечет, создаст или поглотит 5 трлн долларов из 100 трлн мирового ВВП, т. е. 6% мирового ВВП. Вплоть до 2012 г. идея подключения вещей к интернету преимущественно относилась к смартфонам, планшетах, ПК и ноутбукам. По сути, к тем вещам, которые во всех отношениях выступают в качестве компьютера. До этого, с момента появления первых робких зачатков интернета (таких как созданная в 1969 г. сеть ARPANET), большинства технологий, на которых строится интернет вещей, просто не существовало. До 2000 г. большинство устройств, которые можно было подключить к интернету, представляло собой компьютеры различных размеров. Таблица 1.1 демонстрирует постепенное подключение *вещей* к интернету.

Таблица 1.1. История интернета вещей

Год	Устройство	Источник
1973	Марио У. Кардулло получает патент на первую радиочастотную метку	США, патент US 3713148 A
1982	Подключенный к интернету автомат с газированной водой в университете Карнеги-Меллон	www.cs.cmu.edu/~coke/history_long.txt
1989	Подключенный к интернету тостер на конференции Interop '89	Журнал IEEE Consumer Electronics Magazine (Том: 6, выпуск: 1, январь 2017)
1991	Компания HP представила HP LaserJet IIISi: первый подключенный к сети Ethernet сетевой принтер	hpmuseum.net/display_item.php?hw=350
1993	Подключенная к интернету кофеварка в Кембриджском университете (первая подключенная к интернету камера)	www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html
1996	Подразделение General Motors OnStar (дистанционная диагностика 2001)	en.wikipedia.org/wiki/OnStar

Таблица 1.1 (окончание)

Год	Устройство	Источник
1998	Появление организации Bluetooth SIG	www.bluetooth.com/aboutus/our-history
1999	Холодильник LG Internet Digital DIOS	www.telecompaper.com/news/lg-unveils-internetready-refrigerator--221266
2000	Первые проявления разработанной компанией HP концепции всепроникающей компьютеризации (Cooltown): HP Labs, система вычислительных и коммуникационных технологий, которые в сочетании друг с другом создают подключение к интернету для людей, мест и объектов	www.youtube.com/watch?v=U2AkkulVV-I
2001	Выпуск первого устройства, использующего технологию Bluetooth: мобильный телефон KDDI с поддержкой Bluetooth	edition.cnn.com/2001/BUSINESS/asia/04/17/tokyo.kddibluetooth/index.html
2005	Международный союз электросвязи, специализированное учреждение ООН, выпустил отчет, в котором впервые были сформулированы прогнозы развития интернета вещей	www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf
2008	Появление первого IoT-сообщества IPSO Alliance, целью которого было содействие подключению вещей к интернету	www.ipso-alliance.org
2010	Успешная разработка полупроводниковых светодиодных ламп привела к развитию концепции умного освещения	www.bu.edu/smartlighting/files/2010/01/BobK.pdf
2014	Компания Apple создала протокол iBeacon для маячков	support.apple.com/ru-ru/HT202880

Безусловно, понятие «интернет вещей» вызывает большой интерес и пристальное внимание. Это легко заметить, хотя бы исходя из того, что, начиная с 2010 г., количество получаемых патентов бурно растет (www.uspto.gov). Количество поисковых запросов в системе Google (trends.google.com/trends/) и публикаций в коллегиально рецензируемом журнале IEEE резко поползло вверх в 2013 г. (см. рис. 1.1).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Интернет вещей захватит практически каждый сегмент в сфере промышленности, бизнеса, здравоохранения и потребительских товаров. Важно понимать последствия, а также то, почему эти совершенно различные отрасли будут вынуждены изменить свой подход к производству товаров и предоставлению услуг. Вероятно, вы как архитектор будете иметь дело с каким-то одним конкретным сегментом, однако вам не помешает понимание того, как различные сферы экономики могут взаимно влиять друг на друга в остальных случаях.

Как говорилось ранее, согласно распространенному мнению, интернет вещей и связанные с ним сферы услуг, отрасли промышленности и торговли к 2020 г. (предположительно) затронут своим влиянием от трех (The route to a trillion devices, ARM Ltd 2017: community.arm.com/cfs-file/_key/telligent-

evolution-components-attachments/01-1996-00-00-00-01-30-09/ARM-_2D00_-The-route-to-a-trillion-devices-_2D00_-June-2017.pdf) до четырех процентов (The Internet of Things: Mapping Value Beyond the Hype, McKinsey and Company 2015: www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx) мирового ВВП. Мировой ВВП за 2016 г. составил 75,64 трлн долларов США, а, по некоторым оценкам, к 2020 г. он вырастет до 81,5 трлн долларов. Таким образом, в интернет вещей будет вовлечено от 2,4 до примерно 4,9 трлн долларов.

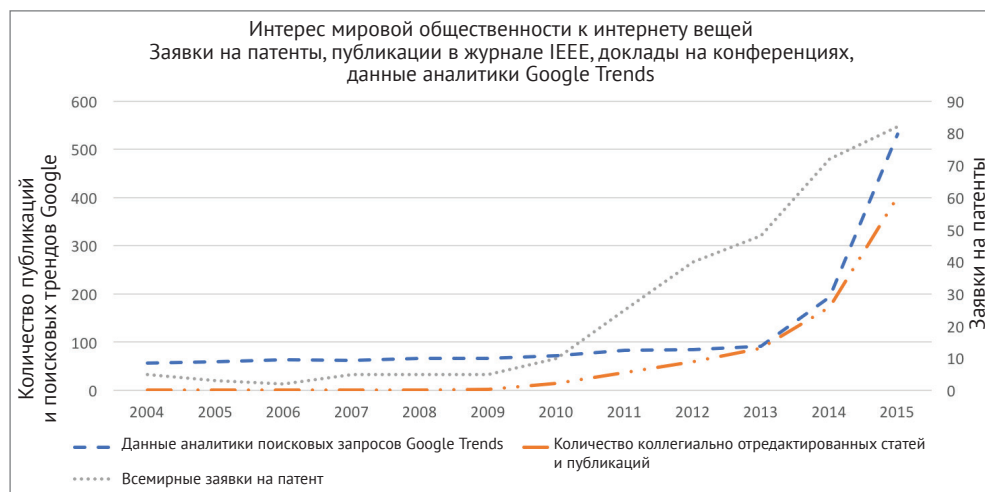


Рис. 1.1 ❖ Анализ ключевых слов при поиске информации об интернете вещей, патентах и технических публикациях

Численность взаимосвязанных объектов беспрецедентна. Размышляя о развитии этой сферы, невозможно не задуматься о сопряженных рисках. Чтобы попробовать сгладить возможные последствия, возьмем несколько исследовательских компаний и их отчетов о том, сколько объектов будет подключено к 2020 г. Разброс очень большой, но все же порядок величин примерно одинаков. В среднем, согласно этим 10 аналитическим прогнозам, к 2020–2021 гг. будет 33,4 млрд подключенных к интернету объектов. Недавно корпорация ARM провела исследование и предсказала, что к 2035 г. подключенным к интернету будет 1 трлн устройств. Судя по всему, соответствующие проекты в ближайшем будущем будут развиваться и наращивать свой потенциал со скоростью 20% в год (рис. 1.2).

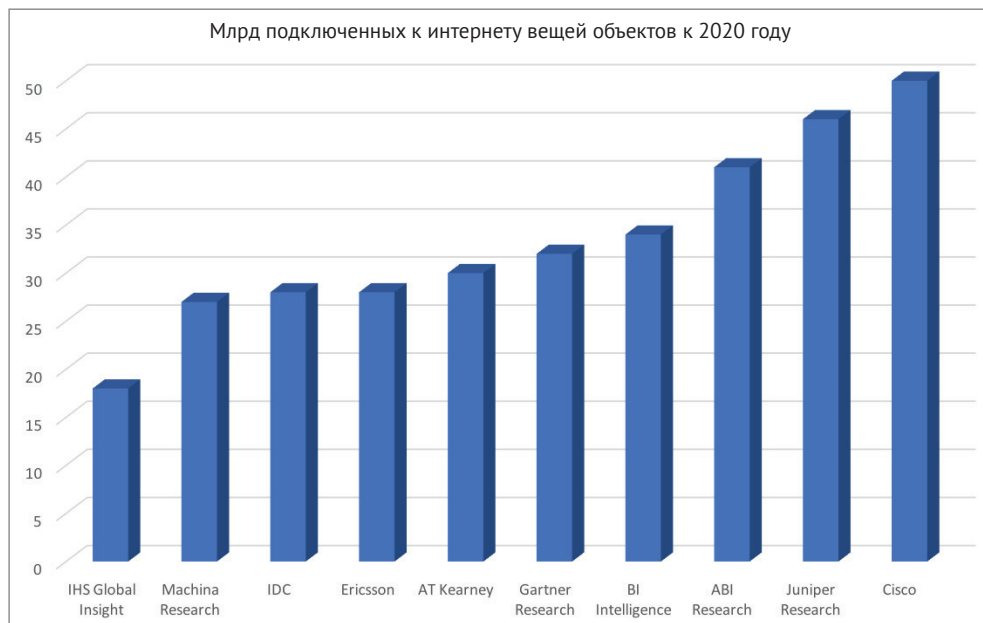


Рис. 1.2 ❖ Количество подключенных к интернету объектов по оценкам различных аналитиков и корпораций

Эти цифры должны впечатлить читателя. Например, если за основу взять очень консервативную точку зрения, в соответствии с которой к интернету будет подключено только 20 млрд устройств (исключая традиционную вычислительную технику и мобильные устройства), получится, к интернету каждую секунду будут подключаться 211 новых объектов.

Для электронной промышленности и сферы информационных технологий эти данные имеют огромное значение, поскольку ежегодный прирост населения Земли на данный момент составляет приблизительно 0,9–1,09% (esa.un.org/unpd/wpp/). Темп роста населения Земли достиг своего пика в 1962 г., когда он составлял 2,6% в год, и с тех пор под влиянием ряда факторов медленно снижается. Первый и основной фактор – улучшение экономических показателей и повышение мирового ВВП отрицательно сказались на рождаемости. К другим факторам относятся войны и голод. Эта тенденция подразумевает, что количество объектов, связанных с людьми, перестанет расти, а основной объем подключенных к интернету устройств будут составлять подключенные к интернету объекты и объекты с межмашинной коммуникацией. Это важно, поскольку в сфере информационных технологий главным фактором ценности сети является не количество размещенных в ней данных, а количество подключений. Именно так гласит закон Меткалфа, о котором мы поговорим далее в данной книге. Также следует отметить, что после того, как в 1990 г. организа-

ция ЦЕРН (CERN) запустила первый интернет-сайт, количество пользователей сети Интернет выросло до 1 млрд человек всего за 15 лет. Интернет вещей, по оценкам, будет расти со скоростью 6 млрд подключенных устройств в год. Это, конечно, станет огромным фактором влияния (рис. 1.3).



Рис. 1.3 ❖ Дисбаланс между ростом численности населения Земли и ростом количества подключенных к интернету вещей. Наблюдается следующая тенденция: ежегодный прирост подключенных к интернету объектов составляет 20% против 0,9% ежегодного прироста населения. Люди больше не будут основным показателем пропускной способности сети и успешности ИТ-проекта

Необходимо отметить, что с экономической точки зрения изменится не только способ получения дохода. Влияние интернета вещей или любой другой технологии проявляется в виде:

- новых источников дохода (получение электроэнергии экологически чистым методом);
- сокращения расходов (уход за пациентами на дому);
- сокращения срока вывода продукта на рынок (автоматизация производства);
- усовершенствования структуры цепочки поставок (учет материальных активов);
- сокращения производственных потерь (кража, порча товаров с коротким сроком годности);
- повышения производительности (машинное обучение и анализ данных);
- вытеснения (умный термостат Nest вытесняет с рынка обычные термостаты).

Читая эту книгу, в первую очередь необходимо помнить о той дополнительной ценности, которую приносят IoT-решения. Если это просто новый гаджет, объем рынка будет ограничен. Направление будет развиваться и приносить хо-

рошие плоды, только если ожидаемые преимущества перевешивают возможные издержки. В целом, целевая технология должна быть на пять порядков лучше обычной технологии. Именно к этому я и стремился, работая в сфере информационных технологий. Прикидывая затраты, необходимые для внесения изменений, обучение, распространение, техническую поддержку и пр., необходимо исходить из принципа 5-кратного улучшения.

Теперь подробно поговорим об отдельных отраслях промышленности и того, как на них повлияет интернет вещей.

Индустрия и производство

Промышленный интернет вещей (Industrial IoT, IIoT) – это один из наиболее крупных и быстро развивающихся сегментов интернета вещей с точки зрения количества подключенных устройств и степени полезности этих сервисов для производства и автоматизации предприятий. Этот сегмент традиционно служит операционно-технологической базой. Сюда входят аппаратные и программные средства мониторинга физических устройств. Традиционные задачи информационных технологий решаются иначе, чем операционно-технологические задачи. Операционные технологии (ОТ) сосредоточены на оценке производительности, времени безотказной работы, сборе данных и ответной реакции в режиме реального времени, а также безопасности систем. Информационные технологии направлены на безопасность, группирование, сервисы и предоставление данных. Поскольку интернет вещей начинает занимать важное место в сфере производства и промышленности, миры ИТ и ОТ объединятся, особенно в области диагностического обслуживания тысяч производственных машин и станков, и смогут обеспечивать беспрецедентным объемом данных частные и публичные облачные инфраструктуры.

К характеристикам этого сегмента относится необходимость предоставлять операционно-технологической системе готовые решения в режиме реального времени или почти в режиме реального времени. Это означает, что во всем, что касается производственного цеха, главным параметром для интернета вещей будет время отклика. Кроме того, важнейшую роль будут играть длительность простоя и безопасность. Это подразумевает потребность в запасе мощности и, вероятно, в наличии частных облачных сетей и хранилищ данных. Промышленный интернет вещей – это один из наиболее быстро развивающихся сегментов на этом рынке. Важной особенностью этого направления является то, что оно опирается на *старые* технологии, т. е. на аппаратные и программные средства, которые нельзя назвать актуальными. Часто 30-летние производственные станки работают на серийных интерфейсах RS485, а не на современной беспроводной ячеистой архитектуре.

Примеры и результаты применения промышленного интернета вещей

Примеры и результаты применения промышленного интернета вещей включают в себя следующее:

- профилактическое обслуживание нового и использовавшегося ранее промышленного оборудования;
- рост производительности благодаря спросу в реальном времени;
- энергосбережение;
- системы безопасности, такие как измерение температуры, замер давления и контроль над утечкой газа;
- экспертная система для производственного цеха.

Потребитель

Потребительские устройства были одной из первых категорий предметов, подключаемых к интернету. Потребительский интернет вещей начался с подключенной к интернету кофеварки в одном университете в 1990-х гг. Он расцвел с распространением технологии Bluetooth в начале 2000-х гг. Теперь миллионы домов оснащены термостатами Nest, лампочками Hue, виртуальным голосовым помощником Alexa и ТВ-приставками Roku. Кроме того, люди пользуются браслетами Fitbit и другими портативными устройствами. Потребительский рынок обычно первым перенимает все новые технологии. Также мы можем рассматривать эти устройства как гаджеты. Все они поставляются в аккуратной упаковке и обертке, и, в основном, все они действуют по принципу «вставь и включи».

Одна из сложностей потребительского сегмента заключается в бифуркации стандартов. Например, мы видим, что в основе некоторых протоколов беспроводной персональной сети лежат стандарты Bluetooth, Zigbee и Z-wave (которые не являются интероперабельными).

У этого направления также очень много общего с медицинским сегментом, куда относятся специализированные портативные устройства и домашние системы наблюдения за состоянием здоровья. Пока мы оставим их в стороне, отметим только, что медицинский сегмент будет развиваться и не станет ограничиваться простыми домашними приборами медицинской диагностики (например, функционалом браслетов Fitbit).

Примеры применения пользовательского интернета вещей

Вот несколько примеров применения пользовательского интернета вещей:

- **умные устройства для дома:** система полива, гаражные двери, замки, фонари, термостаты и система охраны;
- **портативные устройства:** трекеры здоровья и движения, умная одежда/аксессуары;
- **животные:** системы отслеживания местонахождения домашних животных, умные двери для собак.

Розничная торговля, финансы и маркетинг

Эта категория относится к любой области, где осуществляется розничная торговля. Это может быть магазин или торговая палатка. Кроме того, эта катего-