

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
IOTA (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

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 о 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 получают 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 (АСМ). 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 сообщества, такие как IEEE и АСМ.

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. Он 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 термостатом от Google.

В 2017 г. при поиске по ключевому слову «IoT» сервис LinkedIn показывал 7189 объявлений о работе, тем или иным образом связанной с интернетом вещей. Портал Glassdoor показывает 5 440, а сайт **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, этот 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 застревают 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 правления и предпринимательстве. Он, безо всякого сомнения, окажет сильное влияние на ВВП, 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 чем 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 различных 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 этой главе 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 802.11р 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-определяемым 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 `Path`, которая позволяет реализовать обмен данными по протоколу MQTT).

Тесное знакомство с некоторыми основополагающими методами математического анализа, теорией информации, электротехникой и информатикой поспособствует 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.

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. Например, 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, зайдя на страницу книги, и оставить комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу 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://dmkpress.com/authors/publish_book/ или напишите в издательство по адресу dmkpress@gmail.com.

СКАЧИВАНИЕ ИСХОДНОГО КОДА ПРИМЕРОВ

Скачать файлы с дополнительной информацией для книг издательства «ДМК Пресс» можно на сайте 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, 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 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 обходите 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 обрабатываются 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 °С 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, планшетам, 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:

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).

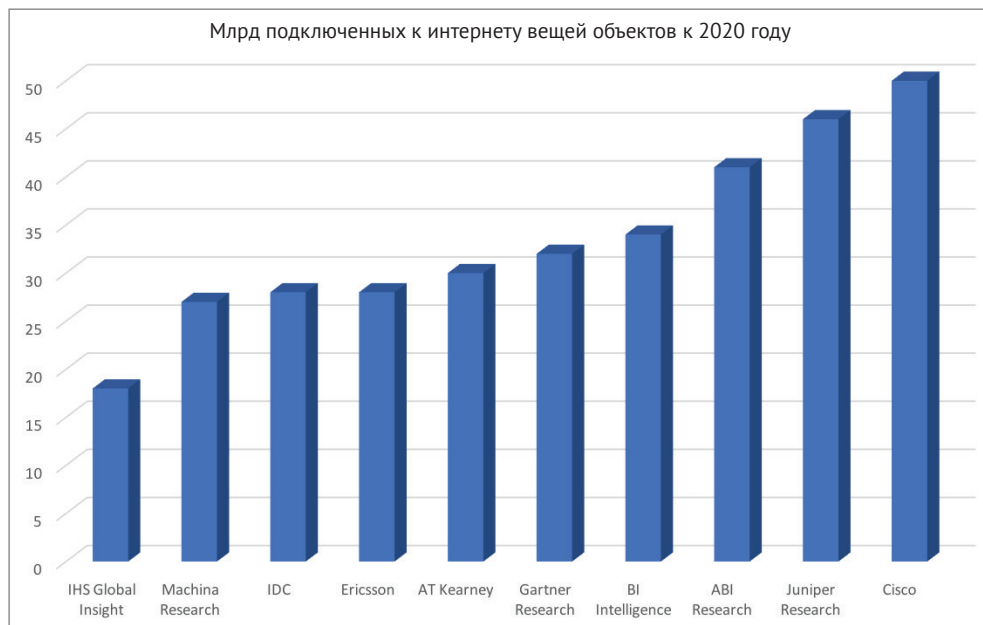


Рис. 1.2 ❖ Количество подключенных к интернету объектов по оценкам различных аналитиков и корпораций

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 (OT) 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-

рия также тесно связана с финансовыми организациями и сферой маркетинга. Сюда входят традиционные банковские и страховые услуги, а также досуговый и гостиничный бизнес. Интернет вещей в области розничной торговли уже оказывает влияние на эту сферу, его задача – снизить издержки реализации и повысить качество обслуживания. Для реализации этой задачи существует множество IoT-инструментов. Чтобы избежать излишней сложности, рекламу и маркетинг мы также отнесем к данной категории.

В этом сегменте ценность выражается в немедленных финансовых операциях. Если интернет вещей не приносит этого результата, необходимо пересмотреть целесообразность вложений в IoT-решения. Это привносит дополнительные сложности в виде необходимости находить новые способы снижения издержек или повышения доходов. Если покупатели смогут эффективнее решать свои задачи, продавцы товаров и услуг смогут обслуживать их быстрее и обходиться меньшим штатом сотрудников.

Примеры применения интернета вещей для розничной торговли

Ниже приведены некоторые примеры применения интернета вещей для розничной торговли:

- целевая реклама, например поиск фактических или потенциальных покупателей в непосредственной близости и предоставление им информации о товаре/услуге;
- оповещения, например маркетинговый анализ на основе таких данных, как распознавание приближения клиента, схема движения и интервалы времени;
- учет материальных активов, в частности инвентаризация, управление ущербом и оптимизация системы поставок;
- контроль над холодильниками, в частности оценка состояния хранящейся в холодильниках скоропортящейся продукции. Применение прогнозной аналитики к продовольственным товарам;
- страхование материальных активов;
- оценка страховых рисков водителей;
- цифровые вывески в торговых точках, гостиницах и по городу;
- системы оповещения в развлекательных заведениях, на конференциях, концертах, парках развлечений и музеях.

Медицина

Сфера медицины может соперничать с промышленностью и логистикой за лидирующие позиции в том, что касается доходности и влияния IoT-решений. Практически в каждой развитой стране любая система, которая повышает качество жизни и позволяет сократить расходы, является высшим приоритетом. Интернет вещей в ближайшем будущем сможет обеспечить дистанционное и многофункциональное наблюдение за пациентами, где бы те ни находились. Высокотехнологичные средства аналитики и машинного обучения будут спо-

способны диагностировать заболевания и назначать лекарства. Такие системы также будут сигнализировать о ситуациях, когда человеку жизненно необходима помощь. В настоящий момент в мире существует около 500 млн портативных медицинских датчиков, а в ближайшем будущем это число увеличится более чем на 10%.

С медицинским сегментом связаны существенные трудности. Согласно закону HIPAA, регламентирующему доступ к медицинской информации, IoT-системы должны квалифицироваться как больничные инструменты и оборудование. Портативные и домашние системы должны обмениваться данными с медицинскими учреждениями 24/7, должны быть надежными и работать без задержек и сбоев. Системы могут работать и на стороне больницы, если требуется отслеживать состояние пациента в процессе его транспортировки в спецмашине.

Примеры применения интернета вещей в медицине

Вот некоторые примеры применения интернета вещей в медицине:

- уход за пациентом на дому;
- модели обучения в предиктивной и превентивной медицине;
- наблюдение и уход за пожилыми пациентами и пациентами с деменцией;
- учет больничного оборудования и ресурсов;
- контроль и обеспечение безопасности лекарственных препаратов;
- дистанционная медицинская помощь;
- исследование медикаментов;
- индикаторы падения пациента.

Транспортировка и логистика

Транспортная сфера и логистика станут важной, если не основной, областью применения интернета вещей. К примерам применения интернета вещей в данной сфере относится отслеживание доставляемого, перемещаемого или транспортируемого груза, какой бы транспорт ни использовался: фура, поезд, самолет или корабль. Сюда же относится подключение к интернету транспортных средств, благодаря чему они могут предлагать водителю помощь или осуществлять профилактический ремонт и обслуживание вместо водителя. В данный момент любое среднестатистическое транспортное средство, купленное новым, оснащено приблизительно 100 датчиками. Эта цифра удвоится, когда такие функции, как связь между машинами, связь между машиной и дорожной инфраструктурой и автоматическое вождение, станут обязательным условием безопасности и комфорта. Все это распространяется не только на частные транспортные средства, но и на железнодорожный транспорт и морские грузоперевозки, где нет возможности для простоя. Еще один вариант применения – техническая помощь на дорогах, возможность отслеживать ситуацию со служебными автомобилями. Некоторые случаи применения мо-

гут быть очень простыми, но при этом очень дорогостоящими, например, отслеживание местоположения свободных автомобилей аварийно-ремонтной службы. Необходимы также системы автоматического построения маршрута для служебных автомобилей и технического персонала в зависимости от ситуации на дороге.

Эта мобильная категория отличается тем, что здесь важную роль играет геолокация. Основная часть геолокационных данных поступает через GPS-навигацию. Интернет вещей опирается на такие данные, как ресурсы и время, а в этом случае и пространственные координаты.

Примеры применения интернета вещей в сфере транспортировки и логистики

Вот несколько примеров применения интернета вещей в сфере транспортировки и логистики:

- отслеживание перемещений и местонахождения автомобилей из парка;
- идентификация и отслеживание железнодорожных вагонов;
- учет грузов и комплектования транспортных единиц в парке;
- плано-предупредительный ремонт автомобилей на дороге.

Сельское хозяйство и окружающая среда

Интернет вещей в области сельского хозяйства и окружающей среды включает в себя такие направления, как ветеринария, анализ земли и почвы, анализ микроклимата, эффективное водопотребление и даже предсказания возможных катастроф (геологических или погодных катаклизмов). Несмотря на то, что темпы роста численности населения Земли снижаются, страны становятся все более экономически устойчивыми. Голод и недостаток питания встречается все реже. Иначе говоря, спрос на производство продуктов питания удвоится к 2035 г. Интернет вещей может способствовать мощному прорыву в сельском хозяйстве. Благодаря умному освещению, подстраивающемуся под возрастные потребности птицы, можно повысить показатели прироста и понизить смертность поголовья на птицефабрике. Кроме того, умные системы освещения могут ежегодно экономить 1 млрд долларов на электроэнергии (по сравнению с обычным нерегулируемым освещением лампами накаливания). Другой вариант применения IoT-систем заключается в отслеживании состояния здоровья поголовья фермы, опираясь на данные о перемещении и расположении датчиков. Животноводческое хозяйство сможет выявлять животных с потенциальными заболеваниями, прежде чем бактериальная или вирусная инфекция успеет распространиться. Системы анализа данных на граничных устройствах позволяют находить, выявлять и изолировать животных в режиме реального времени, опираясь на аналитику или машинное обучение.

Особенностью этого сегмента является его удаленность (например, вулканы) или низкая плотность населения (кукурузные поля). Это оказывает влияние на системы обмена данными, о которых мы поговорим позже, в главах 5 и 7.

Примеры применения интернета вещей в сельском хозяйстве и окружающей среде

Вот несколько примеров применения интернета вещей в сельском хозяйстве и окружающей среде:

- умные системы полива и удобрения для повышения урожайности;
- умное освещение в птицеводческих хозяйствах и фермах для повышения поголовья;
- ветеринария и мониторинг состояния здоровья скота;
- планово-предупредительный ремонт оборудования удаленных ферм под контролем производителя;
- съемка земель с помощью беспилотных летательных аппаратов;
- оптимизация цепочки поставок фермерской продукции на рынок с учетом материальных активов;
- автоматизация ферм;
- мониторинг вулканической активности и геологических разломов для прогнозирования катаклизмов.

Энергетика

Энергетический сегмент включает в себя мониторинг вырабатываемой источником электроэнергии и ее потребление. Большое количество исследований и разработок посвящено потребительским и коммерческим устройствам мониторинга электроэнергии, таким как умные электросчетчики, которые действуют маломощные протоколы широкого спектра действия и измеряют потребление электроэнергии в реальном времени.

Множество электростанций расположено в удаленных или неблагоприятных регионах, например, в пустынных местностях (солнечная энергия), холмистых областях (ветроэлектростанции) или представляют собой опасные территории (ядерные реакторы). При этом данные должны обрабатываться в режиме реального времени или практически реального времени, чтобы можно было моментально отреагировать на срочные сигналы систем управления (общая черта с промышленным сегментом). Это может повлиять на принципы применения интернета вещей в данной сфере. Необходимость обработки данных в реальном времени мы обсудим далее в этой книге.

Примеры применения интернета вещей в энергетике

Вот несколько примеров применения интернета вещей в энергетике:

- анализ данных с нефтедобывающих платформ (тысячи датчиков и точек измерения) с целью повышения производительности;
- удаленный мониторинг и обслуживание солнечных панелей;
- оценка аварийной опасности атомных электростанций;
- общегородские умные электросчетчики для оценки уровня энергопотребления и спроса на электроэнергию;
- регулирование угла атаки лопатки турбины на ветряных энергетических установках в реальном времени в зависимости от погоды.

Умный город

Умный город – это определение, описывающее объединение в общую систему того, что раньше существовало автономно. Умные города – это один из наиболее быстро развивающихся сегментов, в котором соотношение доходов и расходов очень показательно, особенно если мы посмотрим на налоговые поступления. Умные города непосредственно затрагивают качество жизни горожан, в частности, в отношении безопасности, защищенности и простоты получения услуг. Например, некоторые города, такие как Барселона, полностью оборудованы этой системой, и мусорные баки там опустошаются в зависимости от текущей наполненности, а также от времени последнего вывоза мусора. Это позволяет более эффективно справляться с вывозом мусора, задействуя меньше ресурсов, расходуя меньше налогов и при этом своевременно предотвращая появление неприятных запахов гниения органических отходов. Умные города подчиняются правительственным постановлениям и предписаниям (как мы увидим далее), поэтому этот сегмент имеет точки пересечения с правительственной сферой.

Одной из отличительных черт умного города можно считать большое количество датчиков. Например, чтобы на каждом пересечении улиц в Нью-Йорке установить умную камеру, потребуется более 3000 камер. Или, например, в Барселоне и подобных городах необходимо около миллиона экологических датчиков для отслеживания объема потребления электроэнергии, данных о температуре воздуха, условий окружающей среды, качества воздуха, уровня шума и информации о загруженности парковочных мест. Все они передают сигнал по более узкой полосе радиочастот по сравнению с камерами видеонаблюдения, но общий объем передаваемых данных будет практически таким же, как у уличных камер в Нью-Йорке. Эти особенности – большой объем данных и узкополосная связь – необходимо учитывать при разработке оптимальной IoT-архитектуры.

Примеры применения интернета вещей для системы «умный город»

Вот несколько примеров интернета вещей для системы «умный город»:

- контроль над уровнем загрязнения и анализ регулирующего воздействия путем обследования состояния окружающей среды;
- микроклиматические прогнозы погоды с опорой на городскую сеть датчиков;
- повышение эффективности и снижение расходов за счет вывоза и переработки мусора по необходимости, а не по графику;
- улучшение ситуации на дорогах и экономия топлива за счет умных светофоров и разметки;
- рациональное потребление электроэнергии благодаря городскому освещению по необходимости;
- оптимизация снегоуборочных работ благодаря поступающим в реальном времени данным о ситуации на дорогах, погодных условиях и ближайших снегоуборочных машинах;

- умная система полива в парках и общественных местах, учитывающая погодные условия и текущее состояние;
- умные камеры наблюдения для отслеживания преступных деяний и автоматизированная система оповещений AMBER Alert в реальном времени;
- умные парковки, помогающие автоматически подобрать лучшее парковочное место;
- мониторинг износа и состояния мостов, улиц и городской инфраструктуры, направленный на своевременное обслуживание и продление срока службы.

Правительство и армия

Муниципальное правительство, правительство штатов и федеральное правительство, а также армия очень заинтересованы в тех технологиях, которые предлагает интернет вещей. Взять хотя бы принятый в Калифорнии подзаконный акт В-30-15 (www.gov.ca.gov/news.php?id=18938), согласно которому к 2030 г. выбросы парниковых газов должны быть снижены на 40% по сравнению с 1990 г. Для достижения таких сложных целей необходимы мониторы окружающей среды, системы датчиков энергии и машинный интеллект, с помощью которых можно будет по мере необходимости менять схемы потребления электроэнергии, но и не израсходовав на это весь бюджет Калифорнии. Другой пример – проекты типа «Интернет военных вещей» (Internet of Battlefield Things), цель которого – улучшить условия для военнослужащих и повысить эффективность противостояния врагам. Этот сегмент тесно связан с концепцией умного города, поскольку мониторинг государственной инфраструктуры осуществляется так же, как мониторинг трасс и мостов.

Роль правительства в интернете вещей также очень существенна, она проявляется в виде стандартизации, распределении частотного спектра и правилах. Например, посмотрите, как распределяется и защищается диапазон частот, предоставляемый разным провайдерам. В этой книге мы поговорим о том, как под контролем федерального правительства развивались некоторые технологии.

Примеры применения интернета вещей в правительстве и армии

Вот несколько примеров применения интернета вещей в правительстве и армии:

- оценка вероятности террористической угрозы посредством маяков и IoT-устройств, осуществляющих системный анализ;
- дистанционно управляемые разведывательные аппараты и датчики;
- применение сенсорных бомб в условиях боевых действий, формирование систем приборов обнаружения для выявления угроз;
- системы учета государственных материальных активов;
- системы отслеживания и обнаружения военнослужащих в реальном времени;

- комплексные датчики для мониторинга ситуации в опасной обстановке;
- мониторинг уровня воды для оценки состояния плотин и предотвращения затоплений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Добро пожаловать в мир интернета вещей. Мы как архитекторы в этой новой сфере должны понимать, чего хочет клиент, и какие технологии необходимы в данном случае. IoT-системы нельзя просто запустить и забыть. У запрыгивающего на поезд интернета вещей клиента всегда есть ряд ожиданий.

Во-первых, должно появиться дополнительное преимущество. Каким оно будет, зависит от вашей работы и от того, какие задачи стоят перед клиентом. По моему опыту, целью всегда является 5-кратное улучшение показателей, что часто наблюдается при внедрении новых технологий в существующие отрасли. Во-вторых, IoT-проект, по своей природе, подразумевает подключение множества устройств. Преимущество интернета вещей заключается не в том, что какое-то одно устройство или какая-то одна точка передает данные серверу. Данные передает целая группа устройств, и ценность представляет совокупная информация со всех этих устройств. В любом проекте должен быть заложен потенциал к развитию, это необходимо учитывать при разработке чего-то нового.

Теперь перейдем к топологии IoT-системы в целом, а затем рассмотрим ее отдельные компоненты. Не забывайте, данные – это нефть нового времени.