

УДК 004.738, 004.62
ББК 32.973
Л55

Ли П.

Л55 Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 454 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-784-8

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 978-5-97060-784-8 (рус.)

Copyright © 2018 Packt Publishing
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2020

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

6 ❖ Содержание

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

8 ❖ Содержание

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
Структура пакета MQTT	290
Форматы соединений MQTT.....	290
Рабочий пример MQTT.....	293
MQTT-SN.....	295
Архитектура и топология MQTT-SN	296
Прозрачные и собирающие шлюзы	297
Широковещательное вещание и обнаружение шлюза	297
Различия между MQTT и MQTT-SN	297
Ограниченный прикладной протокол	298
Детали архитектуры 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	319
Glance – сервис изображений	319
Вычисления Nova.....	319
Swift – хранение объектов.....	321
Neutron – сетевые сервисы	321
Cinder – блочное хранилище	322
Horizon.....	322
Heat – гармоническое сочетание (опция).....	323
Ceilometer – телеметрия (опция).....	323
Ограничения облачных архитектур для IoT	323
Эффект задержки.....	324
Туманные вычисления	327
Философия Nadoor для туманных вычислений	327
Сравнение туманных, граничных и облачных вычислений	327
Архитектура OpenFog RA	328
Amazon Greengrass и лямбда-функции	334
Туманные топологии.....	336
Заключение	340

Глава 11. Анализ данных и машинное обучение в облачных и туманных платформах 342

Простой анализ данных в интернете вещей	343
Верхний уровень облачной архитектуры	346
Система правил	347
Потребление информации: потоки, обработка и озера данных.....	350

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

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