

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

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

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

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 Nadoop 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