

# Spis treści

Słowo wstępne .....	9
1. Wprowadzenie .....	13
1.1. Jednostki miary używane w informatyce .....	13
1.1.1. Jednostki informacji i ich krotności .....	13
1.1.2. Jednostki wydajności obliczeniowej .....	15
1.1.3. Jednostki wydajności energetycznej .....	16
1.2. Układy procesorowe stosowane w urządzeniach IoT .....	16
1.3. Komunikacja w sieciach IoT .....	17
1.4. Czujniki i urządzenia wyjściowe .....	19
1.5. Projektowanie urządzeń IoT .....	19
2. Mikrokontrolery .....	21
2.1. Budowa mikrokontrolera .....	21
2.2. Rdzenie procesorowe mikrokontrolerów .....	22
2.2.1. Rdzenie ARM Cortex-M .....	22
2.2.2. Rdzenie RISC-V .....	27
2.2.3. Rdzenie Extensa LX .....	27
2.2.4. Architektura ARC .....	28
2.3. Pamięci .....	29
2.3.1. Pamięci nieulotne .....	29
2.3.2. Pamięci ulotne .....	31
2.4. Moduły peryferyjne mikrokontrolerów .....	31
2.4.1. Cyfrowe wejścia-wyjścia .....	32
2.4.2. Timery – liczniki .....	32
2.4.3. Timery stróżujące .....	33
2.4.4. Zegar czasu rzeczywistego .....	33
2.4.5. Interfejsy komunikacyjne .....	33
2.4.6. Bloki analogowe i analogowo-cyfrowe .....	34
2.4.7. Sterowniki bezpośredniego dostępu do pamięci – DMA .....	35
2.4.8. Bloki szyfrujące i generatory sygnatur .....	35
2.4.9. Generatory liczb losowych .....	36
2.4.10. Interfejsy diagnostyczne .....	36
2.5. Wyjątki w mikrokontrolerach .....	37
2.5.1. Przerwania .....	37
2.5.2. Pułapki .....	39

2.5.3. Błędy .....	39
2.6. Mikrokontrolery uniwersalne .....	39
2.6.1. Mikrokontrolery 8- i 16-bitowe .....	40
2.6.2. Mikrokontrolery 32-bitowe z rdzeniami ARM Cortex-M. ....	40
2.6.3. Inne mikrokontrolery 32-bitowe .....	41
2.7. Mikrokontrolery z blokami komunikacji radiowej .....	41
2.7.1. Architektury wielordzeniowe .....	42
2.7.2. Mikrokontrolery jednorodzeniowe .....	43
2.7.3. Mikrokontrolery wielordzeniowe .....	44
3. Interfejsy i protokoły połączeń przewodowych .....	49
3.1. Interfejsy międzyukładowe .....	49
3.1.1. Szeregowy interfejs asynchroniczny .....	50
3.1.2. Interfejs SPI .....	53
3.1.3. Interfejsy DSPI, QSPI i OSPI .....	55
3.1.4. Interfejs TWI/I2C .....	56
3.1.5. Interfejs 1-Wire .....	59
3.1.6. Specjalizowane interfejsy szeregowo .....	61
3.2. Interfejsy międzysystemowe .....	64
3.2.1. Interfejs TIA(RS)-485 .....	64
3.2.2. Protokół CAN .....	65
3.2.3. Interfejs USB .....	66
3.3. Protokoły transmisyjne .....	70
3.3.1. Protokół DMX512 .....	70
3.3.2. Protokół MODBUS RTU .....	71
3.4. Standard IEEE1451 – protokół uniwersalnych przetworników .....	72
3.4.1. Koncepcja protokołu IEEE 1451 .....	72
3.4.2. Rodzina standardów IEEE 1451 .....	73
3.4.3. Informacje w zbiorze TDES .....	74
3.4.4. Oprogramowanie inteligentnych przetworników .....	75
3.4.5. Implementacja modułu .....	77
4. Moduły komunikacji radiowej .....	81
4.1. Proste łącza radiowe .....	82
4.2. Proste moduły Bluetooth .....	84
4.3. Moduły BLE .....	86
4.4. Moduły WiFi .....	87
4.4.1. Moduły z układami ESP8266 .....	88
4.4.2. Moduły z układami ESP32 .....	89
4.5. Moduły LoRa / LoRaWAN .....	89
4.5.1. Charakterystyka warstwy fizycznej LoRa .....	90
4.5.2. Architektura LoRaWAN .....	90
4.6. Moduły LTE-M oraz NB-IoT .....	92
4.7. Moduły GSM/GPRS/LTE .....	92
4.8. Moduły lokalizacyjne GNSS (GPS) .....	93
4.9. Lokalizacja w pomieszczeniach .....	94
5. Urządzenia wejściowe i czujniki środowiskowe .....	97
5.1. Przyciski, klawiatury i czujniki stykowe .....	97
5.2. Pomiar napięcia i natężenia prądu .....	98
5.2.1. Przetworniki analogowo-cyfrowe mikrokontrolerów .....	100

5.2.2. Układy przetworników analogowo-cyfrowych.....	100
5.2.3. Wzmacniacze pomiarowe prądu .....	102
5.3. Czujniki temperatury .....	104
5.3.1. Scalone czujniki temperatury .....	105
5.3.2. Układy scalone interfejsów do zdalnego pomiaru temperatury ....	106
5.3.3. Bezkontaktowy pomiar temperatury.....	107
5.4. Czujniki światła .....	108
5.4.1. Czujniki światła otoczenia .....	109
5.4.2. Czujniki koloru .....	111
5.5. Mikroelektromechaniczne czujniki sił i odkształceń.....	113
5.5.1. Czujniki przyspieszenia i prędkości obrotowej .....	114
5.5.2. Magnetometry.....	114
5.5.3. Czujniki ciśnienia.....	115
5.5.4. Wielofunkcyjne czujniki MEMS .....	116
5.6. Czujniki wilgotności względnej .....	118
5.7. Wagi i czujniki naprężeń .....	119
5.8. Czujniki zbliżeniowe (obecności) .....	119
5.9. Czujniki odległości .....	120
5.9.1. Czujniki ultradźwiękowe.....	120
5.9.2. Czujniki optyczne.....	120
5.10. Czujniki gazów .....	121
5.11. Czujniki pyłów .....	123
6. Urządzenia wyjściowe i wykonawcze .....	125
6.1. Źródła światła LED .....	125
6.2. Wyświetlacze informacji.....	127
6.2.1. Wyświetlacze LED .....	127
6.2.2. Wyświetlacze graficzne LCD .....	129
6.2.3. Wyświetlacze graficzne OLED.....	129
6.2.4. Wyświetlacze typu „papier cyfrowy” .....	130
6.3. Przetworniki dźwięku .....	130
6.4. Przekazniki i klucze zasilania .....	131
6.5. Silniki i serwomechanizmy .....	133
6.5.1. Komutatorowe silniki prądu stałego .....	133
6.5.2. Bezkomutatorowe silniki prądu stałego .....	135
6.5.3. Silniki krokowe.....	136
6.5.4. Serwomechanizmy .....	137
7. Zasilanie urządzeń IoT .....	139
7.1. Sposoby zasilania urządzeń.....	139
7.1.1. Zasilanie zewnętrzne – sieciowe .....	139
7.1.2. Zasilanie bateryjne .....	139
7.1.3. Magazynowanie energii.....	140
7.1.4. Odnawialne źródła energii .....	140
7.1.5. Stabilizatory liniowe.....	141
7.1.6. Stabilizatory impulsowe .....	142
7.2. Oszczędzanie energii – zarządzanie poborem mocy .....	142
7.2.1. Dezaktywacja nieużywanych modułów.....	143
7.2.2. Energooszczędne tryby pracy układów – usypianie.....	143
7.2.3. Zasilanie mikrokontrolerów z blokami komunikacji radiowej.....	144

7.2.4. Dynamiczne monitorowanie zasilania w systemach internetu rzeczy ...	146
7.3. Pozyskiwanie energii z otoczenia .....	148
7.3.1. Pozyskiwanie energii słonecznej .....	148
7.3.2. Pozyskiwanie energii z fal radiowych .....	148
8. Oprogramowanie modułów i urządzeń .....	153
8.1. Systemy operacyjne .....	153
8.1.1. Architektura .....	160
8.1.2. Zarządzanie zadaniami .....	161
8.1.3. Zarządzanie pamięcią .....	164
8.1.4. Zarządzanie energią .....	166
8.1.5. System plików .....	167
8.1.6. Podsumowanie .....	167
8.2. Systemy programowania .....	168
8.2.1. Platformy rozwojowe IoT .....	169
8.2.2. Oprogramowanie i języki programowania .....	173
8.3. Oprogramowanie pośredniczące .....	175
9. Szybkie prototypowanie urządzeń internetu rzeczy .....	183
9.1. Użycie gotowego układu z mikrokontrolerem .....	185
9.1.1. Kryteria wyboru .....	185
9.1.2. Moduły uruchomieniowe z mikrokontrolerami .....	187
9.1.3. Moduły komunikacyjne ze złączem USB .....	189
9.1.4. Moduły czujnikowe .....	190
9.2. Użycie gotowego komputera jednopłytkowego .....	192
9.2.1. Komputer Raspberry PI .....	192
9.2.2. Komputer Intel Edison .....	195
9.3. Oprogramowanie wspomagające konfigurację – generatory aplikacji ...	198
9.3.1. Środowisko STM32CubeMX .....	198
9.3.2. Środowisko MPLAB X IDE .....	204
9.3.3. Środowisko programowe Code Composer Studio .....	208
9.3.4. Kreatory aplikacji IoT .....	213
9.3.5. Narzędzia do automatycznego projektowania płytek drukowanych ...	216
10. Podsumowanie .....	221
Literatura .....	223
Słownik pojęć i wykaz akronimów .....	239