

**Inżynieria systemów internetu rzeczy : sprzęt i oprogramowanie /
Wiktor Daszczuk, Krzysztof Gracki, Henryk A. Kowalski, Grzegorz Mazur,
Andrzej Skorupski, Zbigniew Szymański. – Wydanie I. – Warszawa, 2021**

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 jednordzeniowe	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