

Przedmowa	11
1. Wprowadzenie	17
Tworzenie systemów wbudowanych	18
Kompilatory i języki	18
Debugowanie	19
Ograniczenia zasobów	20
Zasady radzenia sobie z tymi problemami	22
Prototypy i płytki dla makerów	23
Dalsza lektura	24
2. Tworzenie architektury systemu	26
Pierwsze kroki	27
Tworzenie diagramów systemu	27
Diagram kontekstowy	28
Diagram blokowy	28
Organigram	31
Diagram warstwowy	33
Projektowanie pod kątem zmian	34
Enkapsulacja modułów	35
Delegowanie zadań	36
Interfejs sterownika: open, close, read, write, ioctl	36
Wzorzec adaptera	38
Tworzenie interfejsów	39
Przykład: interfejs rejestrowania zdarzeń	40
Zabawa w piaskownicy	46
Z powrotem do tablicy	50
Dalsza lektura	51

3. Praca ze sprzętem	53
Integracja sprzętu i oprogramowania	53
Idealny przepływ projektu	53
Projekt sprzętu	55
Uruchamianie płytki	56
Czytanie arkusza danych	57
Sekcje arkusza danych, których będziesz potrzebować, kiedy coś pójdzie nie tak	59
Sekcje arkusza danych przeznaczone dla twórców oprogramowania	61
Ewaluacja komponentów z użyciem arkusza danych	64
Twój procesor jest językiem	67
Czytanie schematu	69
Ćwiczenie z czytania schematów: Arduino!	72
Bezpieczeństwo płytki	75
Tworzenie własnego przybornika diagnostycznego	75
Multimetr cyfrowy	76
Oscyloskopy i analizatory stanów logicznych	77
Przygotowywanie oscyloskopu do pracy	78
Testowanie sprzętu (i oprogramowania)	80
Budowanie testów	81
Przykład testu pamięci flash	82
Polecenie i odpowiedź	85
Wzorzec polecenia	89
Obsługa błędów	90
Spójna metodyka	91
Przepływ sprawdzania błędów	92
Biblioteka do obsługi błędów	92
Diagnozowanie błędów związanych z zależnościami czasowymi	93
Dalsza lektura	94
4. Wejścia, wyjścia i timery	96
Obsługa rejestrów	96
Matematyka binarna i szesnastkowa	96
Operacje bitowe	98
Testowanie, ustawianie, zerowanie i przełączanie	99
Przełączanie wyjścia	100
Konfigurowanie pinu jako wyjścia	101
Włączanie diody LED	102
Miganie diodą LED	103
Rozwiązywanie problemów	104
Oddzielanie sprzętu od działań	105
Plik nagłówkowy specyficzny dla płytki	105
Kod obsługi wejścia-wyjścia	106

Pętla główna	107
Wzorzec fasady	108
Wejście w wejściu-wyjściu	108
Chwilowe naciśnięcie przycisku	111
Przerwanie przy naciśnięciu przycisku	112
Konfigurowanie przerwania	113
Eliminowanie drgań styków	113
Niepewność w czasie wykonania	116
Zwiększanie elastyczności kodu	116
Wstrzykiwanie zależności	116
Używanie timera	118
Elementy timera	118
Odrobina matematyki	121
Więcej matematyki: trudna częstotliwość docelowa	124
Długie oczekiwanie między tyknięciami timera	126
Używanie timera	126
Modulacja szerokości impulsów	126
Oddawanie gotowego produktu	128
Dalsza lektura	130
5. Przerwania	132
Kurczak naciska przycisk	132
Wystąpienie przerwania	134
Przerwania niemaskowalne	134
Priorytet przerw	134
Zagnieżdżone przerwanie	135
Zapisywanie kontekstu	137
Pobieranie ISR z tablicy wektorów	138
Inicjalizacja tablicy wektorów	138
Wyszukiwanie procedury ISR	139
Wywoływanie procedury ISR	141
Wiele źródeł jednego przerwania	143
Wyłączanie przerw	144
Sekcje krytyczne	144
Przywracanie kontekstu	145
Konfigurowanie przerw	145
Kiedy używać przerw, a kiedy nie	147
Jak unikać używania przerw	148
Odpytanie	148
Tyknięcie systemowe	148
Zdarzenia oparte na czasie	151
Malutka usługa harmonogramowania	151
Dalsza lektura	153

6. Zarządzanie przepływem aktywności	155
Harmonogramowanie i podstawy systemu operacyjnego	155
Zadania	155
Komunikacja między zadaniami	156
Unikanie wyścigów	157
Inwersja priorytetów	158
Maszyny stanów	159
Przykład maszyny stanów: kontroler sygnalizacji świetlnej	160
Maszyna stanów skupiona na stanach	160
Skupiona na stanach maszyna stanów z ukrytymi przejściami	161
Maszyna stanów skupiona na zdarzeniach	162
Wzorzec stanu	163
Maszyna stanów sterowana tabelą	164
Wybieranie implementacji maszyny stanów	166
Watchdog	167
Pętle główne	169
Odpytywanie i czekanie	169
Przerwanie timera	171
Przerwania robią wszystko	172
Przerwania powodują zdarzenia	173
Małutka usługa harmonogramowania	175
Obiekty aktywne	176
Dalsza lektura	178
 7. Komunikacja z urządzeniami peryferyjnymi	 182
Komunikacja szeregową	182
Szeregowe łącze TTL	184
Szeregowe łącze RS-232	185
SPI	187
I ² C i TWI	189
1-Wire	190
Łącze równoległe	191
Podwójna i poczwórna magistrala SPI	192
USB	192
Inne protokoły	193
Komunikacja w praktyce	195
Przykład użycia zewnętrznego przetwornika ADC: sygnalizacja gotowości danych w SPI	195
Używanie kolejki FIFO (jeśli jest dostępna)	196
Bezpośredni dostęp do pamięci (DMA)	198
Przykład użycia zewnętrznego przetwornika ADC: SPI i DMA	198
Bufory okrężne	201
Dalsza lektura	207

8. Budowanie systemu	209
Macierze klawiszy	209
Wyświetlacze segmentowe	211
Wyświetlacze pikselowe	212
Zasoby graficzne	213
Zmienne dane? Wzorce pyłku i fabryki	216
Zewnętrzna pamięć flash	217
Zasoby graficzne	218
Emulacja pamięci EEPROM i magazyny KV	220
Małe systemy plików	221
Przechowywanie danych	221
Sygnały analogowe	224
Czujniki cyfrowe	226
Obsługa danych	227
Zmienianie algorytmów: strategia	228
Etapy algorytmu: potoki i filtry	229
Obliczanie potrzeb: szybkości i przepustowości	232
Przepustowość danych	232
Przepustowość pamięci i buforowanie danych	233
Dalsza lektura	235
9. Wpadanie w kłopoty	238
Walka z optymalizacjami kompilatora	239
Niemożliwe usterki	241
Odtwarzanie usterek	241
Wyjaśnianie usterek	242
Wywołanie chaosu i twardych błędów	242
Dzielenie przez zero	243
Mówienie do rzeczy, których nie ma	244
Wykonywanie niezdefiniowanych instrukcji	245
Niepoprawny dostęp do pamięci (niewyrównany dostęp)	245
Zwracanie wskaźnika do pamięci na stosie	246
Przepełnienia stosu i przepełnienia buforów	247
Diagnozowanie twardych błędów	249
Rejestry procesora: co poszło nie tak?	249
Tworzenie zrzutu rdzenia	250
Używanie zrzutu rdzenia	253
Po prostu bardzo trudne usterki	254
Konsekwencje pomysłowości	255
Dalsza lektura	256

10. Budowanie urządzeń podłączonych do sieci	257
Zdalna łączność	257
Połączenie bezpośrednie: Ethernet i WiFi	258
Połączenie przez bramę	259
Połączenie przez sieć kratową	260
Niezawodna komunikacja	262
Wersja!	262
Sumy kontrolne, kody CRC, skróty	262
Szyfrowanie i uwierzytelnianie	263
Analiza ryzyka	262
Aktualizowanie kodu	265
Bezpieczeństwo aktualizacji oprogramowania	268
Wiele części kodu	270
Koło ratunkowe	271
Wdrażanie etapowe	272
Zarządzanie dużymi systemami	273
Produkcja	274
Dalsza lektura	275
 11. Więcej za mniej	 277
Za mało przestrzeni kodu	278
Czytanie pliku mapy (część 1.)	278
Proces eliminacji	281
Biblioteki	282
Funkcje kontra makra: które są mniejsze?	283
Stałe i łańcuchy	285
Za mało pamięci RAM	286
Usuń wywołania malloc	286
Czytanie pliku mapy (część 2.)	287
Rejestry i zmienne lokalne	288
Łańcuchy wywołań funkcji	291
Zalety i wady zmiennych globalnych: pamięć RAM kontra stos	292
Nakładająca się pamięć	292
Za mało szybkości	293
Profilowanie	294
Optymalizacja pod kątem cykli procesora	298
Podsumowanie	307
Dalsza lektura	308
 12. Matematyka	 311
Identyfikowanie szybkich i powolnych operacji	312
Obliczanie średniej	313
Inne średnie: średnia kumulacyjna i mediana	314

Użycie istniejącego algorytmu	317
Projektowanie i modyfikowanie algorytmów	319
Rozkład wielomianów na czynniki	320
Szereg Taylora	322
Dzielenie przez stałą	322
Skalowanie wejścia	323
Tabele wyszukiwania	324
Udawane liczby zmiennoprzecinkowe	331
Liczby wymierne	332
Precyzja	333
Dodawanie (i odejmowanie)	334
Mnożenie i dzielenie	335
Uczenie maszynowe	337
Poszukaj odpowiedzi!	338
Dalsza lektura	338
13. Ograniczanie zużycia energii	340
Pobór mocy	340
Pomiar poboru mocy	342
Projektowanie pod kątem niższego poboru mocy	344
Wyłączaj światło, kiedy wychodzisz z pokoju	346
Wyłącz urządzenia peryferyjne	346
Wyłącz nieużywane linie wejścia-wyjścia	346
Wyłącz podsystemy procesora	347
Zwolnij, aby oszczędzić energię	347
Usypianie procesora	349
Model przepływu kodu opartego na przerwaniach	350
Bliższe spojrzenie na pętlę główną	352
Watchdog procesora	353
Unikanie częstych pobudek	353
Połączone procesory	354
Dalsza lektura	354
14. Silniki i ruch	356
Powodowanie ruchu	356
Kodowanie pozycji	358
Sterowanie prostym silnikiem prądu stałego z użyciem PWM	359
Sterowanie silnikiem	361
Sterowanie PID	361
Profile ruchu	364
Dziesięć rzeczy, których nienawidzę w silnikach	366
Dalsza lektura	368