

Spis treści

Wstęp	11
Kody przykładów	12
Schematy	12
Wymagane części	12
Rozdział 1. Instalacja środowiska i potrzebnych narzędzi	15
Instalacja WinAVR	16
Instalacja AVR Studio	17
Systemy GNU/Linux	18
AVR Studio	19
Pierwsza aplikacja	21
Dodawanie plików do projektu	25
Programy narzędziowe	27
Linker	27
Program avr-size	31
Program avr-nm	32
Program avr-objcopy	33
Program make	36
Pliki wynikowe	43
Biblioteki	46
Projekt biblioteki	47
Tworzenie biblioteki	48
Dołączanie biblioteki do programu	49
Funkcje „przestarzałe”	50
Nadpisywanie funkcji bibliotecznych	50
Usuwanie niepotrzebnych funkcji i danych	51
Rozdział 2. Programowanie mikrokontrolera	53
Podłączenie — uwagi ogólne	53
Problemy	55
Programatory ISP	55
Budowa programatora	56
Programator USBASP	59
Kilka procesorów w jednym układzie	59
Programatory JTAG	60
Programator JTAGICE	61
Programator JTAGICE mkII	62

Kilka procesorów w jednym układzie	62
AVR Dragon	63
Programatory HW i równoległe	63
Tryb TPI	64
Programowanie procesora w AVR Studio	64
Programowanie przy pomocy narzędzi dostarczonych przez firmę Atmel	65
Program AVRDUDE	67
Program PonyProg	70
Fusebity i lockbity w AVR-libc	70
Lockbity	71
Fusebity	71
Sygnatura	74
Lockbity w AVR-libc	74
Fusebity w AVR-libc	75
Rozdział 3. Podstawy języka C na AVR	77
Arytmetyka	77
Proste typy danych	77
Arytmetyka stałopozycyjna	81
Arytmetyka zmiennopozycyjna	87
Operacje bitowe	95
Reprezentacja binarna liczb	95
Operacja iloczynu bitowego	96
Operacja sumy bitowej	97
Operacja sumy wyłączającej	98
Operacja negacji bitowej	99
Operacje przesunięć bitowych	100
Zasięg zmiennych	100
Zmienne globalne	101
Zmienne lokalne	102
Modyfikator const	103
Wskaźniki	104
Tablice	109
Funkcje	112
Przekazywanie parametrów przez wartość i referencję	114
Wywołanie funkcji	114
Rekurencyjne wywołania funkcji	115
Słowa kluczowe	116
Operatory	116
Instrukcje sterujące	120
Preprocesor	123
Dyrektywa #include	124
Dyrektywy kompilacji warunkowej	124
Dyrektywa #define	126
Pliki nagłówkowe i źródłowe	127
Definicja a deklaracja	128
Słowo kluczowe static	129
Słowo kluczowe extern	130
Dyrektywa inline	132
Modyfikator register	136
Rozdział 4. Sekcje programu	141
Sekcje danych	142
Sekcja .text	142
Sekcja .data	142

Sekcja .bss	143
Sekcja .eeprom	143
Sekcje zawierające kod programu	144
Podsekcje .init[0-9]	144
Podsekcje .fini[0-9]	145
Sekcje specjalne	146
Sekcje tworzone przez programistę	146
Umieszczanie sekcji pod wskazanym adresem	147
Rozdział 5. Kontrola rdzenia i zarządzanie poborem energii	149
Źródła sygnału RESET	149
Power-on Reset	150
Zewnętrzny sygnał RESET	151
Brown-out Detector	151
Układ Watchdog	152
Zarządzanie poborem energii	156
Usypianie procesora	157
Wyłączanie układu BOD	157
Wyłączanie podsystemów procesora	158
Preskaler zegara	159
Inne sposoby minimalizowania poboru energii	160
Rozdział 6. Dynamiczna alokacja pamięci	163
Alokacja pamięci w bibliotece AVR-libc	164
Funkcja malloc	166
Funkcja calloc	166
Funkcja realloc	166
Funkcja free	168
Wycieki pamięci i błędne użycie pamięci alokowanej dynamicznie	169
Jak działa alokator	171
Wykrywanie kolizji sterty i stosu	172
Metoda I — własne funkcje alokujące pamięć	173
Metoda II — sprawdzanie ilości dostępnej pamięci	173
Metoda III — marker	173
Metoda IV — wzór w pamięci	173
Metoda V — wykorzystanie interfejsu JTAG	176
Rozdział 7. Wbudowana pamięć EEPROM	177
Zapobieganie uszkodzeniu zawartości pamięci EEPROM	178
Kontrola odczytu i zapisu do pamięci EEPROM	179
Odczyt zawartości komórki pamięci	180
Zapis do komórki pamięci	180
Dostęp do EEPROM z poziomu AVR-libc	181
Deklaracje danych w pamięci EEPROM	182
Funkcje realizujące dostęp do pamięci EEPROM	183
Inne funkcje operujące na EEPROM	185
Techniki wear leveling	186
Rozdział 8. Dostęp do pamięci FLASH	189
Typy danych związane z pamięcią FLASH	190
Odczyt danych z pamięci FLASH	191
Dostęp do pamięci FLASH >64 kB	192

Rozdział 9. Interfejs XMEM	193
Wykorzystanie zewnętrznej pamięci SRAM w programie	197
Konfiguracja I — w pamięci zewnętrznej jest tylko sekcja specjalna	198
Konfiguracja II — wszystkie sekcje w pamięci zewnętrznej, stos w pamięci wewnętrznej	199
Konfiguracja III — w pamięci zewnętrznej umieszczona jest tylko sarta	201
Konfiguracja IV — w pamięci zewnętrznej sarta i segment zdefiniowany przez programistę	202
Konfiguracja V — w pamięci zewnętrznej znajduje się stos	208
Pamięć ROM jako pamięć zewnętrzna	208
Rozdział 10. Dostęp do 16-bitowych rejestrów IO	211
Dostęp do 16-bitowego rejestru ADC	211
Dostęp do 16-bitowych rejestrów timerów	213
Rozdział 11. Opóźnienia	217
Rozdział 12. Dostęp do portów IO procesora	221
Konfiguracja pinu IO	221
Manipulacje stanem pinów IO	225
Zmiana stanu portu na przeciwny	225
Ustawianie linii IO	226
Zerowanie linii IO	226
Makrodefinicja _BV()	227
Użycie pól bitowych	227
Synchronizator	228
Przykłady praktyczne	230
Sterowanie wyświetlaczem 7-segmentowym	230
Podłączenie przycisków	232
Enkoder obrotowy	237
Klawiatura matrycowa	242
Rozdział 13. Rejestry IO ogólnego przeznaczenia	245
Wykorzystanie innych rejestrów jako GPIOR	246
Rozdział 14. Przerwania	249
Obsługa przerw	251
sei()/cli()	254
Atrybut naked i obsługa przerw w assemblerze	254
Modyfikator volatile	257
Atomowość dostępu do danych	263
Funkcje reentrant	266
Przykłady praktyczne	268
Wyświetlanie multipleksowane	268
Wyświetlanie multipleksowane z regulacją jasności wyświetlacza	272
Obsługa przycisków	276
Obsługa enkodera	279
Klawiatura matrycowa	280
Rozdział 15. Przetwornik analogowo-cyfrowy	283
Wybór napięcia referencyjnego	284
Multiplekser	285
Przetwornik ADC	285
Tryb pojedynczej konwersji	286
Tryb ciągłej konwersji	287
Wejścia pojedyncze i różnicowe	287

Wynik	288
Wyzwalacze	288
Blokowanie wejść cyfrowych	289
Przerwania ADC	289
Precyzyjne pomiary przy pomocy ADC	290
Nadpróbkowanie	291
Uśrednianie	292
Decymacja i interpolacja	292
Przykłady	292
Termometr analogowy LM35	293
Klawisze	295
Rozdział 16. Komparator analogowy	301
Funkcje dodatkowe	302
Blokowanie pinów	302
Wyzwalanie zdarzeń timera	302
Wybór wejścia komparatora	302
Wyzwalanie przetwornika ADC	303
Rozdział 17. Timery	305
Sygnał taktujący	306
Wewnętrzny sygnał taktujący	306
Zewnętrzny sygnał taktujący	308
Licznik	308
Układ porównywania danych	309
Wpływ na piny IO	309
Moduł przechwytywania zdarzeń zewnętrznych	310
Eliminacja szumów	311
Komparator jako wyzwalacz zdarzenia ICP	311
Tryby pracy timera	312
Tryb prosty	312
Tryb CTC	315
Tryby PWM	316
Układ ochronny	321
Modulator sygnału wyjściowego	322
Miernik częstotliwości i wypełnienia	323
Realizacja RTC przy pomocy timera	326
Realizacja sprzętowa	327
Realizacja programowa	328
Rozdział 18. Obsługa wyświetlaczy LCD	331
Obsługa wyświetlaczy alfanumerycznych	332
Funkcje biblioteczne	337
Definiowanie własnych znaków	342
Przykład — menu	345
Obsługa wyświetlaczy graficznych	354
Rozdział 19. Interfejs USART	367
Interfejsy szeregowo	367
Interfejs USART	368
Interfejs USART mikrokontrolera AVR	371
Przykłady	375
Połączenie mikrokontroler – komputer PC	375
RS485	383

Rozdział 20. Interfejs SPI	391
Inicjalizacja interfejsu	394
Ustawienie pinów IO	395
Zegar taktujący	396
Procesor w trybie Master SPI	396
Procesor w trybie slave SPI	397
Przykłady	397
Połączenie AVR-AVR	397
Połączenie AVR – rejestr szeregowy	403
Interfejs USART w trybie SPI	408
Taktowanie magistrali SPI	409
Tryb pracy SPI	409
Format ramki danych	409
Konfiguracja interfejsu	410
Rozdział 21. Interfejs TWI	413
Tryb multimaster	416
Inicjalizacja interfejsu	417
Procesor w trybie I2C master	417
Bity START i STOP	417
Podstawowe funkcje do współpracy z I2C	418
Współpraca z zewnętrzną pamięcią EEPROM	422
Współpraca z zewnętrzną pamięcią FRAM	427
Umieszczanie zmiennych w zewnętrznej pamięci EEPROM	427
Współpraca z zegarem RTC	431
Obsługa ekspandera IO PCF8574	436
Procesor w trybie I2C slave	437
Przykład	440
Rozdział 22. Interfejs USI	447
4-bitowy licznik i zegar	447
Przerwania USI	448
Zmiana pozycji pinów	449
Wykorzystanie interfejsu USI w trybie SPI	449
Tryb SPI master	451
Tryb SPI slave	452
Rozdział 23. Interfejs USB	453
Zasilanie	454
Sygnały danych	455
VID i PID	456
Interfejs USB realizowany przy pomocy konwertera	458
Interfejs USB realizowany programowo	459
Połączenie elektryczne	460
Dostęp na PC	460
Programowy interfejs USB na AVR	461
Sprzętowy interfejs USB	464
Rozdział 24. Interfejs 1-wire	465
Realizacja master 1-wire na AVR	469
Realizacja master 1-wire przy pomocy pinów IO	469
Realizacja master 1-wire przy pomocy interfejsu USART	472
Wysokopoziomowe funkcje obsługi 1-wire	477
Termometr cyfrowy DS1820	480

Rozdział 25. Bootloader	483
Pamięć NRWW i RWW	483
Bity konfiguracyjne bootloadera	485
Konfiguracja lockbitów z poziomu aplikacji	486
Programowanie pamięci FLASH	487
Wykorzystanie przerwań w kodzie bootloadera	489
Usuwanie tablicy wektorów przerwań	490
Skrócenie tablicy wektorów przerwań	491
Start bootloadera	496
Wykorzystanie dodatkowego przycisku/zworki	496
Wykorzystanie markerów w pamięci EEPROM	497
Oczekiwanie na specjalny znak w wybranym kanale komunikacji	498
Start aplikacji	499
Współdzielenie kodu aplikacji i bootloadera	499
Wywoływanie funkcji bootloadera w procesorach ATmega256x	501
Wywoływanie funkcji obsługi przerwań zawartych w kodzie bootloadera	505
Współdzielenie zmiennych pomiędzy aplikacją a bootloaderem	505
Mikrokontrolery AVR z wbudowanym bootloaderem	507
Rozdział 26. Kontrola integralności programu	509
Suma kontrolna	509
CRC	511
Automatyczne generowanie CRC	514
Rozdział 27. Bezpieczeństwo kodu	517
Metody łamania zabezpieczeń	517
Bezpieczne uaktualnianie aplikacji	518
Nota AVR231 — AES Bootloader	519
Ustawienie bitów konfiguracyjnych	524
Przygotowanie aplikacji	526
Wczytywanie uaktualnienia	527
Rozdział 28. Łączenie kodu w C i asemblerze	529
Słowo kluczowe asm	530
Typy operandów	531
Dostęp do portów IO	533
Dostęp do danych wielobajtowych	533
Dostęp do wskaźników	534
Lista modyfikowanych rejestrów	535
Wielokrotne użycie wstawki asemblerowej	535
Pliki .S	536
Wykorzystanie rejestrów w asemblerze	537
Przykłady	541
Rozdział 29. Optymalizacja i debugowanie programu	543
Optymalizacja programu	543
Opcje kompilatora związane z optymalizacją	545
Atrybuty optymalizacji	548
Debugowanie programu	551
Rozpoczęcie sesji debugera	553
Zaawansowane sterowanie przebiegiem wykonywanej aplikacji	556
Skorowidz	559