

**Mikrokontrolery**  
**STM32**  
**i Ethernet**

*w przykładach*

---

**Marcin Peczarski**

Książka jest przewodnikiem-poradnikiem poświęconym praktycznym aspektom implementowania protokołów sieciowych na mikrokontrolery STM32 z rodziny *Connectivity Line*. Autor przedstawia także przykładowe aplikacje tworzone na bazie dostępnego bezpłatnie protokołu sieciowego TCP/IP o nazwie lwIP (*light-weight Internet Protocol*).

Przykłady przedstawione w książce napisano w języku C (ARM-GCC) w taki sposób, aby mogły być łatwo przeniesione na inne typy mikrokontrolerów, co zwiększa uniwersalność prezentowanych treści.

Książka jest przeznaczona dla osób, które mają doświadczenie w programowaniu mikrokontrolerów języku C oraz elementarną wiedzę na temat podzespołów elektronicznych: elektroników-konstruktorów, informatyków, studentów kierunków technicznych, a także uczniów i hobbystów aktywnie uprawiających elektronikę lub informatykę. Nie jest konieczne posiadanie wiedzy na temat sieci komputerowych lub protokołów sieciowych – wszystkie niezbędne zagadnienia autor wyjaśnia w książce od podstaw.

Sekretarz redakcji: *mgr Katarzyna Kempista*

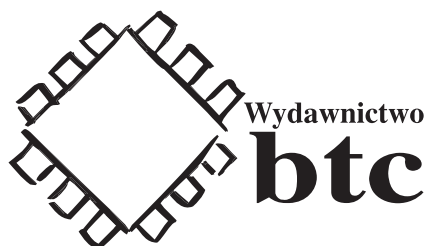
Redaktor merytoryczny: *mgr inż. Mariola Mańkowska*

Redaktor techniczny: *mgr Delfina Korabiewska*

ISBN 978-83-60233-68-9

© Copyright by Wydawnictwo BTC

Legionowo 2011



Wydawnictwo BTC  
ul. Lwowska 5  
05-120 Legionowo  
fax: (22) 767-36-33  
<http://www.btc.pl>  
e-mail: [redakcja@btc.pl](mailto:redakcja@btc.pl)

Wydanie I

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawnictwo BTC dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawnictwo BTC nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Druk i oprawa: Drukarnia Narodowa S.A.

---

<b>Przedmowa</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Podstawy</b> .....	<b>11</b>
1.1. Mikrokontroler STM32F107 .....	12
1.2. Struktura przykładów .....	13
1.3. Przykład 1a – miganie diodami świecącymi .....	15
1.3.1. Plik <i>ex_led.c</i> .....	16
1.3.2. Pliki <i>util_delay.h</i> i <i>util_delay.c</i> .....	17
1.3.3. Pliki <i>board_led.h</i> i <i>board_led.c</i> .....	17
1.3.4. Pliki <i>stm32f10x_gpio.h</i> i <i>stm32f10x_rcc.h</i> .....	18
1.3.5. Pliki <i>stm32f10x.h</i> , <i>system_stm32f10x.h</i> i <i>core_cm3.h</i> .....	19
1.3.6. Plik <i>libstm32f10x.a</i> .....	19
1.3.7. Plik <i>stm32f10_conf.h</i> .....	20
1.3.8. Pliki <i>board_def.h</i> i <i>board_defs.h</i> .....	21
1.3.9. Plik <i>stdint.h</i> .....	22
1.3.10. Plik <i>startup_stm32_cld.c</i> .....	22
1.4. Kompilowanie przykładów .....	23
1.5. Wejścia i wyjścia binarne .....	26
1.6. Wyświetlacz ciekłokrystaliczny .....	30
1.7. Przykład 1b – test wyświetlacza ciekłokrystalicznego .....	33
1.7.1. Pliki <i>board_lcd.h</i> i <i>board_lcd_ks0108.c</i> .....	34
1.7.2. Pliki <i>font5x8.h</i> i <i>font5x8.c</i> .....	37
1.7.3. Pliki <i>util_lcd.h</i> i <i>util_lcd.c</i> .....	37
1.7.4. Plik <i>ex_lcd.c</i> .....	38
1.8. Organizacja pamięci programu .....	38
1.8.1. Sekcje .....	38
1.8.2. Procedura startowa .....	42
1.8.3. Skrypt konsolidatora .....	45
1.9. Styl pisania i komentowania tekstu źródłowego .....	49
<b>2. Intersieci</b> .....	<b>51</b>
2.1. Model warstwowy .....	52
2.2. Ethernet .....	54
2.3. IP – protokół intersieci .....	60
2.4. ARP – tłumaczenie adresów sieciowych na adresy sprzętowe .....	66
2.5. Sieć testowa .....	67
2.6. Przykład 2 – monitor sieci .....	69
2.6.1. Pliki <i>board_init.h</i> i <i>board_init.c</i> .....	70
2.6.2. Pliki <i>util_led.h</i> i <i>util_led.c</i> .....	79
2.6.3. Plik <i>ex_eth.c</i> .....	80

<b>3. Stos TCP/IP</b> .....	<b>83</b>
3.1. Przegląd implementacji .....	84
3.2. Biblioteka lwIP .....	86
3.2.1. Dopasowanie do architektury mikrokontrolera – plik <i>cortex-m3.h</i> .....	86
3.2.2. Parametry konfiguracyjne – plik <i>lwipopts.h</i> .....	93
3.2.3. Kompilowanie – plik <i>liblwip4.a</i> .....	100
3.2.4. Kody błędów .....	101
3.2.5. Struktura <b>pbuf</b> .....	101
3.2.6. Struktura <b>netif</b> .....	104
3.3. DMA .....	106
3.4. Przykład 3a – pierwsza wersja sterownika Ethernetu .....	109
3.4.1. Pliki <i>util_time.h</i> i <i>util_time.c</i> .....	109
3.4.2. Pliki <i>util_eth.h</i> i <i>util_eth.c</i> – inicjowanie interfejsu sieciowego.....	112
3.4.3. Plik <i>util_eth.c</i> – wysyłanie ramek ethernetowych.....	117
3.4.4. Plik <i>util_eth.c</i> – odbieranie ramek ethernetowych.....	118
3.4.5. Pliki <i>util_lwip.h</i> i <i>util_lwip.c</i> – inicjowanie interfejsu sieciowego.....	120
3.4.6. Pliki <i>util_lwip.h</i> i <i>util_lwip.c</i> – budziki .....	122
3.4.7. Pliki <i>board_conf.h</i> i <i>board_conf.c</i> .....	124
3.4.8. Pliki <i>util_lcd_ex.h</i> i <i>util_lcd_ex.c</i> .....	125
3.4.9. Plik <i>ex_ip.c</i> .....	125
3.5. Przykład 3b – sterownik Ethernetu bez kopiowania.....	127
3.5.1. Plik <i>util_eth_nc.c</i> – inicjowanie interfejsu sieciowego.....	127
3.5.2. Plik <i>util_eth_nc.c</i> – wysyłanie ramek ethernetowych .....	130
3.5.3. Plik <i>util_eth_nc.c</i> – odbieranie ramek ethernetowych .....	130
3.6. Przykład 3c – eksperymentalny sterownik Ethernetu bez kopiowania.....	132
3.6.1. Plik <i>util_eth_zc.c</i> – inicjowanie interfejsu sieciowego .....	133
3.6.2. Plik <i>util_eth_zc.c</i> – wysyłanie ramek ethernetowych.....	134
3.7. Testy sterowników .....	136
3.8. ICMP – komunikaty kontrolne i komunikaty o błędach .....	137
3.8.1. Sprawdzanie osiągalności odbiorcy .....	138
3.8.2. Powiadamianie o nieosiągalności odbiorcy .....	139
3.8.3. Kontrola przepływu .....	139
3.8.4. Przekroczenie czasu .....	140
3.8.5. Problem z parametrem.....	140
3.9. DHCP – konfigurowanie ustawień sieciowych węzła .....	141
<b>4. Programowanie w modelu klient-serwer</b> .....	<b>143</b>
4.1. Numer portu .....	145
4.2. TCP.....	146
4.2.1. Podstawowe własności.....	146
4.2.2. Nagłówek .....	147

---

4.2.3.	Otwieranie połączenia .....	149
4.2.4.	Przesyłanie danych.....	152
4.2.5.	Zamykanie połączenia .....	153
4.2.6.	Funkcje biblioteczne .....	154
4.2.7.	Funkcje zwrotne .....	160
4.3.	UDP.....	162
4.3.1.	Podstawowe własności.....	162
4.3.2.	Nagłówek.....	162
4.3.3.	Inicjowanie klienta i serwera .....	163
4.3.4.	Przesyłanie danych.....	163
4.3.5.	Funkcje biblioteczne .....	164
4.3.6.	Funkcja zwrotna .....	166
4.4.	Uwagi końcowe .....	166
<b>5.</b>	<b>Serwer TCP.....</b>	<b>169</b>
5.1.	Protokół warstwy aplikacji.....	170
5.1.1.	Projekt protokołu .....	170
5.1.2.	Projekt implementacji protokołu .....	172
5.2.	Przykład 5a – pierwsza wersja serwera TCP.....	178
5.2.1.	Pliki <i>tcp_server.h</i> i <i>tcp_server.c</i> .....	178
5.2.2.	Plik <i>ex_tcpd.c</i> .....	185
5.2.3.	Testowanie przykładu .....	186
5.3.	Przykład 5b – serwer TCP z nadzorcą .....	188
5.3.1.	Pliki <i>util_wdg.h</i> i <i>util_wdg.c</i> .....	189
5.3.2.	Plik <i>ex_tcpd_wdg.c</i> .....	190
5.3.3.	Testowanie przykładu .....	191
<b>6.</b>	<b>Klient TCP.....</b>	<b>193</b>
6.1.	Projekt protokołu.....	194
6.2.	Przykład 6a – pierwsza wersja klienta TCP.....	197
6.2.1.	Tryby o obniżonym poborze mocy .....	198
6.2.2.	Pliki <i>util_rtc.h</i> i <i>util_rtc.c</i> .....	198
6.2.3.	Pliki <i>tcp_client.h</i> i <i>tcp_client.c</i> .....	202
6.2.4.	Plik <i>util_error.h</i> .....	210
6.2.5.	Plik <i>ex_tcp_client.c</i> .....	211
6.2.6.	Testowanie przykładu .....	212
6.3.	Przykład 6b – klient TCP z obsługą rejestrów zapasowych .....	214
6.3.1.	Pliki <i>util_bkp.h</i> i <i>util_bkp.c</i> .....	214
6.3.2.	Plik <i>tcp_client_bkp.c</i> .....	216
6.3.3.	Plik <i>ex_tcp_clnt_bkp.c</i> .....	217
6.3.4.	Testowanie przykładu .....	217

<b>7. Serwer UDP</b> .....	<b>219</b>
7.1. Projekt protokołu.....	220
7.2. Przykład 7 – prosty serwer UDP.....	221
7.2.1. Pliki <i>udp_server.h</i> i <i>udp_server.c</i> .....	221
7.2.2. Plik <i>ex_udp.c</i> .....	224
7.2.3. Testowanie przykładu .....	225
<b>8. Klient UDP</b> .....	<b>227</b>
8.1. DNS.....	228
8.2. SNMP .....	229
8.3. Przykład 8 – automatyczna synchronizacja zegara czasu rzeczywistego.....	232
8.3.1. Pliki <i>sntp_client.h</i> i <i>sntp_client.c</i> .....	232
8.3.2. Plik <i>ex_sntp.c</i> .....	238
8.3.3. Testowanie przykładu .....	240
8.3.4. Uwagi końcowe .....	241
<b>9. Rozgłaszanie UDP</b> .....	<b>243</b>
9.1. Przykład 9a – rozgłaszanie datagramów UDP .....	244
9.1.1. Plik <i>ex_send_bcast.c</i> .....	244
9.1.2. Testowanie przykładu .....	247
9.2. Przykład 9b – odbieranie datagramów UDP .....	247
9.2.1. Plik <i>ex_recv_bcast.c</i> .....	248
9.2.2. Testowanie przykładu .....	249
<b>10. Serwis WWW</b> .....	<b>251</b>
10.1. Komunikacja między klientem a serwerem WWW.....	252
10.1.1. URI.....	252
10.1.2. HTTP .....	253
10.1.3. HTML.....	256
10.2. Przykład 10 – prosty serwis WWW.....	259
10.2.1. Pliki <i>http_parser.h</i> i <i>http_parser.c</i> .....	259
10.2.2. Pliki <i>http_server.h</i> , <i>http.h</i> i <i>http_application.h</i> .....	265
10.2.3. Plik <i>http_server.c</i> – obsługa HTTP .....	266
10.2.4. Plik <i>http_server.c</i> – obsługa połączenia TCP.....	271
10.2.5. Plik <i>http_application.c</i> .....	273
10.2.6. Plik <i>stm32_logo.h</i> .....	277
10.2.7. Plik <i>ex_http.c</i> .....	278
10.2.8. Testowanie przykładu .....	278
<b>Dodatek. Narzędzia GNU</b> .....	<b>281</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>286</b>