

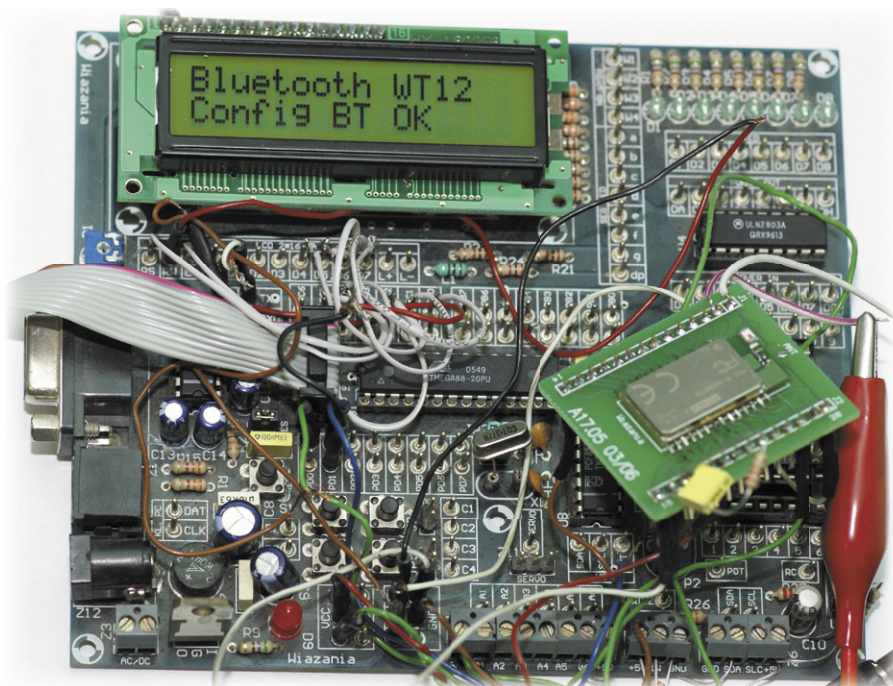
# Moduł Bluetooth WT12 w praktyce, część 1

W ostatnich latach dał się zauważyć szybki rozwój różnych systemów do bezprzewodowego przesyłania danych na odległość od kilku metrów do kilkudziesięciu kilometrów. Prym wiodą standardy WiFi oraz Bluetooth, w który wyposażony jest prawie każdy telefon komórkowy. Dzięki łatwodostępnym modułom, bez większych problemów można stosować we własnych aplikacjach interfejs Bluetooth, umożliwiający bezprzewodowe przesyłanie danych na odległość do kilkudziesięciu metrów.

W sprzedaży znajdują się gotowe moduły Bluetooth, które są łatwe do wykorzystania dzięki wbudowanemu już w nich oprogramowaniu. Tego typu moduły są wyposażone w popularne interfejsy (UART, USB), za pomocą których można się komunikować z komputerem czy mikrokontrolerem. W artykule przedstawiono praktyczne informacje wraz z przykładem (za miesiąc) wykorzystania w systemie mikroprocesorowym modułu Bluetooth firmy Bluegiga. Za pomocą tego typu modułów rozbudowanych o mikrokontroler sterujący, można bez większych problemów zbierać dane z odległych czujników, które mogą monitorować różne parametry pracy maszyn wykorzystując do tego celu bezprzewodowe łącze RS232. Przy zastosowaniu modułów BT (Bluetooth) należy jedynie ustawić połączenie i przesyłać dane, nie martwiąc się o korekcję przesyłanych informacji, bo zajmuje się tym układ sterujący modułem BT.

#### Przykład za miesiąc

Za miesiąc przedstawimy opis bezprzewodowego wyświetlacza LCD, do którego dane będą wysyłane za pomocą komputerowego terminala i dołączonego do komputera modułu USB Bluetooth.



W ramach przykładu zostanie przedstawiony przykład bezprzewodowego wyświetlacza LCD, do którego dane będą wysyłane przy pomocy komputerowego terminala i dołączonego do komputera modułu USB Bluetooth.

Testowany przez nas moduł (fot. 1) pracuje w standardzie Bluetooth 2.0, w którym możliwy jest transfer danych z prędkością 2...3 Mb/s. W modułach tych zintegrowano pełny stos Bluetooth o nazwie IWrap, dzięki któremu można się w prosty sposób komunikować za pomocą kilkunastu komend. W przypadku niektórych innych modułów Bluetooth komunikacja (za pomocą komend HCI) może być bardziej skomplikowana i wymagać zapoznania się z dokumentacją standardu Bluetooth.



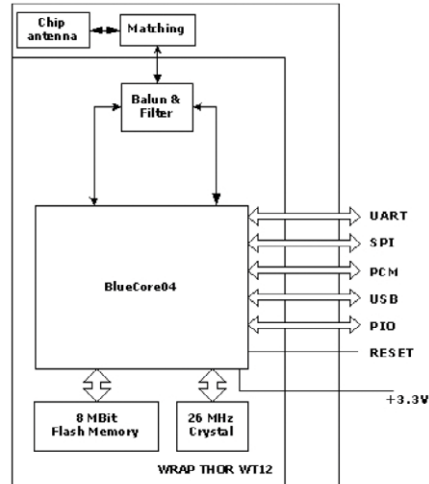
Fot. 1.



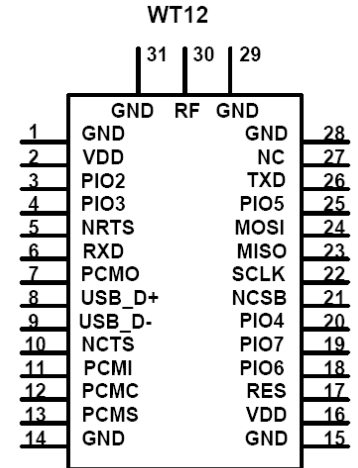
Moduł WT12 może służyć zarówno do przesyłania natywnych danych aplikacji użytkownika (transfer oparty o protokół RFCOMM), jak również transmisji sygnałów audio (posiada interfejs PCM oraz obsługuje SCO). Zaimplementowana obsługa protokołu *Serial Port Profile* (SPP, a w nim ETSI, TS 101 369 – GSM 07.10 *Modem Status Command*) pozwala w łatwy sposób można zastąpić przewodowe łącze RS232 połączeniem bezprzewodowym, łącznie ze wszystkimi liniami modemowymi, które można spotkać w złączu DB-9. Istotną cechą stosu IWrap jest udostępnienie użytkownikowi kontroli nad usługami SDP (*Service Discovery Protocol*). Pozwala to na definiowanie własnych profili Bluetooth opartych o RFCOMM w warstwie aplikacji. Moduł, oprócz profilu SPP czy GAP (*General Access Profile*), niezbędnego do rozpoznawania modułu przez inne urządzenia Bluetooth oraz ich parowania), obsługuje:

**Tab. 1. Podstawowe parametry modułu WT12**

- napięcie zasilania +3,3 V,
- zgodny z Bluetooth 2.0+EDR,
- częstotliwość pracy 2,4 GHz,
- szybkość transmisji 2...3 Mb/s,
- interfejsy UART, USB 1.1/2.0, interfejs audio PCM,
- 6 uniwersalnych linii I/O,
- moc nadajnika +4 dBm,
- wbudowana antena,
- klasa 2, zasięg do 30 metrów w otwartej przestrzeni,
- temperatura pracy: -40...+85°C,
- wymiary 26 mm x 14 mm x 2,3 mm,
- możliwość wymiany oprogramowania modułu,
- prosta obsługa za pomocą znaków ASCII, dzięki zaimplementowanemu stosowi IWrap,
- niski pobór prądu.



Rys. 2.



Rys. 3.

- serwer OPP (*Object Push Profile*), pozwalający na odbiór plików (uproszczony FTP) czy wizytówek (vCard),
- DUN (*Dial-Up Networking*), pozwalający tworzyć zdalne modemy zgodne z ETSI 07.07 (komendy AT) oraz PPP,
- HFP (*Hands-Free Profile*) oraz HFP-AG (*Hands-Free Audio-Gate-*

way), pozwalające uczynić z pomocą modułu słuchawkę Bluetooth czy zestaw głośnomówiący.

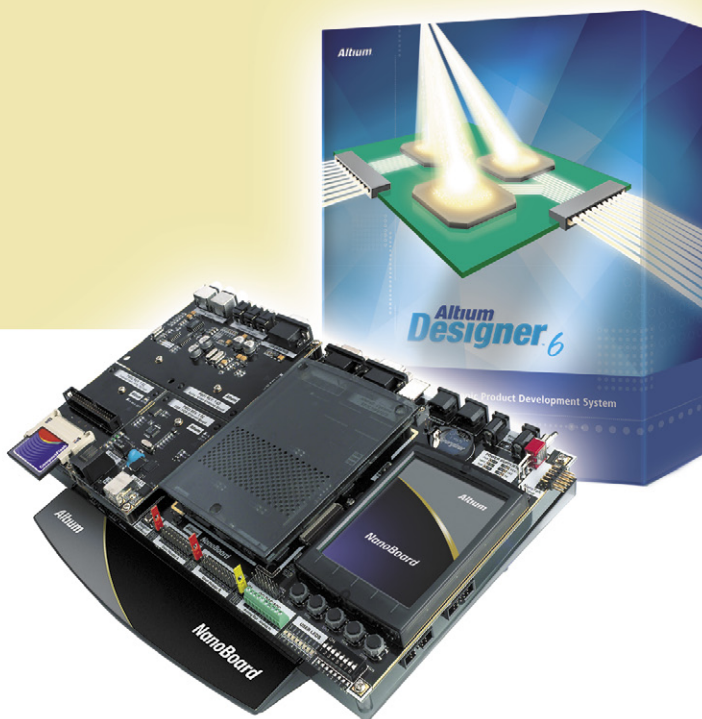
Dostępna mnogość ustawień modułu szybko okazuje się niezwykle przydatna, jak np. możliwość zdefiniowania klasy (*Class of Device*) własnego urządzenia.

Moduły WT12 umożliwiają obsługę kilku połączeń jednocześnie

metodą przełączania strumienia danych lub dzięki zaimplementowanemu mechanizmowi multipleksowania strumieni (MUX). Rozbudowane mechanizmy oszczędzania przez moduł energii pozwalają na stosowanie go w urządzeniach zasilanych akumulatorami czy bateriami. Oprogramowanie modułu może być aktualizowane za pomocą interfejsu SPI lub UART. Mo-

R E K L A M A M A

# Altium Designer 6



## Rozwiązanie na dzisiaj i na przyszłość

- projektowanie PCB, FPGA i systemów mikroprocesorowych w jednej aplikacji
- doskonała integracja platformy sprzętowej i programowej podnosi efektywność projektowania
- nowoczesny, kompleksowy system zbudowany na bazie programu Protel

Tab. 2. Opis wyprowadzeń modułu BT WT12

PIN	Symbol	Opis
1, 14, 15, 28, 29, 31	GND	Masa
2, 16	VDD	Zasilanie +3,3V
3	PIO2	Programowana linia I/O
4	PIO3	Programowana linia I/O
5	NRTS	Linia NRTS interfejsu UART
6	RXD	Linia RXD interfejsu UART
7	PCMO	Linia wyjściowa interfejsu PCM
8	USB_D+	Linia D+ interfejsu USB
9	USB_D-	Linia D- interfejsu USB
10	NCTS	Linia NCTS interfejsu UART
11	PCMI	Linia wejściowa interfejsu PCM
12	PCMC	Linia zegarowa interfejsu PCM
13	PCMS	Linia synchronizacji interfejsu PCM
17	RES	Linia zerowania
18	PIO6	Programowana linia I/O
19	PIO7	Programowana linia I/O
20	PIO4	Programowana linia I/O
21	NCSB	Linia aktywująca interfejs SPI
22	SCLK	Linia zegarowa interfejsu SPI
23	MISO	Linia wyjściowa interfejsu SPI
24	MOSI	Linia wejściowa interfejsu SPI
25	PIO5	Programowana linia I/O
26	TXD	Linia TXD interfejsu UART
27	NC	Linia niewykorzystana
30	RF	Linia przeznaczona do podłączenia zewnętrznej anteny

duły wyposażono w interfejsy UART, USB, SPI, PCM. Dostępnych jest także 6 dodatkowych linii I/O, których stany mogą być transmitowane drogą radiową. W artykule nie będą przedstawione szczegółowe informacje o standardzie Bluetooth, który można znaleźć w dokumentacji tego standardu, zostaną przedstawione informacje o praktycznym wykorzystaniu standardu Bluetooth we własnych aplikacjach z wykorzystaniem modułu WT12.

### Budowa modułu WT12

Na rys. 2 pokazano schemat blokowy modułu WT12. Chip Bluecore04 integruje stos BT z układem nadawczo-odbiorczym. Układ ten umożliwi transmisję danych z szybkością do 3 Mb/s, posiada 48 kB pamięci RAM i jest taktowany z częstotliwością 26 MHz. Pamięć Flash modułu o pojemności 8 Mb jest wykorzystywana do przechowywania stosu protokołu Bluetooth. Pozostałe bloki modułu są związane z jego częścią radiową.

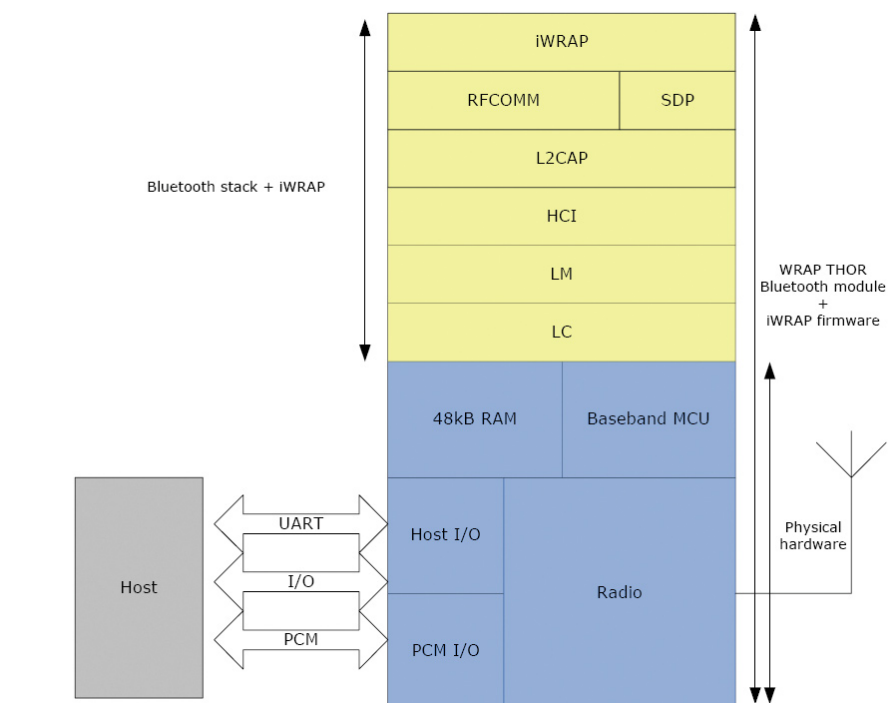
Jak wspomniano moduł WT12 posiada kilka interfejsów komunikacyjnych, których wykorzystanie będzie zależne od aplikacji, w jakiej będzie on pracował. W większości przypadków przy współpracy z mikrokontrolerami, będzie wykorzystywany interfejs UART (RS232). W przypadku gdy

moduł będzie przysyłał sygnały audio, będzie wykorzystywany interfejs PCM z dołączonym do niego kodekiem. Moduł posiada 6 cyfrowych programowanych linii I/O, których stan można zmieniać z wykorzystaniem komend protokołu IWRAP. Linie te można wykorzystać np. do sygnalizacji stanu

modułu WT12 (sygnalizacja połączenia, błędu itp.).

Na rys. 3 pokazano rozkład wyprowadzeń modułu WT12, natomiast w tab. 2 przedstawiono opis ich przeznaczenia. Do linii RF można dołączyć zewnętrzną antenę zwiększając tym samym zasięg komunikacji, ale tylko wtedy gdyby w module WT12 nie była montowana antena. Interfejs UART składa się z czterech sygnałów TXD, RDX, NCTS i NRTS. Sygnały NCTS i NRTS służą do sprzętowej kontroli przepływu danych. W przypadku komunikacji bez kontroli przepływu danych, linię NCTS dołączyć do masy, zaś linię NRTS pozostawić niepołączoną. Można również przy komunikacji z brakiem kontroli przepływu danych, linię NCTS i NRTS połączyć ze sobą. Dodatkowe linie DTR, DSR, DCD interfejsu UART mogą być implementowane z wykorzystaniem uniwersalnych linii I/O (PIO). Interfejs USB pracuje w trybie *Full Speed*, czyli z prędkością do 12 Mb/s. Interfejs SPI wykorzystuje sygnały MOSI, MISO, NCSB, CLK i może służyć do programowania pamięci Flash modułu. Interfejs PCM służący do przesyłania danych audio (bez większych problemów moduł może pracować jako bezprzewodowa słuchawka) umożliwi współpracę z kodekami 13 lub 16-bitowymi, 8-bitowymi  $\mu$ -law lub A-law.

Duża liczba dostępnych interfejsów sprawia, że moduł WT12 jest



Rys. 4.

bardzo uniwersalny i będzie pasował do większości projektowanych aplikacji. W dalszej części artykułu do komunikacji modułu z mikrokontrolerem wykorzystano tylko interfejs UART.

### Komunikacja z modułem WT12

Komunikacja z modułem WT12 jest bardzo prosta dzięki zaimplementowanemu oprogramowaniu IWrap. Na rys. 4 pokazano stos IWrap, który został osadzony z stosem Bluetooth, dzięki czemu do pracy moduły nie jest niezbędny dodatkowy mikrokontroler. Do prostej komunikacji z modułem wykorzystywany jest interfejs UART sterowany znakami ASCII.

Dokumentacja protokołu IWrap zajmuje ponad 100 stron, dlatego też zostaną opisane najważniejsze elementy tego protokołu wraz z najważniejszymi komendami, które będą wystarczające do wykorzystania Bluetooth we własnych aplikacjach. Do komunikacji z modułem WT12 wystarczy terminal komputerowy. Domyślnie IWrap używa następujących ustawień interfejsu UART: prędkość 115200 b/s, 8-bitów danych, 1-bit stopu, brak bitu parzystości, włączone sprzętowe sterowanie strumieniem danych. Moduł WT12 może pracować w dwóch głównych trybach: przesyłania danych (*Data Mode*) oraz w trybie komend (*Command Mode*). Tryb komend jest domyślnym trybem, gdy z modułem nie są ustanowione żadne połączenia. W przypadku gdy są ustanowione połączenia, domyślnym trybem będzie tryb przesyłania danych. W trybie przesyłania danych dane są przesyłane w obie strony w sposób przezroczysty do innego urządzenia (np. innego interfejsu UART). Między trybem danych a komend można się przełączać w dowolnym momencie. Do trybu danych nie można się przełączyć tylko gdy nie ma żadnych aktywnych połączeń. Przełączanie pomiędzy trybem danych a komend odbywa się za pomocą specjalnej sekwencji znaków wysyłanych w określonym czasie:

```
<opóźnienie co najmniej
1 sekundy><esc><esc><esc><
opóźnienie co najmniej 1
sekundy>
```

Znak *esc* (*escape*) może być zastąpiony dowolnym innym znakiem. Do zmiany trybu pracy modułu można również wykorzystać zewnętrzny sygnał DTR. W protokole

Tab. 3. Komendy stosu IWrap

Komendy	Opis
BER	Komenda zwraca ilość błędów połączenia podanego jej parametr
CALL	Komenda używana do inicjacji połączenia z urządzeniami Bluetooth
CLOSE	Komenda służy do zamknięcia poprzednio otworzonego połączenia
HELP	Komenda pomocy zwracająca dostępne w stosie IWrap komendy
INFO	Komenda wyświetla informacje o stosie IWrap
INQUIRY	Komenda służy do wyszukiwania innych urządzeń Bluetooth
IC	Komenda służąca do zatrzymania zapytania wywołanego komendą INQUIRY
LIST	Komenda pokazuje informację o istniejących połączeniach
NAME	Komenda służąca do odczytu nazwy urządzenia Bluetooth
RSSI	Komenda zwraca poziom sygnału radiowego
RESET	Komenda zeruje moduł Bluetooth
SCO	Komenda umożliwiająca połączenie z urządzeniami audio
SDP	Komenda wykorzystywana do odczytu usług innych urządzeń Bluetooth
SELECT	Komenda umożliwia przełączenie modułu w tryb danych
SET	Komenda będąca zbiorem kilkunastu rozkazów umożliwiających konfigurację wielu parametrów stosie IWrap.
SLEEP	Komenda umożliwiająca wprowadzenie modułu WT12 w tryb uśpienia
TESTMODE	Komenda ta uruchamia moduł WT12 w tryb testu
TXPOWER	Komenda używana do kontroli zasilania układu transmitującego dane (TX) aktywnego połączenia
BOOT	Komenda umożliwiająca zmianę parametrów modułu WT12
TEST	Komenda związana z testowaniem układu radiowego modułu WT12
PING	Komenda wysyła pakiet testowych danych do innego urządzenia Bluetooth
ECHO	Komenda ta wysyła szczególnie zbiór znaków do urządzenia Bluetooth z którym jest aktywne połączenie

IWrap istnieje W stosie IWrap przewidziano również specjalny tryb nazwany *Multiplexing Mode*. W tym trybie jest możliwość niemal równoległej wymiany danych z innymi połączonymi urządzeniami Bluetooth, bez konieczności cyklicznego przełączania się pomiędzy trybami danych poszczególnych połączeń. Ponadto jest możliwa jednoczesna transmisja danych i sterowanie modułem komendami stosu IWrap. Tryb ten będzie idealny w przypadku zbierania danych z kilku oddalonych czujników, jeśli np. chcemy odebranych wartościom przypisać ten sam czas. W oprogramowaniu IWrap zaimplementowano tryb *Audio Mode* wraz z obsługą profili audio.

Oprogramowanie iWrap, które jest wciąż przez producenta rozwijane, oferuje kilkanaście rozkazów, które skrótowo przedstawiono w tab. 3. Dokładniejszego opisu rozkazów należy szukać w dokumentacji protokołu IWrap. Każda komenda powinna być zatwierdzona znakiem CR (ASCII 013). Komendy posiadają następującą składnię:

```
Komenda {wymagany
parametr} [opcjonalny
parametr] statyczny teks
[2... opcjonalny parametr]
```

Ustawione za pomocą dostępnych komend parametry modułu WT12,

poza drobnymi, racjonalnymi wyjątkami, są zapisywane w nieulotnej pamięci i nie ma potrzeby ich wysyłania po każdorazowym włączeniu zasilania.

Moduł może być skonfigurowany jako układ nadrzędny *Master* lub podrzędny *Slave* (w znaczeniu zgodnym ze specyfikacją Bluetooth). Domyślnie moduł samoczynnie przedstawia się w odpowiedni tryb, pozwalając na pracę nie tylko w sieciach Bluetooth Piconet, ale również ScatterNet. Tryb można również wymuszać dynamicznie dla danego połączenia. Urządzenie typu *Master* zarządza siecią Piconet, synchronizując pozostałe urządzenia typu *Slave*, których aktywnych (nie w trybie PARK) w danej sieci Piconet może być maksymalnie 7. Moduł, który ma zestawić połączenie z innym urządzeniem, musi znać jego adres BDA (moduły BT mają swoje adresy tak jak np. karty sieciowe MAC) lub jego nazwę (o ile jest publicznie dostępna – należy wtedy przeprowadzić skanowanie otoczenia INQUIRY). Dostępne w protokole IWrap komendy są przejrzyste i proste w zastosowaniu o czym się będzie można przekonać w przykładowej aplikacji bezprzewodowego wyświetlacza LCD.

**Marcin Wiązania, EP**  
marcin.wiazania@ep.com.pl