

Przegląd modułów Bluetooth i ZigBee

Nie da się zaprzeczyć, że w ostatnich latach rośnie znaczenie sieci bezprzewodowych. Powstało nawet zabawne powiedzenie, że „tam dom twój, gdzie twój laptop loguje się do Wi-Fi”. Dobrze oddaje ono charakter teraźniejszości, w której – mówiąc słowami Billa Gatesa – „the world goes wireless” (świat staje się bezprzewodowy). Nie będziemy w tym artykule opisywać sieci Wi-Fi, ponieważ jest to tematyka bardzo obszerna, chociaż nie tak trudna do realizacji, jakby mogło się wydawać, na początek chcemy zająć się standardami ZigBee i Bluetooth.

Konstruktor budujący urządzenia przeznaczone dla ogólnie rozumianego rynku konsumenckiego wcześniej czy później stanie przed koniecznością połączenia się z siecią bezprzewodową lub urządzeniem udostępniającym pewne usługi poprzez sieć radiową. Nietrudno zauważyć, że większość z urządzeń powszechnego użytku, jest wyposażona w interfejs Bluetooth, natomiast urządzenia automatyki domowej – w ZigBee, rzadziej Wi-Fi lub GSM/UMTS.

Większość popularnych, lokalnych sieci radiowych (PAN – *Personal Area Network*) pracuje z wykorzystaniem niewymagającego licencji zakresu częstotliwości zwanego ISM (*Industry Scientific Medical*). W warunkach europejskich najbardziej popularne częstotliwości środkowe poszczególnych zakresów ISM, w których pracują urządzenia powszechnego użytku ustalono na 27,12 MHz; 433 MHz; 2,45 GHz; 5,8 GHz¹. Czasami obserwując gwałtowny wzrost liczby urządzeń z interfejsem radiowym, zadaję sobie pytanie, kiedy ten zakres „pęknie w szwach”? Narazie producenci różnych urządzeń jakoś radzą sobie, wybierając różne protokoły komunikacyjne i rodzaje modulacji, ograniczając zasięg do kilku metrów itp. Dla niektórych urządzeń opracowują własne standardy połączeniowe, broniąc się przed konkurencją oraz ograniczając liczbę urządzeń współpracujących do tych produkowanych przez siebie.

Protokół komunikacyjny sieci radiowej to taki zbiór reguł funkcjonowania jej komponentów składowych, w których są zawarte zalecenia, by nie przeszkadzać innym w przesyłaniu lub odbieraniu danych i samemu transmitować je tylko wtedy, gdy jesteśmy w swoim okienku czasowym lub gdy zostaniemy o to poproszeni. Istnieje wiele standardowych protokołów, a oprócz tego producenci opracowują własne. Ponadto, na

przykład w ramach standardowego protokołu Bluetooth jest możliwe utworzenie własnych profili mających pewne niestandardowe, np. niedostępne u konkurencji, usługi.

W sieciach radiowych istotny jest również „język”, za pomocą którego poszczególne komponenty radiowe wymieniają informacje – składa się na niego rodzaj modulacji, informacje nadmiarowe pozwalające na kontrolowanie poprawności transmisji, ustalenie jej priorytetu, adresata, rozpoznania sytuacji, w której ktoś mówi innym językiem, ale używając naszego pasma, lub przesyła złe dane itp.

Osoby, które już zmierzyły się z opisywanymi tematami, dobrze wiedzą, że nie są to zagadnienia łatwe do implementacji i najczęściej wymagają pracy zespołu ludzi lub jednego programisty przez bardzo długi czas. W takiej sytuacji może jednak zdarzyć się, że jeśli nie będziemy dysponowali odpowiednimi zasobami, to zanim urządzenie zostanie zbudowane, pojawi się nowy, lepszy standard bezprzewodowy i całą lub prawie całą pracę trzeba będzie wykonać od nowa. Dlatego warto – zwłaszcza w produkcji krótkich lub niedużych serii – rozważyć zastosowanie gotowego modułu radiowego.

Bluetooth – klasy i profile

Moduły Bluetooth są charakteryzowane przez klasę i obsługiwane profile. Z punktu widzenia aplikacji sterującej istotny jest również sposób kontroli pracy modułu oraz połączenia rodzaj interfejsu do systemu nadzrędnego.

Klasa definiuje ograniczenie nadajnika, a więc pośrednio i zasięg jego nadawania, natomiast profil opisuje rodzaje danych i sposoby ich przenoszenia. Oczywiście, pojedynczy interfejs Bluetooth może obsługiwać wiele profili. Wymienione parametry mają ogromne znaczenie dla zakresu aplikacji modułu i trze-

ba na nie zwracać szczególną uwagę, tym bardziej że wielu producentów produkuje moduł w kilku odmianach, różniących się między sobą np. tylko klasą lub profilami. Wszystkie pozostałe parametry modułu, wygląd, rodzaj obudowy i inne są identyczne dla każdej z oferowanych wersji. Co więcej, profile nierzadko można zmodyfikować poprzez wymianę lub zmodyfikowanie firmware'u. Wpisuje się w to w politykę marketingową niektórych producentów – dodaj funkcjonalność bez zmian hardware'u.

Oprócz opisanych klasy i profili, ze względu na szybki rozwój technologii i różne aspekty użytkowe, niezmiernie istotna jest wspierana wersja standardu Bluetooth. Mimo że współcześnie chyba najbardziej rozpowszechniony jest Bluetooth w wersji 2.0, to kolejne edycje standardu nie wypierają tych poprzednich, a co więcej, różnice pomiędzy nimi wcale nie są duże. Oryginalnie Bluetooth umożliwiał transmisję danych z prędkością 1 Mbit/s. Zwiększono ją do 3 Mbit/s w wersji 2.0+EDR (*Enhanced Data Rate*) i osiągnięto jeszcze większą w wersji 3.0+HS (*High Speed*). Bluetooth w wersji 4.0 łączy parametry typowego Bluetooth (w wersji 3.0 lub starszej) z protokołem transmisyjnym umożliwiającym realizację małego poboru mocy (*Bluetooth Low Energy*). Z tego powodu Bluetooth 4.0 jest idealny do aplikacji, takich jak sensory i urządzenia przenośne, które z definicji muszą być energooszczędne. Zmniejszenie poboru mocy dzięki zastosowaniu nowej wersji Bluetooth może wydłużyć czas pracy urządzenia do ponad roku przy zasilaniu z pojedynczej baterii.

Warto dodać, że wiele istotnych nowości opracowywanych przez konsorcjum rozwijające omawiany standard wprowadzanych jest jako rozszerzenia, których implementacja nie jest przymusowa. Dotyczy to przede wszystkim rozszerzeń EDR i BLE. Nie wszyscy producenci implementują ich obsługę, a nawet nie wszyscy dążą do modernizacji oferowanych produktów w taki sposób, by całe portfolio było zgodne z Bluetooth 4.0. Zważając jednak na przeznaczenie Bluetooth 4.0 – nie jest to konieczne.

W efekcie różnice pomiędzy poszczególnymi, podobnymi do siebie modułami Bluetooth sprowadzają się do takich aspektów, jak: obsługiwana wersja standardu, wymiary obudowy, temperatura pracy, rodzaj anteny, czułość oraz moc zasilania.

Jak wspomniano, interfejs Bluetooth wspiera pewne usługi, a zdolność do ich obsługi została nazwana profilem. Nazwy profili Bluetooth w tabeli zapisano w postaci skrótów. Im więcej profili obsługuje dany moduł, tym bardziej jest uniwersalny. Poniżej przedstawiamy listę typowych profili i skrótów ich nazw. Warto jednak zwrócić uwagę, że niektóre firmy oferują narzędzia deweloperskie umożliwiające tworzenie własnych profili, a nasza lista obejmuje tylko profile standardowe:

- **Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)** – profil opisujący jednokierunkową transmisję sygnału audio o bardzo dobrej jakości.
- **Attribute Profile (ATT)** – profil przygotowany na potrzeby standardu *Bluetooth Low Energy*.
- **Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP)** – profil do obsługi urządzeń działających jako piloty zdalnego sterowania sprzętem RTV.
- **Basic Imaging Profile (BIP)** – profil obsługujący przesyłanie obrazów pomiędzy urządzeniami.
- **Basic Printing Profile (BPP)** – profil służący do wygodnego przesyłania tekstu do wydrukowania.
- **Common ISDN Access Profile (CIP)** – profil obsługujący usługi ISDN.
- **Cordless Telephony Profile (CTP)** – profil do obsługi bezprzewodowych słuchawek telefonicznych.
- **Device ID Profile (DIP)** – profil umożliwiający zaawansowaną identyfikację urządzenia.
- **Dial-up Networking Profile (DUN)** – profil umożliwiający korzystanie za pośrednictwem Bluetooth z połączeń wdzwanianych.
- **Fax Profile (FAX)** – profil umożliwiający komunikację pomiędzy telefonem a oprogramowaniem komputerowym pełniącym funkcję faksu.
- **File Transfer Profile (FTP)** – profil pozwalający na przeglądanie i wykonywanie operacji na plikach na urządzeniu zdalnym podłączonym przez Bluetooth.
- **Generic Audio/Video Distribution Profile (GAVDP)** – profil wymagany do implementacji profili A2DP i VDP.
- **Generic Access Profile (GAP)** – profil opisujący sposób wzajemnego wykrywania się urządzeń Bluetooth i nawiązywania połączenia pomiędzy nimi.
- **Generic Attribute Profile (GATT)** – profil przygotowany na potrzeby Bluetooth Low Energy. Pozwala na przekazywanie informacji o urządzeniu.
- **Generic Object Exchange Profile (GOEP)** – jeden z podstawowych profili opisujących sposób wymiany informacji pomiędzy urządzeniami.
- **Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP)** – profil ten opisuje sposób łą-

czenia urządzenia z drukarką, ale nie definiuje szczegółów poleceń i przesyłu informacji.

- **Health Device Profile (HDP)** – profil przygotowany z myślą o wymianie danych z urządzeniami medycznymi.
- **Hands-Free Profile (HFP)** – profil służący do tworzenia samochodowych zestawów głośnomówiących dla telefonów. Ma dodatkowe funkcje w porównaniu do **Headset Profile**.
- **Human Interface Device Profile (HID)** – profil przygotowany do obsługi urządzeń wejścia takich jak: klawiatury, myszki, kontrolery gier, itp.
- **Intercom Profile (ICP)** – profil ten służy do bezpośredniej, dwukierunkowej komunikacji audio pomiędzy dwoma urządzeniami Bluetooth.
- **LAN Access Profile (LAP)** – profil pozwalający korzystać z połączenia Bluetooth jako mostka do sieci LAN.
- **Message Access Profile (MAP)** – profil umożliwiający wymianę krótkich wiadomości tekstowych pomiędzy dwoma urządzeniami Bluetooth.
- **Object Push Profile (OPP)** – pozwala na przesyłanie obiektów, takich jak np. pliki graficzne, pomiędzy urządzeniami, przy czym transfer zawsze jest wymuszany przez nadawcę, a nie odbiorcę.
- **Personal Area Networking Profile (PAN)** – profil umożliwiający enkapsulację Bluetooth w warstwie trzeciej (wg OSI).
- **Phone Book Access Profile (PBAP, PBA)** – profil stworzony po to, by ułatwić wymianę listy kontaktów pomiędzy urządzeniami Bluetooth.
- **Serial Port Profile (SPP)** – profil ten umożliwia emulację portu szeregowego, dzięki czemu pozwala w prosty sposób zastąpić interfejs RS-232.
- **Service Discovery Application Profile (SDAP)** – profil opisujący sposób wykrywania usług dostępnych na zdalnym urządzeniu Bluetooth.
- **SIM Access Profile (SAP, SIM, rSAP)** – profil ten opisuje sposób korzystania z danych zgromadzonych na kartach SIM innych urządzeń Bluetooth. Ma on zastosowanie np. w przypadku, gdy w pojeździe zamontowany jest nadajnik i odbiornik GSM, ale korzysta on z karty SIM w telefonie kierowcy.
- **Synchronization Profile (SYNCH)** – profil służący do synchronizacji informacji takich jak: terminy spotkań, rocznice, plany zadań i kontakty.
- **Video Distribution Profile (VDP)** – profil ten opisuje sposób przesyłania strumienia wideo przez łącze Bluetooth.
- **Wireless Application Protocol Bearer (WAPB)** – profil ten umożliwia przekazywanie pakietów WAP (Wireless Application Protocol) przez łącze Bluetooth.

Oferta modułów Bluetooth

W **tabeli 1** podano parametry przykładowych modułów Bluetooth dostępnych w ofercie polskich dostawców oraz sprzedawców katalogowych, natomiast niżej opisano moduły wymienione w **tabeli 1**.

Adeunis ARF7456B, ARF52

Moduł przeznaczony przede wszystkim do transmisji danych na duże odległości. Przy braku przeszkód terenowych i wzajemnej widoczności anten, zasięg w otwartym terenie wynosi 150 m. Moduł jest przykładem interfejsu Bluetooth pracującego z zachowaniem zgodności z klasą I oraz numeru wersji 2.0+EDR (moc nadajnika 100 mW). Zakres napięcia zasilania rozciąga się od 3,0 do 3,6 V DC, co predysponuje go do urządzeń zasilanych na przykład z akumulatora Li-Ion. Podczas nadawania z zasilania jest pobierany prąd rzędu 50 mA, natomiast przy odbiorze 6 mA. Moduł nie ma własnej anteny i należy do niego dołączyć antenę zewnętrzną (gniazdo UFL). Pracuje w paśmie ISM 2,4 GHz, więc nie będzie też problemu z jej dopasowaniem. Wymiary obudowy modułu wynoszą 33 mm×18 mm×5 mm. Do dołączenia do systemu nadrzędnego służy interfejs UART. Prędkość transmisji danych wynosi od 9,6...921,6 kb/s. Producent zaimplementował w nim profile SPP i DUN.

Amber Wireless AMB2300

Inna nazwa tego modułu to BlueNiceCom IV. Stanowi on kompletne, zintegrowane rozwiązanie do transmisji danych oraz sygnału audio. Może obsługiwać połączenia punkt-punkt i punkt-wielopunkt z transferem o szybkości do 704 kb/s. Wbudowana pamięć pozwala na jednoczesne utrzymywanie 7 połączeń danych (ACL) i jednego połączenia audio (SCO). Konfigurację AMB2300 wykonuje się poprzez połączenie przewodowe. Standardowo w module tym zaimplementowane są profile SPP, GAP i SDAP. Pozostałe wymienione w tabeli są również obsługiwane, ale wymagają współpracy z zewnętrznym mikrokontrolerem.

Amber Wireless AMB2620

To niewielki moduł przeznaczony do montażu powierzchniowego. Odbiornik ma czułość -93 dBm, a nadajnik moc 4 dBm. Moduł zawiera wydajny mikrokontroler, który umożliwia komunikację poprzez interfejsy UART i SPI oraz ma wbudowany timer, przetwornik analogowo-cyfrowy oraz liczne tryby oszczędzania energii. Moduł ten wspiera standard Bluetooth Low Energy, wskazuje poziom odbieranego sygnału (RSSI – *Received Signal Strength Indication*) oraz obsługuje szyfrowanie AES-128. Jest przeznaczony do zastosowań w medycynie, urządzeniach sportowych, inteligentnych miernikach, automatyce przemysłowej, systemach rozryw-

Firma		Tabela 1. Przykładowe moduły Bluetooth dostępne w ofercie polskich dystrybutorów									
Model	Adeunis	Amber Wireless	Amber Wireless	Amber Wireless	Free2Move	BlueGiga	Rayson	Rayson	Flaircomm	Flaircomm	Flaircomm
Standard BT	ARF7456B	BT 2.0	BT 2.0	BT 4.0 LE	F2M03MLA-S03	WT12	BTM-220	BTM-750	BLU-BTM403A	BLU-BTM403A	BLU-BTM403A
Klasa	1	2	2	b.d.	1	2	1	2	BT 2.1+EDR	BT 2.0+EDR	BT 2.1+EDR
Profile	SPP, DUN	SPP, GAP, sDAP, DUN, FAX, FTP, HSP, HFP, OPP, SYNC, BIP, BPP	SPP, GAP, sDAP, DUN, FAX, FTP, HSP, HFP, OPP, SYNC, BIP, BPP	GAP, GATT, L@ CAP, SMP	Wireless Audio Headset, HSP, HFP, A2DP, AVRCP, SPP, HCI, DUN, OPP, HID	SPP, OBEX, OPP, OBEX, FTP, DUN, HID, AVRCP, HFP, HSP, BPA, HDP, DI, IAP, BGIO	HCI, SPP	HSP, HFP, A2DP, AVRCP	SPP, DUN, HDP	SPP, DUN, HDP	SPP, DUN, HDP
Zasięg [m]	150	20	27,5×16,0×3,5	50 m lub 80 m	150	50	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	300
Wymiary [mm]	33,0×18,0×5,0	2	< 2	17×27,5×4	18,5×13,2×2,0	26×14×2,4	28,2×15×2,8	16×15×2	35,3×14,0×2,5	35,3×14,0×2,5	35,3×14,0×2,5
Ciężar [g]	2	< 2	< 2	< 3	1,2	b.d.	b.d.	b.d.	2	b.d.	2
Napięcie zasilania [VDC]	3,0 - 3,6	2,9 - 3,6	2,9 - 3,6	2,0 - 3,6	3,1 - 3,6	3,2 - 3,4	2,7 - 3,6	b.d.	2,7 - 3,6	b.d.	2,7 - 3,6
Pobierana moc lub prąd	3 - 50 mA	typ. 65 mA	typ. 65 mA	typ. 25 - 35 mA	b.d.	7 - 60 mA	b.d.	b.d.	typ. 22 mA	b.d.	typ. 22 mA
Moc nadawcza	20 dBm	0 dBm	0 dBm	4 dBm	8 dBm	3 dBm	18 dBm	4 dBm	17 dBm	4 dBm	17 dBm
Czułość	-87 dBm	-80 dBm	-80 dBm	-93 dBm	-81 dBm	-83 dBm	b.d.	b.d.	-84 dBm	b.d.	-84 dBm
Zintegrowana antena	nie	tak, ceramiczna	tak, ceramiczna	tak/nie	tak	tak	nie	nie	tak	nie	tak
Temperatura pracy [C]	od -20 do +70	od -20 do +70	od -20 do +70	od -40 do +85	od -40 do +85	od -40 do +85	b.d.	b.d.	od -40 do +85	b.d.	od -40 do +85
Interfejsy	UART	PCM, UART, GPIO	PCM, UART, GPIO	UART, SPI, USB, GPIO	i5, SPDIF, 13-bitowy PCM, 8 cyfrowych I/O, 8-bitowe analogowe wyprowadzenie, UART/USB i opcjonalnie I2C	PCM, UART, USB 2.0 Device, SPI, 6×GPIO	USB, UART, PCM	PCM, I5, SPDIF, USB, UART	PCM, AIO, SPI, PIO, UART, USB	PCM, I5, SPDIF, USB, UART	PCM, AIO, SPI, PIO, UART, USB

kowych i bezpieczeństwa oraz w motoryzacji. Dzięki niewielkim rozmiarom i niskiemu zużyciu energii dobrze sprawdza się w systemach zasilanych bateryjnie. W trybie Low Power 1 pobiera poniżej 300 µA prądu, a w Low Power 2 nawet mniej niż 2 µA. Producent oferuje omawiany moduł w trzech odmianach:

- AMB2620 ze zintegrowaną anteną ceramiczną,
- AMB2620-1 z wyprowadzeniem antenowym w postaci padu,
- AMB2620-2 ze złączem antenowym U.FL.

BlueGiga WT12

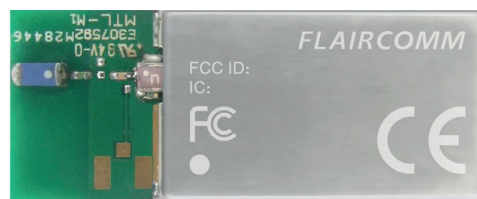
Nowoczesny moduł Bluetooth 2.1 + EDR pracujący w klasie II. Firmware o nazwie iWRAP umożliwia sterowanie modułem za pomocą komend tekstowych. Alternatywnie jest możliwe skorzystanie z firmware'u HCI (*Host Command Interface*), pozwalającego na obsługę stosu ZigBee za pomocą zewnętrznego mikrokontrolera przyłączonego przez UART lub USB. Producent oferuje zestaw ewaluacyjny EKWT12-A oraz udostępnia środowisko deweloperskie BlueLab Professional SDK, a także projekty referencyjne dla aplikacji HCI, audio i prostego zamiennika połączenia przewodowego. Są dostępne trzy odmiany WT12, które różnią się wbudowanym firmware'em:

- WT12-A-AI – firmware iWRAP,
- WT12-A-HCI – firmware HCI (dla USB),
- WT12-A-C – własny, nietypowy firmware.

Flaircomm BLU-BTM403A

Znany również pod starszą nazwą FLC-BTMDC748A moduł stanowi rozwiązanie pozwalające na łatwą implementację komunikacji Bluetooth klasy I lub II (w jednej z odmian modułu). BMT403 mogą być obsługiwane z użyciem poleceń AT# opracowanych przez Flaircomm. Moduł jest oferowany w trzech odmianach:

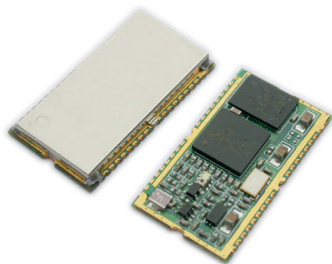
- BTM403A – wyposażony w wielowarstwową antenę ceramiczną, pracuje w klasie I, z nadajnikiem o mocy 17 dBm,
- BTM403B – ze złączem antenowym UFL, pracujący w klasie I, z nadajnikiem o mocy 17 dBm.
- BTM403C – wyposażony w wielowarstwową antenę ceramiczną, pracuje w klasie II, z nadajnikiem o mocy 4 dBm.



Free2move F2M03MLA-S03

Moduł z wbudowanym wzmacniaczem stereofonicznym i 32-bitowym procesorem sygnałowym, przeznaczony głównie do aplikacji multimedialnych. Pozwala np. na dekodowanie strumienia MP3 i usuwanie pogłosu. Niewielki pobór mocy oraz zintegrowana antena dookólna sprawiają, że nadaje się on również do aplikacji przenośnych, zasilanych bateryjnie. Może przy tym działać niezależnie, sterowany jedynie przyciskami lub sterowany przez mikrokontroler za pomocą prostego zestawu poleceń. Standardowo moduł wyposażony jest w firmware obsługujący profile Headset, HandsFree, A2DP, AVRCP i SPP, ale możliwe jest też wgranie oprogramowania z profilami HCI, SPP, DUN, OPP i HID. Oprócz typowych urządzeń audio, takich jak np. słuchawki stereofoniczne i zestawy głośnomówiące, moduł F2M03MLA znajdzie także zastosowanie w systemach medycznych, przemysłowych i w czujnikach. Oprócz samego modułu, producent oferuje też wersję z dodatkowymi wyprowadzeniami (F2M02MLA-S03-K) oraz zestaw ewaluacyjny F2M03M-KIT-I.





Rayson BTM-220

Niewielki moduł pracujący w standardzie Bluetooth 2.0+EDR. Charakteryzuje się nadajnikiem o mocy maksymalnej 18 dBm i może przesyłać dane oraz cyfrowy sygnał audio. Jest przeznaczony przede wszystkim do instalacji w notebookach i komputerach PC oraz we wszelkiego rodzaju urządzeniach mobilnych, takich jak palmtopy, smartfony, proste telefony komórkowe i tablety. Znajduje też zastosowanie w zestawach słuchawkowych, cyfrowych aparatach fotograficznych, drukarkach, urządzeniach GPS oraz czytnikach kodów kreskowych. Opcjonalnie możliwe jest wgranie firmware'u z profilami HCI i SPP.

Rayson BTM-730

Moduł przeznaczony głównie do aplikacji audio. Pracuje w standardzie BT 2.0+EDR, w klasie II. Ma wbudowany koprocesor DSP (Kalimba) i 16-bitowy, stereofoniczny układ

audio z przetwornikiem C/A o SNR=95 dB. Ponadto w skład modułu wchodzi regulator napięcia, układ ładowania akumulatorów, 8 MB pamięci Flash. Dzięki możliwości implementacji zaawansowanych algorytmów przetwarzania sygnałów BTM-730 znajduje zastosowanie w stereofonicznych słuchawkach audio, samochodowych zestawach słuchawkowych, bezprzewodowych systemach głośnikowych, telefonach VOIP i przystawkach multimedialnych.

ZigBee – podział ze względu na rolę w sieci

W czerwcu 2006 r. powstał nowy protokół komunikacyjny, który nazwano ZigBee. Wypełnia on lukę pomiędzy sieciami Wi-Fi, WiMax i Bluetooth. ZigBee jest opisem protokołu komunikacyjnego wysokiego poziomu używającego modułów radiowych niewielkiej mocy, bazujących na standardzie 802.15.4-2003 opisującym działanie lokalnych, bezprzewodowych sieci cyfrowych małego zasięgu (*Wireless Personal Area Network*). Twórca standardu użył wręcz słowa „osobistych”, aby podkreślić przeznaczenie protokołu.

W zamierzeniach twórców moduły ZigBee miały być prostsze w budowie i tańsze, niż inne typy sieci WPAN, jak np. Bluetooth. Standard ZigBee powstał głów-

nie z myślą o zastosowaniach przy budowie lokalnych sieci czujników i urządzeń monitorujących w zastosowaniach związanych z automatyką budynków, kontrolą urządzeń pracujących w obrębie pomieszczenia, systemami alarmowymi i logistyką. Główny nacisk położono nie tyle na zapewnienie jak największej przepływności, ile na niezawodność transmisji danych, możliwość budowy sieci i elastyczność jej konfiguracji. Przy budowie sieci czujników zawsze istnieje problem dostępności zasilania i często urządzenia tego typu są zasilane z baterii, więc twórcy protokołu położyli szczególny nacisk na minimalizację poboru energii z zasilania. Maksymalnie uproszczono też stos komunikacyjny, co w założeniu miało zapewnić niską cenę modułów radiowych.

W sieci ZigBee może pracować niemal dowolnie duża liczba urządzeń. Ograniczeniem w pojedynczej sieci jest liczba 264 urządzeń, a łączna liczba współpracujących ze sobą sieci jest ograniczona do 216. Protokół komunikacyjny umożliwia realizację sieci o praktycznie dowolnej konfiguracji:

- gwiazdzista (star), peer-to-peer,
- kratowa (mesh). Dodatkowo, urządzeniom o wymagającym krótkim czasie reakcji można nadać wysoki priorytet.

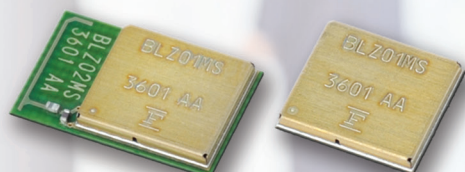
Moduły radiowe ZigBee pracują z wykorzystaniem ogólnie dostępnych pasm ISM,

REKLAMA

Fujitsu wireless
modules

New!
Bluetooth® low
energy modules

FUJITSU



emea.fujitsu.com/components

shaping tomorrow with you

Tabela 2. Przykładowe moduły ZigBee dostępne w ofercie polskich dystrybutorów

Firma	Amber Wireless	Atmel	Aurel	Telegesis	Radiocrafts	Telit
Model	AMBZ420-x	ATZB-24-B0/A2	XTR-ZB1-xLI	ETRX357	RC240HP-ZNM	ZE61-2.4
Stos	ZigBee PRO	ZigBee PRO	b.d.	EmberZNet ZigBee	ZigBee Pro	ZigBee PRO
Zasięg [m]	250/400	b.d.	b.d.	b.d.	2500	4000
Moc nadawcza	4,5 dBm	3 dBm	0 dBm	3/8 dBm	20 dBm	20 dBm
Czułość odbiornika	-97 dBm	-101 dBm	-92 dBm	-102 dBm	-99 dBm	-100 dBm
Napięcie zasilania [V]	2,0 - 3,6	1,8 - 3,6	2,0 - 3,6	2,1 - 3,6	b.d.	2,0 - 3,6
Pobierana moc/prąd	do 35 - 50 mA	18 - 19 mA	28 - 33 mA	typ. 25 - 31 mA	170 mA (transmisja)	150 mA (transmisja)
Wymiary [mm]	17×27,5×4	18,8×13,5×2,0	35×25	25×19x 3,8	12,7×25,4×3,5	26×15×3
Ciężar [g]	< 3	1,3	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Temperatura pracy [C]	od -40 do +85	od -40 do +85	b.d.	od -40 do +85	b.d.	od -40 do +85
Zintegrowana antena	tak	w wersji A2	tak	tak	nie	opcjonalnie

zgodnie z regulacjami prawnymi obowiązującymi na danych terenach. Prędkość transmisji w paśmie 2,4 GHz jest równa 250 kb/s (16 kanałów, każdy o szerokości 5 MHz). Spotyka się również urządzenia ZigBee wykorzystujące pasma 915 MHz (USA i Australia) i oferujące prędkość transmisji 40 kb/s oraz 868 MHz (Europa) i prędkość 20 kb/s. Zasięg modułów waha się w granicach od 10 do 70 m, aczkolwiek dostępne są również specjalne moduły ZigBee Pro o zasięgu do 1500 m. Typowo moc nadajnika modułu ZigBee jest równa 0 dBm (1 mW).

Ze względu na fakt, że implementacja pełnego stosu transmisji ZigBee nie jest tak tania, jak przewidywano (powodem jest wymaganie odnośnie do wielkości pamięci programu), w opisie protokołu wyróżniono dwa rodzaje urządzeń:

- FFD (*Full Function Device*), tj. urządzenia mogące pracować w sieciach o dowolnej topologii, jako koordynator sieci lub po prostu komunikując się z każdym urządzeniem w sieci.
- RFD (*Reduced Function Device*), tj. urządzenie mogące pracować wyłącznie w sieci o topologii gwiazdy, mogące komunikować się tylko z koordynatorem sieci i niemogące spełniać funkcji koordynatora.

Oprócz opisanego wyżej podziału, wprowadzono również inny, uwzględniający ich funkcje, zgodnie z protokołem ZigBee:

- Koordynator oznaczany literami ZC (*ZigBee Coordinator*) lub CO (*Coordinator*). Jest to urządzenie o największych możliwościach. Koordynator formuje korzeń drzewa sieci i może łączyć się z inną siecią. W każdej sieci ZigBee jest wymagany jeden taki moduł. Inicjuje on pracę sieci, zarządza tablicą połączeń, zapamiętuje informacje związane z siecią, jak również może pracować jako centrum uwierzytelniania urządzeń sieciowych i przechowywać repozytoria kluczy szyfrowania.
- Router oznaczany literami ZR (*ZigBee Router*) lub RT (*Router*). Jest to urządzenie w sieci ZigBee, pośredniczące w przekazywaniu danych. Często rou-

ter realizuje również zadania związane bezpośrednio z aplikacją użytkownika.

- Urządzenie końcowe ZED (*ZigBee End Device*) lub RFED (*Reduced Function End Device*). Urządzenie to ma wystarczającą funkcjonalność, aby komunikować się z routerem lub koordynatorem. Nie może jednak porozumiewać się z innymi urządzeniami końcowymi. Taki sposób funkcjonowania umożliwia urządzeniu końcowemu przebywanie przez większość czasu w stanie czuwania, w którym minimalizowany jest pobór energii.

W porównaniu z innymi rozwiązaniami WPAN, ZigBee ma unikatowe cechy, niedostępne w innych rozwiązaniach sieci bezprzewodowych. Stosunkowo prosty protokół ZigBee nie ma zbyt dużych wymagań co do zasobów sprzętowych i bez problemu daje się uruchomić na mikrokontrolerze z rdzeniem 8-bitowym. Z tego powodu moduły mogą być tanie. Ponadto, protokół komunikacyjny umożliwia omijanie zatorów komunikacyjnych, a dzięki kratowej strukturze sieci, łatwo zwiększać obszar pokrycia bez podnoszenia mocy nadajników, zmiany anten itp. Urządzenia ZigBee przez większość czasu przebywają w trybie obniżonego poboru mocy i wybudzają się z niego na czas liczony w milisekundach. Dodatkowo, nadajnik ma moc zaledwie 1 mW (0 dBm), co prowadzi do radykalnych oszczędności baterii.

Oferta modułów ZigBee

Przykładowe moduły ZigBee dostępne w ofercie polskich dystrybutorów wymieniono w tabeli 2, natomiast w skrócie opisano je w dalszej części tekstu.

Amber Wireless AMBZ430

Firmware modułu obejmuje stos ZigBee Pro, który w połączeniu ze stosem ZNP firmy Texas Instruments pozwala na dołączenie modułu ZigBee do interfejsu szeregowego. Może on być kontrolowany za po-



mocą poleceń tekstowych, obsługuje pełny zestaw komend ZigBee. Wbudowany rdzeń mikrokontrolera 8051 pozwala na przeprowadzanie wielu operacji dodatkowych, jak: obliczanie sum kontrolnych, określanie współczynnika RSSI, szyfrowanie AES-128 itp. Moduł ma interfejsy UART, SPI i liczne wejścia i wyjścia ogólnego przeznaczenia. Jest przeznaczony do pracy w systemach bezprzewodowej akwizycji danych, monitoringu, zdalnego sterowania oraz sieci czujnikowych i automatyki budynkowej. Tryby uśpienia: LPM1, dla którego pobór mocy nie przekracza 300 µA i LMP2, gdzie spada poniżej 2 µA sprawiają, że moduł dobrze sprawdza się również w aplikacjach zasilanych bateryjnie. Moduł jest oferowany w trzech wersjach:

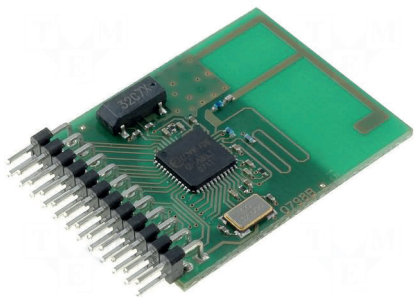
- AMBZ420 – z wbudowaną anteną ceramiczną,
- AMBZ420-1 – z padem dla sygnału antenowego,
- AMBZ420-2 – ze złączem antenowym U.FL.



Atmel ATZB-24-B0 ZigBit

Moduł może pracować w sieci BitCloud korzystającej z protokołu ZigBee PRO lub jako bezprzewodowe łącze szeregowe w trybie SerialNet. W tym pierwszym przypadku konfiguracji modułu dokonuje się za pomocą programowej platformy deweloperskiej, wspólnej dla wszystkich modułów Atmel ZigBit. W trybie SerialNet programowanie odbywa się poprzez komendy AT przesyłane przez interfejs szeregowy. Moduł ma 128 kB pamięci Flash, 8 kB pamięci RAM i 4 kB EEPROM. Wyposażono go w m.in.: 9 portów GPIO, 2 wejścia przerwań, 4 wejścia dla

przetwornika A/C, interfejsy UART, USART, I²C i SPI. Omawiana wersja wyposażona jest w wyprowadzenia do podłączenia anteny, ale jest dostępna również nieco większa, ATZB-24-A2, która zawiera już wbudowaną antenę dookólną.



Aurel XTR-ZB1-xLI

Jest to rodzina modułów różniących się między sobą zaimplementowanymi funkcjami. XTR-ZB1-RLI może pracować jako router, wersja z oznaczeniem z końcówką „-CRI” jako koordynator sieci, a z „-ELI” jako urządzenie końcowe ZigBee. W odróżnieniu od zdecydowanej większości pozostałych modułów, produkt firmy Aurel nie jest przeznaczony do montażu powierzchniowego. Polecenia do modułu przesyłane są w postaci komend tekstowych, a producent dostarcza oprogramowanie aplikacyjne napisane w Visual Basicu. Omawiana wersja modułu ma zintegrowaną antenę dookólną ale dostępne są też modele z wyprowadzeniem anteny (oznaczenie modelu z końcówką „-xLE”).

Radiocrfts RC240HP-ZNM

Moduł ZigBee firmy Radiocrfts wyposażony w nadajnik o mocy 20 dBm (100 mW), co przy zastosowaniu dobrej anteny pozwala na uzyskanie w idealnych warunkach łączności nawet na odległość 2,5 km. Trzeba jednak pamiętać, że europejskie regulacje narzucają ograniczenie mocy transmisji do 10 mW/MHz pasma. Pod względem wyprowadzeń RC240HP-ZNM jest kompatybilny z innymi modułami firmy Radiocrfts, przystosowanymi np. do obsługi sieci Wireless M-Bus, co ułatwia tworzenie alternatywnych wersji urządzeń, różniących się interfejsem sieciowym. Połączenie z zewnętrznym mikrokontrolerem realizowane jest za pomocą in-

terfejsów UART lub SPI. Producent oferuje też wersję do sieci Smart Energy oraz model o mniejszej mocy nadajnika (4 dBm), który pozwala na komunikację na dystansie do 500 m.

Telegesis ETRX357

Wyposażony w rdzeń mikrokontrolera ARM Cortex-M3. Obsługuje autorski zestaw komend przypominających polecenia AT, przystosowany do funkcji ZigBee PRO. Moduł ETRX357 charakteryzuje się bardzo małym poborem mocy w trybie głębokiego uśpienia – natężenie prądu poniżej 1 μ A. Ponadto, oprócz standardowego trybu nadawania, w którym moc emitowanego sygnału wynosi 3 dBm, jest możliwa praca w trybie podwyższonej mocy (8 dBm). Zwiększenie zasięgu można też uzyskać dzięki zastosowaniu modułu w wersji ETRX357HR, który zamiast wbudowanej anteny ma złącze UFL dla anteny zewnętrznej.



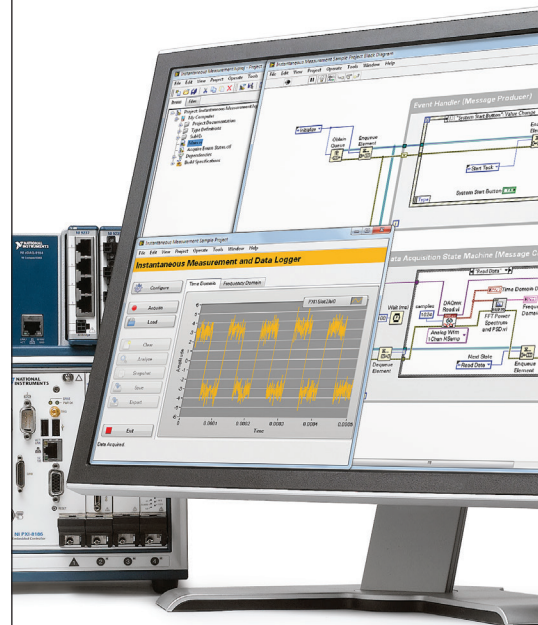
Telit ZE61-2.4

Wybrany moduł firmy Telit ma największy w niniejszym zestawieniu zasięg komunikacji (nawet do 4 km), przy względnie niedużym poborze prądu (150 mA w trakcie transmisji). W trakcie odbioru pobierany prąd wynosi 31 mA, a w trybach oczekiwania i uśpienia prąd spada do 2,5 μ A i 1,5 μ A. Moduł zawiera 8 kB pamięci SRAM, 8 kB EEPROM i 256 kB Flash. Może być konfigurowany poprzez połączenie bezprzewodowe oraz obsługuje interfejs RS-232. Umożliwia wgranie stosu Smart Energy zamiast klasycznego ZigBee. Moduł dostępny jest w wersji z anteną lub bez oraz z wyprowadzeniami do montażu powierzchniowego lub powierzchniowego. Bardzo zbliżone parametry ma też model ZE51-2.4, który cechuje się mniejszą mocą nadawanego sygnału (4 dBm), ale mimo to pozwala na komunikację na odległość nawet 1 km.

Jacek Bogusz, EP

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band

Nieskończone możliwości na jednej platformie



NI LabVIEW to kwintesencja graficznego projektowania systemów, które stanowi połączenie środowiska programistycznego z rekonfigurowalnym sprzętem. Dzięki niemu możemy przyspieszyć projektowanie dowolnych systemów pomiarowych i sterowania.

>> Przyspiesz projektowanie systemów na ni.com/labview-platform



800 889 897

National Instruments Poland Sp. z o.o. • Salzburg Center, ul. Grójecka 5, 02-025 Warszawa
Tel: +48 22 328 90 10 • Fax: +48 22 331 96 40 • Strona internetowa: <http://poland.ni.com>
Adres e-mail: ni.poland@ni.com • KRS 86646, Sąd Rejonowy dla m. st. Warszawy, XIII Wydział Gospodarczy Krajowego Rejestru Sądowego • Kapitał zakładowy: 100,000.00 PLN
NIP 527-22-69-641

©2013 National Instruments Corporation. Wszystkie prawa zastrzeżone. LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com to zarejestrowane znaki handlowe National Instruments. Inne wymienione produkty i firmy to zarejestrowane znaki handlowe i nazwy firmowe odpowiednich firm. 13216



ulubiony
KIOSK.pl

Zaprenumeruj na stronie AVT.pl, e-mail: prenumerata@avt.pl
lub telefonicznie pod numerem: 22 257 84 99
Bieżący numer zamów na www.ulubionykiosk.pl