

Sieci bezprzewodowe z punktu widzenia elektronika

Sieci bezprzewodowe nabrały dużego znaczenia dla konstruktorów-elektroników. Od pewnego czasu stanowią już nie tylko miłe widzianą dodatkową funkcję budowanych urządzeń, a raczej wymaganą, podstawową metodę na zapewnienie komunikacji. Szczęśliwie, przetrwało względnie niewiele podstawowych rodzajów sieci bezprzewodowych, dzięki czemu wybór, przed którym stoją konstruktorzy, wydaje się dosyć łatwy. Problem pojawia się dopiero, gdy przychodzi do doboru wersji wdrażanych standardów komunikacji.

Obecnie do komunikacji bezprzewodowej wykorzystuje się głównie fale radiowe, choć w niektórych urządzeniach znów zaczęły się pojawiać interfejsy na podczerwień. Rozwiązania radiowe można łatwo podzielić, w zależności do odległości, na którą ma być prowadzona komunikacja. Szczęśliwie, w każdej z tych grup znajdzie się jedna dominująca technologia, idealnie dostosowana do zadań realizowanych przy komunikacji na określonych dystansach. Jeśli jest konieczna bezprzewodowa wymiana danych pomiędzy niemal dowolnymi miejscami na świecie, wtedy warto skorzystać z technologii sieci komórkowych lub alternatywnie bardzo drogich sieci satelitarnych. Na mniejsze odległości mogą wystarczyć radiomodemy pracujące na pasmach płatnych lub w pasmach ISM albo też sieci WiMax. Przy komunikacji na odległości do kilkuset metrów można pokusić się o zastosowanie sieci Wi-Fi, które w praktyce dobrze się sprawdzają na dystansach rzędu kilkadziesiąt metrów. Pewną alternatywą może być ZigBee, ale ze specyfika tej sieci jest inna niż w przypadku Wi-Fi, dzięki czemu łatwo określić, która z nich się lepiej sprawdzi w określonym zastosowaniu. W końcu, dla małych odległości, podstawowym wyborem będzie Bluetooth, którego teoretyczny, maksymalny zasięg wynosi nawet 100 m, ale w praktyce jest znacznie mniejszy.

Do sposobów komunikacji można też ewentualnie zaliczyć NFC, choćby ze względu na pełną nazwę tego standardu: Near Field Communication. NFC rzeczywiście pozwala na aktywną komunikację dwóch urządzeń, na odległości rzędu 20 cm, ale w praktyce jest obecnie przede wszystkim stosowane do identyfikacji obiektów lub urządzeń, zamiast znaczników RFID. I o ile w nowych urządze-

niach opartych na systemie Android, teoretycznie można coś przesłać poprzez NFC, to w rzeczywistości, ze względu na małą przepustowość, standard ten jest używany raczej tylko do identyfikacji urządzeń i inicjowania połączenia. Sam transfer danych odbywa się z użyciem Bluetootha lub ewentualnie Wi-Fi. NFC zostanie więc omówione w kolejnym numerze Elektroniki Praktycznej, w ramach tematu identyfikacji elektronicznej.

Biorąc pod uwagę opisany powyżej podział, z punktu widzenia elektroników najbardziej interesujące są trzy technologie: Wi-Fi, Bluetooth i ZigBee. Pozostałe są albo bardzo mało popularne, albo – jak przypadku telefonii komórkowej nie mogą istnieć bez zewnętrznej infrastruktury i nie będą opisywane w niniejszym artykule.

Na **rysunku 1** pokazano obszary zastosowań różnych standardów sieci bezprzewodowych.

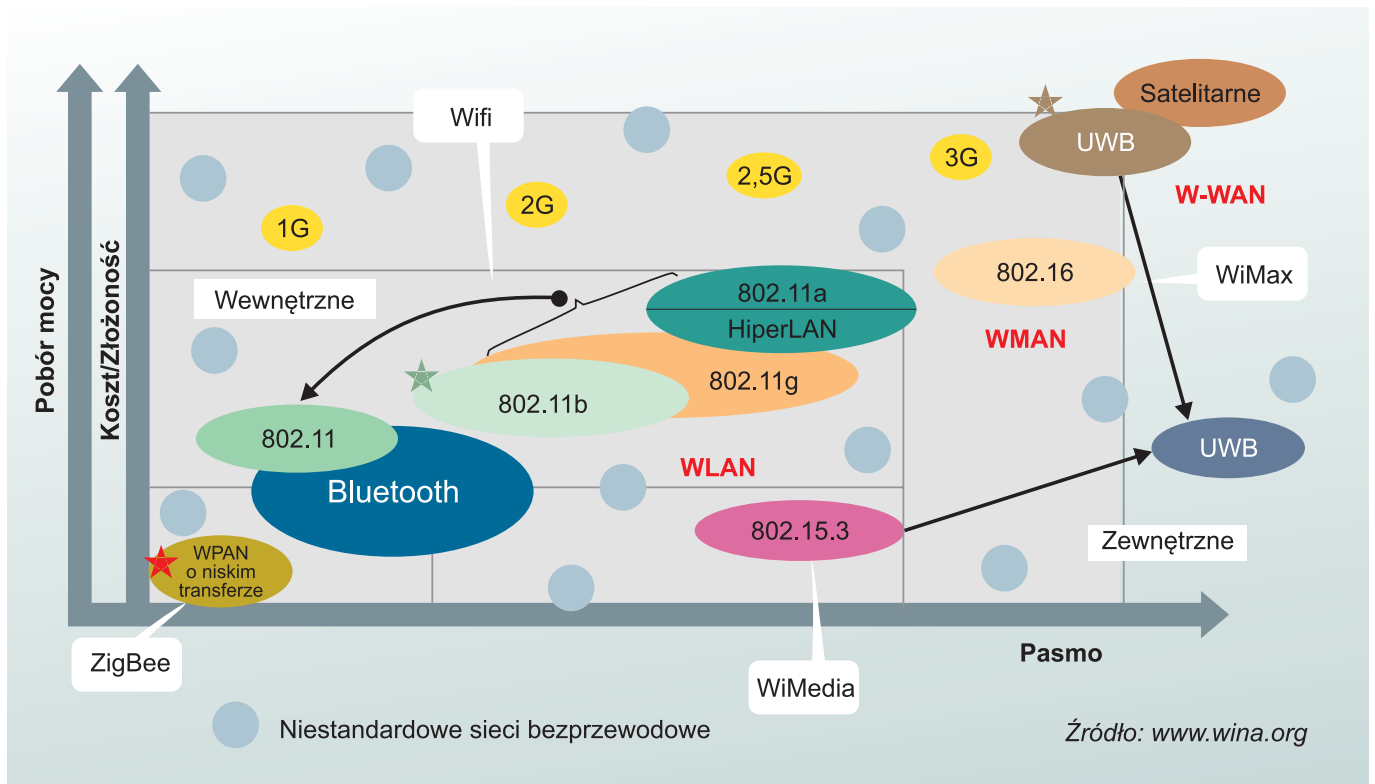
Wi-Fi

Wydaje się, że najwięcej uwagi warto poświęcić standardom IEEE802.11a/b/g/n/ac, czyli tzw. Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). Metoda ta zyskała na popularności przede wszystkim ze względu na rozwój przewodowego Ethernetu, którego bezpośrednim rozwinięciem jest właśnie Wi-Fi. Zastosowany w niej protokół IP oraz przeważająca w zastosowaniach topologia gwiazdy pozwalają łatwo tworzyć bezprzewodowe sieci lokalne, odwzorowujące sposobem działania klasyczny Ethernet. Na przestrzeni lat ewoluowała, przy czym zmiany skierowane były przede wszystkim w celu zwiększenia szybkości transmisji, a przy okazji wydłużenia zasięgu sieci.

Obecnie najbardziej popularnym standardem Wi-Fi jest IEEE802.11n, który w prak-

tyce wprowadził możliwość komunikacji nie tylko w paśmie w okolicach częstotliwości 2,4 GHz, ale też 5 GHz. Gwoli ścisłości, już wersja 802.11a pracowała na częstotliwości 5 GHz, ale tak naprawdę nigdy się nie spopularyzowała i można było ją znaleźć zaimplementowaną niemal tylko w niektórych urządzeniach przemysłowych. Dopiero wersja 802.11g sprawiła, że Wi-Fi stało się faktycznie powszechnie stosowanym standardem, gdyż jej teoretyczna przepustowość wynosiła nieco ponad połowę przepustowości klasycznej, 100-megabitowej ethernetowej sieci przewodowej. W rzeczywistości jednak uzyskiwane transfery były zdecydowanie niższe niż zakładane i z tego względu urządzenia pracujące zgodnie z IEEE802.11g nie oferowały takiego komfortu pracy, jak nowsze modele.

Dominujący obecnie IEEE802.11n jest natomiast standardem bardzo rozbudowanym, gdyż określa wiele mocno różniących się od siebie trybów pracy oraz – jak wspomniano wcześniej – zezwala na transmisję w dwóch różnych pasmach radiowych. Większość z produkowanych modułów i układów zgodnych z IEEE802.11n zapewnia obsługę obu pasm, często jednocześnie, ale mogą się różnić wspieranymi trybami działania, które to decydują o dostępnej szybkości transmisji. Jest to jedna z głównych cech, które powinien brać pod uwagę konstruktor implementujący obsługę sieci Wi-Fi w swoim urządzeniu. Poszczególne tryby pracy wymagają nie tylko różnej mocy obliczeniowej, czy odpowiedniej precyzji układów nadawczo-odbiorczych, ale też zastosowania dodatkowych anten. Podstawowe tryby pracy urządzeń zgodnych z IEEE802.11n obejmowały komunikację za pomocą dwóch jednocześnie przesyłanych strumieni sygnałów, odbieranych i nadawanych za pomocą dwóch par anten. Przy zastosowaniu maksymalnie wydajnego kodowania (64-QAM, 5/6 symboli istotnych), dosyć dużych, bo 40-megahercowych kanałów i minimalnego 400-nanosekundowego odstępu pomiędzy transmitowanymi symbolami, pozwalało to teoretycznie uzyskać przepustowość na poziomie 300 Mb/s. W praktyce jednak zdolność do przestrzennego rozróżniania tych strumieni, przy tak określonych para-



Rysunek 1. Obszar zastosowań różnych standardów sieci bezprzewodowych

Tabela 1. Tryby pracy zdefiniowane w sieciach standardu IEEE802.11n

Tryb MCS	Liczba strumieni przestrzennych	Rodzaj modulacji	sposób kodowania	Teoretyczna przepustowość maksymalna [Mb/s]			
				kanał 20 MHz		kanał 40 MHz	
				odstęp 800 ns	odstęp 400 ns	odstęp 800 ns	odstęp 400 ns
0	1	BPSK	1/2	6,50	7,20	13,50	15,00
1	1	QPSK	1/2	13,00	14,40	27,00	30,00
2	1	QPSK	3/4	19,50	21,70	40,50	45,00
3	1	16-QAM	1/2	26,00	28,90	54,00	60,00
4	1	16-QAM	3/4	39,00	43,30	81,00	90,00
5	1	64-QAM	2/3	52,00	57,80	108,00	120,00
6	1	64-QAM	3/4	58,50	65,00	121,50	135,00
7	1	64-QAM	5/6	65,00	72,20	135,00	150,00
8	2	BPSK	1/2	13,00	14,40	27,00	30,00
9	2	QPSK	1/2	26,00	28,90	54,00	60,00
10	2	QPSK	3/4	39,00	43,30	81,00	90,00
11	2	16-QAM	1/2	52,00	57,80	108,00	120,00
12	2	16-QAM	3/4	78,00	86,70	162,00	180,00
13	2	64-QAM	2/3	104,00	115,60	216,00	240,00
14	2	64-QAM	3/4	117,00	130,00	243,00	270,00
15	2	64-QAM	5/6	130,00	144,40	270,00	300,00
16	3	BPSK	1/2	19,50	21,70	40,50	45,00
17	3	QPSK	1/2	39,00	43,30	81,00	90,00
18	3	QPSK	3/4	58,50	65,00	121,50	135,00
19	3	16-QAM	1/2	78,00	86,70	162,00	180,00
20	3	16-QAM	3/4	117,00	130,00	243,00	270,00
21	3	64-QAM	2/3	156,00	173,30	324,00	360,00
22	3	64-QAM	3/4	175,50	195,00	364,50	405,00
23	3	64-QAM	5/6	195,00	216,70	405,00	450,00
24	4	BPSK	1/2	26,00	28,80	54,00	60,00
25	4	QPSK	1/2	52,00	57,60	108,00	120,00
26	4	QPSK	3/4	78,00	86,80	162,00	180,00
27	4	16-QAM	1/2	104,00	115,60	216,00	240,00
28	4	16-QAM	3/4	156,00	173,20	324,00	360,00
29	4	64-QAM	2/3	208,00	231,20	432,00	480,00
30	4	64-QAM	3/4	234,00	260,00	486,00	540,00
31	4	64-QAM	5/6	260,00	288,80	540,00	600,00

Tabela 2. Podstawowe tryby zdefiniowane dla sieci standardu IEEE802.11ac; dla trybów z większą liczbą strumieni niż jeden należy odpowiednio przemnożyć podane wartości maksymalnych transferów

Tryb MCS	Rodzaj modulacji	Kodowanie	Teoretyczna przepustowość dla pojedynczego strumienia [Mb/s]							
			kanał 20-megahercowy		kanał 40-megahercowy		kanał 80-megahercowy		kanał 160-megahercowy	
			odstęp 800 ns	odstęp 400 ns	odstęp 800 ns	odstęp 400 ns	odstęp 800 ns	odstęp 400 ns	odstęp 800 ns	odstęp 400 ns
0	BPSK	1/2	6,50	7,20	13,50	15,00	29,30	32,50	58,50	65,00
1	QPSK	1/2	13,00	14,40	27,00	30,00	58,50	65,00	117,00	130,00
2	QPSK	3/4	19,50	21,70	40,50	45,00	87,80	97,50	175,50	195,00
3	16-QAM	1/2	26,00	28,90	54,00	60,00	117,00	130,00	234,00	260,00
4	16-QAM	3/4	39,00	43,30	81,00	90,00	175,50	195,00	351,00	390,00
5	64-QAM	2/3	52,00	57,80	108,00	120,00	234,00	260,00	468,00	520,00
6	64-QAM	3/4	58,50	65,00	121,50	135,00	263,30	292,50	526,50	585,00
7	64-QAM	5/6	65,00	72,20	135,00	150,00	292,50	325,00	585,00	650,00
8	256-QAM	3/4	78,00	86,70	162,00	180,00	351,00	390,00	702,00	780,00
9	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180,00	200,00	390,00	433,30	780,00	866,70

metrach sygnału jest ograniczona i sprawia, że najczęściej uzyskiwana przepustowość wynosi około 60 Mb/s, nawet, gdy odbiornik znajduje się w pobliżu nadajnika. Co więcej, niedługo po pojawieniu się pierwszych urządzeń zgodnych z Wi-Fi 802.11n, wielu producentów zaczęło tworzyć wyposażać tańsze odmiany swoich produktów w zubożoną wersję standardu, obsługującą jedynie 1 strumień danych. Zaczęło je określać mianami takimi jak np.: „Wi-Fi 802.11n lite” lub „Wi-Fi n150”. W praktyce były one istotnie tańsze w budowie (jedna antena, mniejsze wymagania odnośnie szybkości przetwarzania danych), a uzyskiwana szybkość transmisji kształtowała się na poziomie 40 Mb/s, przy czym producenci mogli chwalić swoje produkty umieszczając na nich logo wciąż wtedy nowego standardu 802.11n. Pojawiały się też modele jednozakresowe, wspierające tylko i wyłącznie częstotliwość 2,4 GHz, znacznie bardziej „zatłoczoną” niż pasmo 5 GHz. Wiele z tych urządzeń wciąż funkcjonuje i dlatego, trzeba je brać pod uwagę przy implementowaniu obsługi Wi-Fi w nowych projektach.

W momencie, gdy prace nad standardem IEEE802.11n zostały zakończone, został on opublikowany w wersji rozbudowanej o 32 trybów transmisji (tabela 1), z uwzględnieniem komunikacji za pomocą trzech a nawet czterech równoległych strumieni danych, co ma teoretycznie skutkować maksymalną przepustowością na poziomie 600 Mb/s. Trzeba mieć jednak na uwadze fakt, że obecnie bardzo niewiele urządzeń jest wyposażonych w więcej niż dwie anteny i umożliwia

pracę w tzw. standardzie „n450”, a urządzeń „n600” praktycznie się nie spotyka. Rzeczywista przepustowość tego typu urządzeń dochodzi do około 120-140 Mb/s, ale najczęściej nie przekracza 70 Mb/s, pomijając już fakt, że nierzadko przesył danych w kierunku od urządzenia końcowego do routera lub transfer na kilkukilometrową odległość poprzez ścianę jest kilkukrotnie wolniejszy.

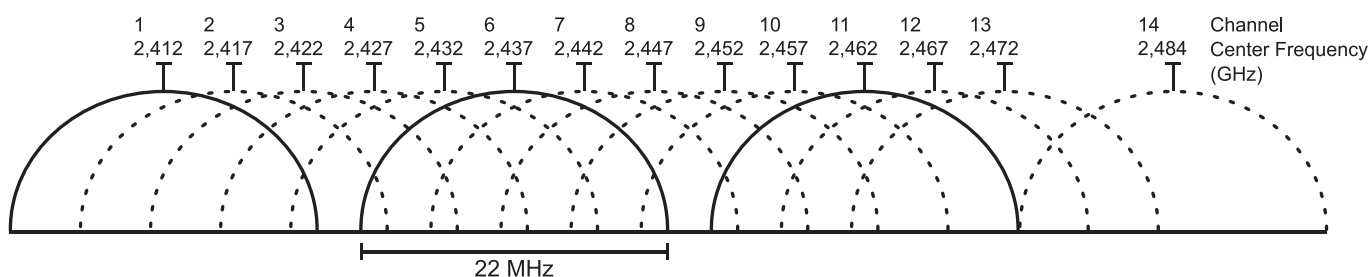
Obecnie na rynku pojawiają się urządzenia zgodne z najnowszą odsłoną standardu Wi-Fi: IEEE802.11ac. Narzuca on obsługę szerokich, 80-megahercowych kanałów i wprowadza opcję bardzo szerokich, bo aż 160-megahercowych kanałów. Opisuje też komunikację za pomocą aż 8 jednocześnie transmitowanych strumieni, oraz zwiększa złożoność modulacji do 256-QAM. Dostępne tryby transmisji w standardzie IEEE802.11ac dla pojedynczego strumienia zostały zebrane w tabeli 2. Szybkość transmisji uzyskiwanej przy użyciu wielokrotnych strumieni odpowiada odpowiednio zwielokrotnionym przepustowościom podanym w tabeli. W momencie powstawania tego artykułu, na rynku można było znaleźć co najwyżej modele wspierające modulację 256-QAM z kodowaniem 5/6 i obsługą 80-megahercowych kanałów przy 3 strumieniach transmisji, czyli teoretycznie zdolne do uzyskania przepustowości na poziomie 1300 Mb/s. Najbardziej zaawansowane urządzenia mobilne, takie jak telefony komórkowe (Samsung Galaxy S4, HTC One, czy najnowszy Samsung Galaxy Round) też są wyposażone w układy do komunikacji zgodnie ze standardem 802.11ac, ale mają tylko pojedyncze anteny

i mogą teoretycznie obsłużyć przepustowość do 433 Mb/s. Praktyka pokazuje, że w rzeczywistości nie przekracza ona stukilkudziesięciu megabitów na sekundę.

Wi-Fi – dodatkowe uwagi

Projektując urządzenie wyposażone w obsługę Wi-Fi, warto zadbać o kilka szczegółów. Przede wszystkim należy wziąć pod uwagę, jakie urządzenia będą łączyły się w tym projektowanym. Jeśli będzie ono współpracować w ramach zamkniętej sieci, możliwe jest ograniczenie się jedynie do obsługi jedynie wybranych standardów, a nawet programowe ograniczenie dostępnych trybów pracy. Pozwala to nieco zoptymalizować szybkość transmisji. Jeśli do urządzenia będą podłączane inne, komercyjne produkty, warto pokusić się o obsługę IEEE802.11 w wersji „g” i „n”, a pozostałe potraktować jako opcjonalne. Jeśli urządzenie będzie podłączało się do innych routerów, wtedy również warto sięgnąć po moduły obsługujące IEEE802.11n i wspierające 802.11g. Obsługa 802.11ac, ze względu na zwiększone koszty, na razie wydaje się nie być warta implementacji, chyba że w projekcie bardzo ważne jest uzyskanie maksymalnej wydajności transmisji.

W końcu, w przypadku gdy projektowane urządzenia będą komunikować się tylko i wyłącznie między sobą (np. bezpośrednio, w trybie sieci „ad hoc”), można swobodnie ograniczyć grupę obsługiwanych trybów sieci do minimum. Trzeba jednak pamiętać, że w niektórych sytuacjach warto przewidzieć alternatywne tryby komunikacji, które będą mogły być użyte, gdy podstawowe nie będą



Rysunek 2. Rozkład kanałów Wi-Fi w paśmie 2,4 GHz

się sprawdzać. Świetnym przykładem jest scenariusz, w którym na wybranych kanałach panuje duży szum i trudno jest skutecznie się komunikować za ich pomocą. Wtedy urządzenie powinno przejść na inne kanały (albo nawet na zupełnie inne pasmo częstotliwości) lub ograniczyć szybkość transmisji poprzez zwężenie szerokości stosowanego kanału lub zwiększenie opóźnień pomiędzy symbolami, czy też zastosowanie prostszej modulacji. Dużym problemem może okazać się właśnie dostępność wolnych kanałów, które mogą być zajęte przez inne urządzenia. W paśmie 2,4 GHz zdefiniowano 14 kanałów o szerokości 22 MHz, rozmieszczonych co 5 MHz (częstotliwość środkowa kanału 14. jest odsunięta od częstotliwości środkowej kanału 13. wyjątkowo o 12 MHz), co oznacza, że można korzystać tylko z 4 z nich jednocześnie, jeśli nie mają się zakłócać (rysunek 2). Na dodatek, w niektórych państwach istnieją dodatkowe ograniczenia odnośnie stosowania tych kanałów. Użycie dwukrotnie szerszych kanałów (co jest możliwe już w IEEE802.11n), zmniejsza tę liczbę do 2.

Liczba kanałów dostępnych w paśmie 5 GHz jest znacznie większa i są one rozmieszczone najczęściej co 20 MHz, przy czym istnieje bardzo wiele różnych regionalnych ograniczeń co do zasad ich używania. Niemniej, można przyjmować, że ich liczba przekracza 15, ale i tak dla najszybszych trybów transmisji, stosowanych w IEEE802.11ac, może się szybko okazać, że to zdecydowanie za mało, by jednocześnie, w tej samej przestrzeni, komunikowało się ze sobą wiele urządzeń.

Istotne będzie też odpowiednie zabezpieczenie sieci. Obecnie, powszechnie stosowanym i uważanym za względnie bezpieczny jest standard WPA2 z szyfrowaniem AES. Jego implementacja zwiększa wymagania odnośnie mocy obliczeniowej urządzenia i może nieznacznie spowolnić transmisję. Ponadto, jeśli projektowane urządzenie ma być przeznaczone dla nieprofesjonalnych użytkowników, warto zaimplementować obsługę funkcji WEP, która ułatwia zestawianie połączeń. Jej użycie sprawia, że użytkownik musi jedynie w odpowiednim momencie nacisnąć przycisk na obudowie routera i na podłączanym urządzeniu (może to być

przycisk programowy), by urządzenia same wymieniły zestawili bezpieczne połączenie.

Bluetooth

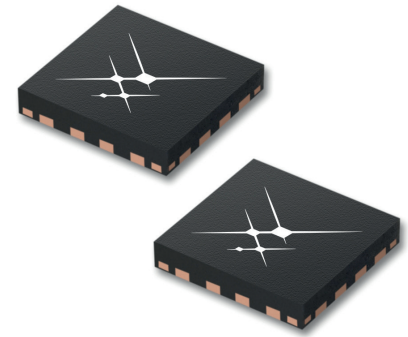
Standard ten będzie przydatny wszędzie tam, gdzie konieczne jest nie tyle stworzenie całej sieci, ale jedynie przesłanie, od czasu do czasu, niewielkich ilości informacji na niedużą odległość. Sprawdza się on świetnie w urządzeniach takich, jak zestawy słuchawkowe i proste gadżety elektroniczne, czego dobrym przykładem mogą być inteligentne zegarki, takie jak Samsung Galxy Gear. Dawne wersje Bluetootha, a szczególnie 1.x, miały bardzo ograniczoną szybkość transmisji, a do tego pobierały względnie dużo energii. W efekcie, trudno było z ich użyciem stworzyć bardzo innowacyjne i użyteczne produkty. W wersji 2.0 zwiększono maksymalną przepustowość do 2,1 Mb/s, po czym zdefiniowano rozszerzenie EDR (Enhanced Data Rate), które kosztem maksymalnego dystansu, zwiększyło dostępną przepustowość do 3,1 Mb/s. Faktyczną rewolucję w szybkości transmisji przyniosły dopiero wersje 3.0 i 3.1 z funkcją High Speed, co teoretycznie pozwala uzyskać nawet 40 Mb/s. Tymczasem w rzeczywistości znacznie ciekawszą nowość wprowadza Bluetooth 4.0 z funkcją Low Energy, która zdecydowanie pozwala zmniejszyć ilość zużywanej energii. Jest to o tyle znacząca zmiana, że pozwala tworzyć energooszczędne urządzenia pracujące na zasilaniu bateryjnym przez wiele lat i np. przesyłające od czasu do czasu zgromadzone dane.

Specyfiką Bluetootha jest to, że aby móc obsłużyć konkretne funkcje, konieczne jest zaimplementowanie odpowiednich profili BT, które opisują, jak ma być prowadzona wymiana danych w ramach danej funkcji. Początkowo zdefiniowano 13 profili, ale wymogi rynku sprawiły, że począwszy od wersji Bluetooth 2.0 wprowadzono 13 kolejnych. Niemniej w praktyce wciąż najczęściej stosuje się niektóre z pierwotnej listy.

Jeśli natomiast projektowane urządzenie będzie obsługiwało zarówno Wi-Fi, jak i Bluetooth, warto sięgnąć po zintegrowane układy, które pozwalają na użycie obu tych standardów, bez potrzeby stosowania dodatkowych scalaków.

ZigBee

Standard ZigBee nigdy nie odniósł takiego sukcesu, jak Wi-Fi, czy Bluetooth, mimo że z założenia miał mieć zalety obu tych technologii, a do tego być bardziej niezawodny i energooszczędny. Pracuje on w oparciu o założenia standardu IEEE802.15.4. Może obsługiwać różne topologie sieciowe, z czego najciekawszą jest topologia kraty. Urządzenia połączone w ten sposób retransmitują otrzymane dane, dzięki czemu nie ma potrzeby stosowania pojedynczych, centralnych węzłów, które pośredniczyłyby w komunikacji i od których



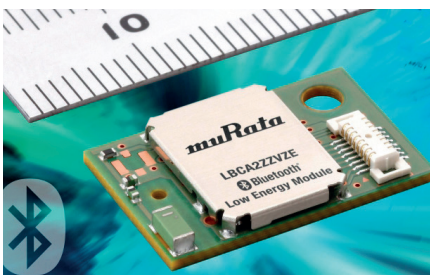
Zintegrowane układy Skyworks SKY85302-11 z obsługą sieci IEEE 802.11ac

działania zależałyby sprawność całej sieci. Co więcej, komunikacja ZigBee jest szyfrowana z użyciem 128-bitowego klucza i pomyślana z założeniem, że stosujące ją urządzenia będą wzbudzały się niemal tylko na czas transmisji. W efekcie stworzono standard, który pozwala na tworzenie bardzo energooszczędnej instalacji, stosowanej np. w rozległych sieciach czujnikowych. Zminimalizowano też czas potrzebny na wybudzenie urządzenia – wynosi on około 30 ms, czyli nawet 100 razy mniej, niż w przypadku klasycznego Bluetootha.

Z czasem powstały nowsze wersje standardu ZigBee oraz standard ZigBee Pro, z których część wprowadza pewne ograniczenia względem kompatybilności z innymi wersjami. Powstało też kilkanaście profili ZigBee, przypominających profile Bluetooth, ale skoncentrowanych na aplikacjach typowych dla automatyki budynkowej i sieci czujnikowych. Dużym problemem natomiast okazała się licencja, na której oferowana jest specyfikacja ZigBee. Pomimo, że dla celów niekomercyjnych specyfikacja jest dostępna bezpłatnie, w przypadku zastosowań komercyjnych konieczna jest przynależność do organizacji ZigBee Alliance, która wiąże się z opłatami. To natomiast sprzeczne jest z założeniami licencji GPL, w związku z czym włączanie obsługi ZigBee do bibliotek oferowanych bezpłatnie w ramach licencji GPL stało się niemożliwe.

Wydaje się, że powyższe ograniczenie sprawiło, że ZigBee nie przyjęło się w urządzeniach konsumenckich, a rozwinęło w zastosowaniach przemysłowych, w których znacznie częściej klienci decydują się na używanie konkretnego zestawu rozwiązań. Przyszłość ZigBee w automatyce budynkowej jest jednak niepewna, gdyż najnowsza wersja standardu Bluetooth również umożliwia osiągnięcie minimalnego zużycia energii, a jednocześnie jest znacznie bardziej rozpowszechniona. Tam, gdzie bezwzględna niezawodność nie jest tak istotna, jak w przemyśle, rozwiązania oparte o Bluetooth 4.0 + LE wydają się móc wyprzeć z rynku ZigBee w najbliższych latach.

Marcin Karbowniczek, EP



Układ Murata LBCA2ZZVZE z obsługą Bluetooth 4.0+LE