

25 lat minęło...

Ewolucja standardów cyfrowej komunikacji bezprzewodowej

25 lat temu, gdy powstawała Elektronika Praktyczna, naziemnych interfejsów radiowych jako sposobów wymiany cyfrowych danych pomiędzy komputerami i innymi urządzeniami właściwie nikt nie brał na poważnie. Obecnie coraz częściej spotykamy się z sytuacją odwrotną, gdzie zaprojektowanie urządzenia wymagającego kabli do transmisji danych wydaje się niepoważnym podejściem. W artykule sięgamy wstecz, starając się wyjaśnić, jak znaleźliśmy się w tej bezprzewodowej rzeczywistości, którą trudno sobie wyobrazić bez takich interfejsów jak Wi-Fi i Bluetooth.

W 1993 roku, gdy publikowaliśmy pierwszy numer Elektroniki Praktycznej, rynek komputerów osobistych już rozkwitał (w Polsce może nieco się to opóźniło), a w co większych firmach i placówkach akademickich instalowano sieci komputerowe. Montaż sieci lokalnej wiązał się wtedy z wieloma trudnościami. Jedynym stosowanym w praktyce medium były grube kable koncentryczne, którymi można było łączyć komputery tylko w topologii magistrali. Każdy komputer był przyłączany przez trójnik, a na końcu przewodów trzeba było montować terminatory. Z czasem zamiast grubego kabla zaczęto stosowanie cieńszego koncentryka, nieco ułatwiającego wyginanie, ale wygoda prowadzenia instalacji wzrosła dopiero z nadejściem sieci opartych na skrętce.

Łatwość układania skrętki sprawiała, że cieszyła się większą popularnością niż kable koncentryczne, mimo że jest to medium o gorszych parametrach transmisji sygnału. Dlatego w drugiej połowie lat 90, w trakcie szybkiego wzrostu mocy obliczeniowej komputerów i rosnącej popularności sieci komputerowych, szybkość transmisji LAN nie zaspokajała potrzeb wielu użytkowników. Nadziejano z urządzeniami zgodnymi ze standardem IEEE 802.3u, czyli z tzw. Fast Ethernetem, który pozwalał na transmisję z szybkością do 100 Mb/s. I gdy w okolicach 2000 roku na rynku pojawiły się niedrogie, ale sprawnie działające karty sieciowe tego typu, potrzeby komunikacyjne wielu użytkowników komputerów zostały zaspokojone.

Idea WLANu

W tym kontekście pomysły przeniesienia komunikacji sieciowej na „grunt” fal radiowych wydawały się dosyć karkołomne. Ówczesna elektronika miała problemy z wydajną pracą na gorszej jakości skrętce,



a co dopiero z transmisją dużych ilości danych drogą radiową. Niemniej w umysłach inżynierów z tamtej epoki pojawiały się pomysły, jak zrezygnować z kabli i powstawała wizja przyszłości, w której nie są one potrzebne. Tak narodził się standard IEEE 802.11 (a dokładniej IEEE 802.11b), czyli tzw. Wi-Fi. Skrót ten bywa czasem rozwijany jako „Wireless Fidelity”, ale nie jest to tak naprawdę oficjalna nazwa. Niemniej, w momencie, gdy organizacja inżynierów IEEE przygotowała specyfikację standardu, grupa producentów urządzeń sieciowych podjęła inicjatywę celem stworzenia oddzielnej organizacji, która będzie nadzorować certyfikację urządzeń pod kątem zgodności z nowymi standardami radiowej komunikacji w sieciach lokalnych. Tak powstało Wi-Fi Alliance (początkowo znane jako WECA – Wireless Ethernet Compatibility Alliance), do którego grona założycieli należały firmy 3Com, Aironet, Harris Semiconductor, Lucent, Nokia i Symbol Technologies. Większość z tych firm została od tego czasu przejęta i działa pod innymi markami, ale Wi-Fi Alliance nadal funkcjonuje.

802.11b – czyli początki

Standard IEEE 802.11b, czyli pierwsza popularna wersja radiowej sieci LAN stanowiła alternatywę dla przewodowego Ethernetu 100Base-TX, który oparty na skrętce (np. kategorii 5e) pozwalał na uzyskiwanie realnych transferów na poziomie 100 Mb/s. Tymczasem teoretyczna maksymalna szybkość transmisji w IEEE 802.11b wynosiła 11 Mb/s, przy czym było praktycznie niemożliwe uzyskanie jej w rzeczywistości. Tzw. Wi-Fi w wersji b korzystało jedynie z częstotliwości 2,4 GHz i modulacji DSSS. Jednocześnie pojawiły się też urządzenia w wersji a, która pracowała na częstotliwości 5 GHz, ale praktycznie nie zdobyła popularności poza niektórymi specyficznymi zastosowaniami.



802.11g – czyli pierwsza popularność

Po 4 latach, gdy w Ethernetie przewodowym wciąż dominowały sieci 100-megabitowe, technologia Wi-Fi została rozwinięta i wprowadzono standard IEEE 802.11g, który był kompatybilny wstecz z 802.11b, ale pozwalał już na transfer z szybkością do 54 Mb/s. Wi-Fi g stosowało modulację OFDM, a rzeczywiste szybkości transmisji wynosiły kilkanaście Mb/s, dzięki czemu w praktyce pozwalały tworzyć już jedynie ok. 8-krotnie wolniejszą sieć, niż popularny wtedy Ethernet przewodowy. Pojawienie się tego standardu przypadało również na moment popularyzacji Internetu i komputerów przenośnych, a uzyskiwana szybkość transmisji Wi-Fi w praktyce zaspokajała potrzeby użytkowników laptopów, którzy chcieli być podłączeni do Internetu. Dlatego był to pierwszy ze standardów Wi-Fi, który rzeczywiście zagościł w domach (i firmach) na całym Świecie.

802.11n – czyli koniec kompromisów

Na kolejną wersję Wi-Fi trzeba było poczekać nieco dłużej, bo specyfikacja IEEE 802.11n została opublikowana dopiero w 2009 roku, ale wprowadzała na tyle wiele nowości i udało się ją całkiem dobrze dopracować, w związku z czym odniosła bardzo duży sukces i pomimo że ma już prawie 10 lat oraz powstało wiele nowszych wersji Wi-Fi, w sklepach nadal można kupić routery zgodne właśnie z tą odmianą standardu.

IEEE 802.11n zaczęło być wprowadzane najpierw w bardziej zaawansowanej wersji, która teoretycznie umożliwiała transfer do 300 Mb/s. Wymagało to zastosowania technologii MIMO, tj. przesyłania danych równoległe dwoma strumieniami, odmiennie rozłożonymi w przestrzeni. Oczywiście w praktyce taka przepustowość nie była realna, ale w dobrych routerach i przy bardzo dobrych warunkach można było uzyskać transfery na poziomie nawet 100 Mb/s, czyli porównywalnym z tym, co w najbardziej popularnym Ethernetie przewodowym. Specyfikacja Wi-Fi n zwiększała też maksymalny zasięg transmisji, dzięki czemu komunikacja radiowa w sieci lokalnej stała się bardziej niezawodna. Jednakże ponieważ implementacja MIMO wiązała się z dodatkowymi kosztami (z uwagi na konieczność wbudowania dodatkowych anten), producenci którzy chcieli tworzyć urządzenia zgodne z Wi-Fi 802.11n, ale przeznaczone dla mniej zamożnych klientów, zaczęli masowo opracowywać rozwiązania bez wsparcia dla MIMO, które teoretycznie pozwalały na transmisję do 150 Mb/s. Powszechność tego typu produktów sprawiła, że rozwiązania te zaczęto nazywać mianem Wi-Fi n-lite lub Wi-Fi n150. Drugą oszczędnością, na którą często się decydowano była obsługa jedynie pasma 2,4 GHz, podczas gdy standard IEEE 802.11n opisywał pracę również w znacznie mniej zatłoczonym paśmie 5 GHz. W teorii urządzenia wspierające pełne 4-sięciżkowe MIMO, zgodnie z IEEE 802.11n mogły komunikować się z szybkością do 600 Mb/s, ale w praktyce różnice pomiędzy modelami 300 Mb/s a 600 Mb/s były nieznaczne. Ponadto urządzenia wspierające początkowe MIMO w 802.11n zaczęły być dostarczane właściwie dopiero wtedy, gdy na rynku znaleźć można był sprzęt zgodny z nowszą generacją Wi-Fi.

Standard IEEE 802.11n pojawił się w momencie, gdy producenci elektroniki zorientowali się już, że przyszłość komunikacji w rozwiązaniach konsumenckich będzie bezprzewodowa – dlatego też był długo oczekiwany. Gdy był publikowany, na rynku istniało już całkiem dużo telefonów komórkowych ze wsparciem dla Wi-Fi, a dostawcy Internetu na całym Świecie mieli w swoich standardowych ofertach modemy z wbudowanymi routerami lub punktami dostępowymi Wi-Fi. To mniej więcej wtedy

też zaczęły popularyzować się moduły radiowe do komunikacji Wi-Fi, które z coraz większą łatwością można było integrować we własnych, nawet niewielkich projektach.

802.11ac i 802.11ax, czyli stopniowa ewolucja

Dalsza ewolucja Wi-Fi przebiegała już szybko, choć praktyczne różnice pomiędzy poszczególnymi, nowszymi generacjami tego standardu nie mają już tak istotnego znaczenia dla użytkowników. Stopniowo spopularyzował się IEEE 802.11ac, który poprzez zastosowanie nawet 160-megahercowych kanałów i 8-krotnego MIMO teoretycznie pozwala na transfery do niemal 3,5 Gb/s, ale nie są to realne wartości do uzyskania w warunkach rzeczywistych i nadal – tania i łatwo dostępna obecnie, gigabitowa sieć przewodowa, daje sprawniejszą komunikację. Rozpoczęły się również prace nad przeniesieniem transmisji na wyższe częstotliwości – do 60 GHz, ale jak dotąd idee te nie zdobyły popularności. Kolejnym krokiem, który ma szansę odnieść sukces jest wersja IEEE 802.11ax, o teoretycznej przepustowości przekraczającej 10 Gb/s, ale formalnie specyfikacja tego standardu nie została jeszcze zatwierdzona. Nie przeszkadza to jednak niektórym producentom elektroniki konsumenckiej na wprowadzanie na rynek nowych routerów, wstępnie zgodnych z IEEE 802.11ax. Podobnie zresztą było z Wi-Fi n i Wi-Fi ac, gdyż podstawowa charakterystyka standardu zazwyczaj nie zmienia się na długo przed jego finalnym zatwierdzeniem.

Obecnie wsparcie dla Wi-Fi jest oczywistym oczekiwaniem użytkowników dowolnego przenośnego urządzenia elektronicznego, za wyjątkiem tych najmniejszych produktów. Dlatego producenci podzespołów przygotowali szereg komponentów – zarówno sprzętowych, jak i programowych, które ułatwiają implementację obsługi Wi-Fi.

Bezprzewodowy RS-232

W czasie gdy Wi-Fi stawało się alternatywą dla sieci lokalnych (LAN), równoległe prowadzono prace nad bezprzewodowymi sieciami osobistymi (PAN). I o ile rynek ten został zdominowany przez standard Bluetooth, początkowo koncepcja sieci osobistej nie była sprecyzowana, a pierwowzór idei wykorzystanych z interfejsie Bluetooth sięga czasów jeszcze z przed powstania Elektroniki Praktycznej.

Pod koniec lat 80. ubiegłego wieku zaczęły się pojawiać pomysły, by spróbować zastąpić bardzo popularny wówczas interfejs RS-232 łączem bezprzewodowym. Interfejs RS-232 był wykorzystywany do łączenia ze sobą urządzeń, przy czym nie w celu tworzenia sieci, ale komunikacji 1-do-1. Co ważne, stosowany protokół przewodowy zakładał podział na rolę kontrolera (master) i urządzenia podrzędnego (slave) i podobną ideę chciano wdrożyć w ramach interfejsu radiowego. Ponieważ główni inicjatorzy tego pomysłu pracowali w firmie Ericsson, najbardziej interesowało ich zastosowanie łącza bezprzewodowego do realizacji zestawu słuchawkowego, który ułatwiłby posługiwanie się telefonem. Prace nad tymi rozwiązaniami trwały w latach 90., ale ze względu na słabe parametry ówczesnych układów radiowych, szanse na przygotowanie sensownych urządzeń, które mogłyby zyskać popularność pojawiły się dopiero w ostatnich latach ubiegłego wieku. Wtedy też nadszedł moment by nowy standard jakoś nazwać i padło na nazwę „Bluetooth” – angielszczyzny przydomek skandynawskiego króla, który zjednoczył duńskie plemiona w jedno królestwo. Na tej samej zasadzie Bluetooth miał zjednoczyć komputery osobiste z coraz bardziej popularnymi telefonami komórkowymi różnych marek i umożliwić im bezprzewodową wymianę danych.

25 lat minęło...



Specyfika Bluetooth

Dosyć szybko okazało się, że tak jak protokół RS-232 był wykorzystywany do łączenia bardzo różnych urządzeń z komputerem, tak i Bluetooth może pełnić podobną rolę. W praktyce miał kilkumetrowy zasięg, czyli teoretycznie był w stanie przesyłać dane pomiędzy dowolnymi, znajdującymi się blisko siebie urządzeniami, które nie wymagały dużej przepustowości. Szybko wymyślono, że można go implementować nie tylko w zestawach słuchawkowych i telefonach komórkowych, ale też klawiaturach, myszkach, pilotach do urządzeń elektronicznych i głośnikach bezprzewodowych. Mógł też, podobnie jak RS-232, służyć do zapewniania połączenia z modemem, a więc dostępu do Internetu.

Twórcy Bluetootha postanowili że nie będzie to protokół uniwersalny, w którym każde urządzenie będzie mogło swobodnie wymieniać dowolne rodzaje danych. Zamiast tego opracowali szereg tzw. profili, których obsługę można zaimplementować w urządzeniu. Oznacza to, że nie każde urządzenie w standardzie Bluetooth 1.0 będzie w stanie się komunikować z dowolnym innym urządzeniem zgodnym z tym samym standardem. Wszystko będzie zależało od zaimplementowanych w nich profili.

To podejście sprawiło, że Bluetooth nie zyskiwał na popularności tak szybko jak Wi-Fi. Ponadto cechował się bardzo niską przepustowością, a jednocześnie – choć został zaplanowany z myślą o niewielkich urządzeniach, pobierał dosyć dużo prądu. Urządzenia, które w praktyce nie wymagały przenoszenia, jak np. klawiatury wyposażone w Bluetooth, przez wiele lat w ogóle nie budziły zainteresowania klientów, gdyż wymagały częstej wymiany baterii, a korzyść z zastosowania w nich komunikacji bezprzewodowej była znikoma. Protokół ten najbardziej sprawdzał się właśnie do łączenia zestawów słuchawkowych do telefonów komórkowych.

Kolejne generacje Bluetooth

Problemy Bluetootha przez wiele lat ograniczały jego faktyczny rozwój. Standard nad którym pięć trzyma organizacja Bluetooth Special Interest Group ewoluował poprzez wersje 1.0, 1.2, 2.0, 2.1, 3.0, 4.0, 4.1 i 4.2, a obecnie dostępna jest już wersja 5. W wersji 2.0 zlikwidowano poważny problem interferencji radiowych dzięki zastosowaniu techniki przeskakiwania pomiędzy kanałami oraz wprowadzono zabezpieczenia przed niepożądanym odczytywaniem przesyłanych danych i śledzeniem. Wcześniej kwestie bezpieczeństwa były praktycznie zupełnie zignorowane. Bluetooth 2.0 wprowadzał również usprawnienia względem wersji 1.2 poprzez zwiększenie szybkości połączenia oraz zmniejszenie poboru mocy. Dzięki rozszerzeniu EDR przepustowość

dostępna dla użytecznych danych wzrosła do 2,1 Mb/s. Wersja 2.1, opublikowana w 2007 roku, jeszcze bardziej zwiększyła bezpieczeństwo transmisji, dalej redukując przy tym pobór mocy oraz dodatkowo umożliwiła łatwiejsze parowanie ze sobą urządzeń, bez potrzeby stosowania jakiegokolwiek kodu PIN. W 2009 roku pojawił się standard Bluetooth 3.0, który wprowadził możliwość łączności z udziałem Wi-Fi, zapewniając przy tym większą przepustowość transmisji danych. W przypadku zastosowania tej metody, protokół Bluetooth służy tylko do negocjacji i automatycznego nawiązania połączenia, a transmisja z teoretyczną szybkością do 24 Mb/s prowadzona jest przez łącze Wi-Fi. Jednakże niezbyt wiele urządzeń faktycznie korzystało z tej funkcji.

Bluetooth Low Energy

I choć wraz z wersją 3.0 wprowadzono wiele ambitnych zmian, tym co sprawiło że Bluetooth zapewnił sobie bezpieczną pozycję na rynku komunikacji bezprzewodowej było wprowadzenie wersji 4.0, a przede wszystkim jej rozszerzenia Low Energy. Bluetooth Low Energy, nazywany później także mianem Bluetooth Smart (dla odróżnienia od Bluetooth Classic) zrywa z zaszłościami z początków tego interfejsu i sięga po pomysły, jakie mieli twórcy konkurencyjnego rozwiązania – interfejsu Wibree, który w rzeczywistości nigdy się nie przyjął.

Bluetooth 4.0 LE rozwiązał dwa podstawowe problemy, z jakimi mierzyli się użytkownicy tego interfejsu i jakie sprawiały że inżynierowie często zwyczajnie rezygnowali z jego implementacji albo szukali alternatyw takich jak np. ZigBee czy ANT. Przede wszystkim znacząco zmniejszono pobór prądu poprzez ograniczenie konieczności podtrzymywania połączenia, a dodatkowo zlikwidowano konieczność ciągłego parowania ze sobą połączonych już raz urządzeń. To sprawiło, że Bluetooth zaczął się nagle nadawać do zastosowania we wszelkiego rodzaju urządzeniach, które komunikują się jedynie raz na jakiś czas, przysyłając małe porcje informacji. Jest to bowiem zupełnie inny sposób pracy niż w przypadku zestawów słuchawkowych, które gdy są włączone, non stop przysyłają i odbierają ciągłe strumienie danych.

To właśnie Bluetooth 4.0 LE sprawiło, że producentom urządzeń elektronicznych przestało się opłacać tworzyć własnościowe technologie komunikacji i szukać alternatyw. Dopiero ta wersja interfejsu faktycznie zjednoczyła ze sobą wiele urządzeń, które wciąż muszą implementować obsługę profili, ale obecnie odbywa się to na znacznie prostszej zasadzie, w której w jednolity sposób poszczególne urządzenia Bluetooth deklarują świadczone przez siebie usługi. W efekcie, krokami nowej generacji będzie w stanie komunikować się nie tylko z opaską tego samego producenta, ale z dowolną, która wspiera Bluetooth 4.0 LE lub nowszy.

Gwoli wyjaśnienia warto dodać, że na rynku funkcjonuje jeszcze określenie Bluetooth Smart Ready, które obejmuje urządzenia najbardziej uniwersalne, a więc te, które potrafią się komunikować zarówno np. z zestawami słuchawkowymi, pracującymi zgodnie z Bluetooth Classic, jak i z sensorami Bluetooth Smart.

Specyfikacja Bluetooth 4.0 pojawiła się w połowie 2010 roku i była stopniowo uaktualniana. W 2013 roku wypuszczono standard Bluetooth 4.1, który obejmował liczne zmiany programowe w protokole, ale żadne z nich nie były rewolucyjne. Najważniejsze z nich to ograniczenie interferencji z sieciami komórkowymi 4G, automatyczne włączanie i wyłączenie urządzeń oraz umożliwienie jednoczesnej pracy w trybie koncentratorów sieciowych i urządzeń peryferyjnych. W efekcie Bluetooth coraz bardziej można było nazywać protokołem sieciowym.



Tabela 1. Wybrane odmiany i parametry standardu IEEE 802.11

	Rok publikacji	Częstotliwość pracy	Maksymalna szerokość kanału	Liczba strumieni MIMO	Modulacja	Teoretyczna maksymalna przepustowość	Teoretyczny zasięg w budynkach	Teoretyczny zasięg w otwartej przestrzeni
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	0	OFDM	54 Mb/s	35 m	120 m
802.11b	1999	2,4 GHz	22 MHz	0	DSSS	11 Mb/s	35 m	140 m
802.11g	2003	2,4 GHz	20 MHz	0	OFDM	54 Mb/s	38 m	140 m
802.11n	2009	2,4 GHz/5 GHz	40 MHz	4	MIMO-OFDM	600 Mb/s	70 m	250 m
802.11ac	2013	5 GHz	160 MHz	8	MIMO-OFDM	3466,8 MB/s	35 m	b.d.
802.11ax	*2018	2,4 GHz/5 GHz	160 MHz	8	MIMO-OFDM	10530 Mb/s	b.d.	b.d.
802.11ah	2016	0,9 GHz	16 MHz	4	MIMO-OFDM	347 Mb/s	b.d.	b.d.

Bluetooth dla IoT

Nieco większe zmiany, z punktu widzenia obecnych zastosowań, pojawiły się w wersji 4.2, którą opracowano pod kątem Internetu Rzeczy i opublikowano w 2014 roku. Wprowadzono mechanizmy ułatwiające komunikację urządzeń bluetoothowych z Internetem, zwiększono 10-krotnie dopuszczalną wielkość pakietów, a przy okazji 2,5-krotnie zwiększono maksymalną szybkość transmisji.

W końcu, dwa lata temu pojawił się standard Bluetooth 5.0, który coraz częściej można znaleźć w dostępnych na rynku modułach i układach sieciowych. Oprócz kolejnego zwiększenia przepustowości, powiększenia transferu i zmniejszenia opóźnień w transmisji, zaimplementowano obsługę sieci o topologii kraty. Tym samym zaimplementowano chyba ostatnią z funkcji, która mogła przekonywać część projektantów do sięgania po standard ZigBee. Obsługa sieci o topologii kraty (czasem nazywanej angielskim wyrazem „mesh”) sprawiła, że Bluetooth stał się tym samym bardzo zaawansowanym protokołem sieciowym. Pozwala to też na ogromne wydłużenie zasięgu komunikacji. Wdrożenie Bluetootha 5.0 w grupie urządzeń rozmieszczonej w miarę równomiernie na dużej przestrzeni umożliwia prowadzenie komunikacji pomiędzy dowolnymi z nich, nawet jeśli odległości pomiędzy nimi przekraczają maksymalny zasięg bezpośredniej transmisji punkt-punkt. Co więcej, dane nie muszą już przechodzić przez żaden centralny koncentrator, tylko mogą biec najkrótszymi ścieżkami pomiędzy dowolną parą urządzeń.

Przy okazji warto dodać, że zasięg transmisji nie tylko wzrósł, ale jeszcze może być indywidualnie konfigurowany. Projektant ma możliwość wyboru czy preferuje ograniczyć pobór mocy i tym samym zmniejszyć zasięg, czy też wydłużyć odległość transmisji, kosztem zwiększonego zużycia energii. To nie wszystko, bo na dopuszczalny dystans i pobieraną moc wpływ ma też przepustowość, którą w standardzie Bluetooth 5.0 również można manipulować.

Bezpośrednia konkurencja

Do momentu wprowadzenia standardu Bluetooth 5.0 można było z łatwością zakwalifikować standardy Wi-Fi jako sposoby realizacji sieci LAN, a Bluetooth jako sieci PAN. Bluetooth 5.0, choć nadal jest postrzegany bardziej jako standard sieci PAN, wyraźnie wkracza w obszar, w którym może konkurować z Wi-Fi. Mogłoby się wręcz wydawać, że w przypadku rozległych sieci IoT, dzięki wparciu topologii kraty oraz ze względu na bardzo mały pobór mocy, będzie po prostu lepszym wyborem niż dowolny ze standardów Wi-Fi. Jednakże organizacja Wi-Fi Alliance także dostrzegła potencjał Internetu Rzeczy i w ramach rodziny standardów, jakimi się opiekuje, już jakiś czas temu rozpoczęła prace nad takimi ich odmianami, by jak najlepiej realizowały potrzeby IoT. Mowa przede wszystkim o IEEE 802.11ah (znanym także jako Wi-Fi HaLow), który w odróżnieniu od wcześniej opisanych, działa w paśmie poniżej 1 GHz. Dzięki specyfice fal radiowych o tej częstotliwości, nowe Wi-Fi jest w stanie przy bardzo

małym poborze energii komunikować się na dosyć dużą odległość. Ma przy tym bardzo istotną przewagę nad Bluetoothem – nie wymaga stosowania skomplikowanych bramek tłumaczących ruch internetowy. Do tego teoretycznie może przysyłać dane z szybkością do 347 Mb/s.

Standardy alternatywne

W ostatnich latach, wraz z rozwojem Internetu Rzeczy, rozwinęły się alternatywne standardy komunikacji bezprzewodowej. Za pracami nad nimi stoją najczęściej albo osoby, które w dotychczasowych rozwiązaniach widziały zbyt wiele wad, albo organizacje, które chcą uczynić jakiś rodzaj komunikacji radiowej wolnym od opłat licencyjnych za korzystanie z płatnego standardu. Trzecia grupa to firmy, które zainwestowały środki w popularyzację protokołu, w którego implementacji dominują na rynku. Oprócz Wi-Fi i Bluetootha i ich wszystkich odmian, pewną popularnością cieszy się wspomniany już ZigBee oraz otwarty 6LoWPAN, na którym bazuje kilka protokołów wymiany danych. Spotkać się można też z sieciami Z-Wave i LoRa lub LoRaWAN, a także z firmami, które oferują dostęp do kompletnej (płatnej lub bezpłatnej) bezprzewodowej infrastruktury sieciowej WAN. W efekcie można powiedzieć, że obecnie inżynier stający przed zadaniem implementacji obsługi komunikacji bezprzewodowej może wybierać nie tylko pomiędzy technologiami, ale i dostawcami usług lub infrastruktury. I o ile można się cieszyć z ogromnego wyboru różnorodnych sieci oraz niewielkiego kosztu wdrożenia najtańszych z rozwiązań, to trudno jest tworzyć urządzenia, które będą kompatybilne ze wszystkim co je otacza. W praktyce konieczne staje się wybranie jednego protokołu i przyjęcie, że to on będzie służył do transmisji danych, a możliwość wymiany informacji pomiędzy różnymi środowiskami będzie odbywać się w chmurze – a więc w ramach rozwiązań informatycznych. Tyle że oprócz wyboru protokołu warto się też zastanowić, czy nie będzie bardziej korzystne pozostawienie obsługi jednego lub dwóch dodatkowych metod bezprzewodowej komunikacji na potrzeby np. instalacji urządzenia lub aktualizacji jego oprogramowania. Coraz częściej gotowe moduły radiowe obsługują więcej niż jeden z protokołów, co ułatwia tworzenie takich rozwiązań. Można więc przykładowo oprócz codzienne działanie urządzenia o Bluetooth, ale dodatkowo obsłużyć w nim NFC do zapewnienia łatwej instalacji. Innym przykładem będzie praca w oparciu o Wi-Fi z możliwością konfiguracji sprzętu przez Bluetooth, za pomocą urządzenia mobilnego. Tak czy inaczej, mnogość i funkcje nowoczesnych interfejsów bezprzewodowych dają inżynierom-elektronikom ogromne pole do wykazania się kreatywnością. A na horyzoncie pojawiają się technologie transmisji bezprzewodowej oparte o światło widzialne.

Marcin Karbowniczek, EP

