



Sieci komórkowe w 2019 roku

W dobie Internetu Rzeczy komunikacja bezprzewodowa jest podstawą większości nowoczesnych urządzeń elektronicznych, tak w przemyśle, jak i w elektronice konsumenckiej. Sposobów realizacji tej komunikacji jest wiele, ale w ostatnim czasie na ustach wszystkich, bo nie tylko elektroników, pojawia się hasło „5G”. I choć jak to często bywa, szum w tym temacie jest nieco na wyrost, to technologie komórkowe, jakie już teraz trafiają do rąk elektroników, pozwalają na realizowanie zadań, które jeszcze do niedawna były nierealne lub nieopłacalne. W artykule opisujemy aktualnie stosowane technologie sieci komórkowych i prezentujemy stan ich wdrażania na świecie.

W czerwcowym numerze „Elektroniki Praktycznej” opisaliśmy wielkość technologii komunikacji radiowej, jakie można stosować w nowych urządzeniach. Pominęliśmy jednak jedną grupę rozwiązań, która istotnie różni się od pozostałych, choć różnice te nieco się już zacierają – sieci komórkowe.

Wśród obecnie popularnych sposobów komunikacji bezprzewodowej dla urządzeń IoT dominuje wykorzystanie dwóch rodzajów pasm

radiowych: sieci komórkowej oraz nielicencjonowanych pasm ISM (Industrial, Scientific, Medical). Pierwsza z opcji wymaga dostosowania aplikacji do standardów sieci obowiązujących w kraju, w którym urządzenie ma być użytkowane. Druga również podlega pewnym regionalnym ograniczeniom, ale większe znaczenie ma w tym przypadku wybór samego protokołu radiowego, z których poszczególne istotnie się od siebie różnią i które opisaliśmy miesiąc temu. Dawniej rozróżnienie polegało jeszcze na konieczności postawienia własnej infrastruktury (w przypadku komunikacji ISM na większą odległość) lub korzystania z gotowej (w sieciach komórkowych), ale wraz z pojawieniem się takich firm czy organizacji, jak Sigfox lub The Things Network, dostępność infrastruktury dostawcy sieci nie jest już oczywistym wyróżnikiem rozwiązań komórkowych. Tak czy inaczej, w tym miesiącu opowiadamy o technologiach komórkowych.

Kolejne generacje

Technologie związane z komunikacją bezprzewodową za pośrednictwem sieci komórkowych to bardzo szybko rozwijająca się dziedzina techniki. Oprócz nowych sposobów modulacji i metod koordynacji przesyłu pakietów danych lub komutowania połączeń głosowych, to właśnie osiągnięcia w dziedzinie elektroniki są motorem napędzającym ten segment telekomunikacji. Rezultaty tego postępu widzimy na co dzień w ofertach operatorów komórkowych, którzy

wprowadzają coraz nowsze, szybsze standardy przesyłu danych. Ten marketingowy pęd sprawił, że z technologiami komunikacji w sieciach komórkowych wiąże się szereg nieścisłości w nazewnictwie, które mogą być przyczyną nieporozumień. Szybki rozwój tych technik komunikacyjnych, powiązany ze złożonością rozwiązań stosowanych w sieciach komórkowych i różnorodnością standardów to główne przyczyny problemów z nomenklaturą. Podstawowy podział technologii wykorzystywanych do przesyłu danych w sieciach komórkowych opiera się na generacjach. Obecnie w Polsce funkcjonują jednocześnie sieci 2G, 3G i 4G, przy czym sieci drugiej i trzeciej generacji są stopniowo wycofywane.

Sama idea generacji sieci komórkowych nie odnosi się dokładnie do technik stosowanych do przesyłu danych lub dźwięku. Zamiast tego kolejne oznaczenia określają jedynie parametry użytkowe tych sieci. Parametry te można uzyskać za pomocą różnych standardów komunikacji, w efekcie czego, w różnych rejonach świata wybrano różne standardy jako podstawowe metody komunikacji w sieciach komórkowych. Przykładowo, o ile w Polsce jako standard trzeciej generacji implementowano UMTS, w USA był to CDMA2000. Różnice obejmują też pasma częstotliwości, w których prowadzona jest komunikacja w poszczególnych rejonach świata. W efekcie, pomimo że standard LTE zdominował komunikację sieci czwartej generacji na całym świecie, w poszczególnych regionach stosowane są różne częstotliwości pracy. Oznacza to, że aby zapewnić pełną przenośność projektowanego sprzętu, trzeba skorzystać z wielopasmowych modułów sieci komórkowych.

Początkowo problemem było też, że niektóre firmy nadużywają oznaczeń w celu wypromowania swoich produktów. Jeszcze kilka lat temu hasłem 4G określano sieci, które wcale wymogów 4G nie spełniały, ale dawało się w ten sposób przyciągnąć klientów. Teraz zaczynamy obserwować podobny trend w odniesieniu do hasła 5G. Co ciekawe, dotyczy to zarówno operatorów sieci, jak i producentów podzespołów. Poniżej opisujemy poszczególne generacje.

2G

Jeśli poszukujemy naprawdę taniego rozwiązania, a ilość przesyłanych przez nas danych nie będzie duża, możemy sięgnąć po modem 2G. Do technologii 2G należą m.in. GSM, standard przesyłu danych przez sieć komórkową – GPRS oraz EDGE (nazywane też EGPRS). Niekiedy GPRS i EDGE nazywane są technologiami 2,5G (a bywa, że EDGE nazywane jest też 2,75G), gdyż znacząco zwiększają szybkość transmisji danych w sieci, w porównaniu do klasycznego 2G. Technologia EDGE jest bardzo pomocna w sytuacji, gdy zasięg sieci 3G nie jest dostępny, a konieczny jest nieco szybszy przesył. Na szczęście, sieć 2G Edge jest dosyć powszechnie dostępna nawet w słabo zurbanizowanych regionach świata. Co ciekawe, jest ona wycofywana wolniej niż 3G, gdyż wcześniej wprowadzone technologie czwartej generacji są pod niemal każdym względem lepsze niż 3G. Natomiast jeśli zależy nam przede wszystkim na niskim poborze prądu i małej



2FF – Mini SIM
wysokość: 25 mm
szerokość: 15 mm
grubość: 0,76 mm



3FF – Micro SIM
wysokość: 15 mm
szerokość: 12 mm
grubość: 0,76 mm



4FF – Nano SIM
wysokość: 12,3 mm
szerokość: 8,8 mm
grubość: 0,67 mm



MFFw – M2M Form Factor (eSIM)
wysokość: 6 mm
szerokość: 5 mm
grubość: 0,67 mm

przepustowości na dużą odległość przy jak najmniejszych kosztach, to 2G wypada lepiej niż 3G i konkurencją dla drugiej generacji mogą być dopiero nowsze standardy 4G, takie jak Kat M i NB-IoT, które zaczęły być wdrażane jakieś 2 lata temu.

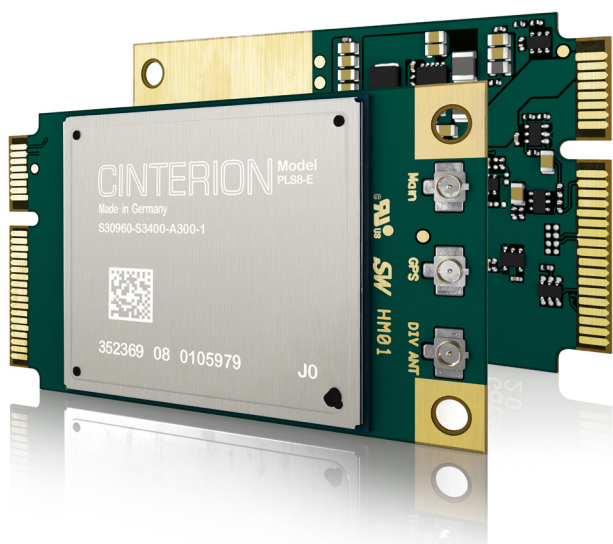
Czy to oznacza, że w rejonie, gdzie 4G nie jest jeszcze dostępne, a potrzebujemy tanich, niekoniecznie szybkich modułów, jesteśmy skazani na stare rozwiązania? Wcale nie! Producenci modułów rozumieją tę sytuację i co jakiś czas wprowadzają nowe produkty, które wciąż pracują jedynie z 2G, ale korzystają z nowych rdzeni, technologii wytwarzania i technik oszczędzania energii oraz wspierają bogatszy zestaw systemów pozycjonowania satelitarnego. Dzięki temu sięgnięcie po moduły do sieci komórkowych drugiej generacji wcale nie musi sprawiać, że tworzony projekt już na starcie będzie przestarzały.

3G

W porównaniu do 2G, rodzina technologii zaliczanych do 3G jest bardzo duża – obejmuje wiele wariantów poszczególnych standardów. Podstawą w Europie jest UMTS, ale ten w wersji klasycznej dopuszczał transfer danych w kierunku do użytkownika na poziomie nieprzekraczającym 128 kb/s. Nieco później wartość tę zwiększono do 384 kb/s. HSDPA, czyli High-Speed Download Packet Access, rozwija standard UMTS o dodatkowy kanał warstwy transportowej, obsługiwany przez trzy nowe kanały w warstwie fizycznej. Ich działanie polega na informowaniu sieci z niewielkim wyprzedzeniem na temat zapotrzebowania na pasmo do przesyłu pakietów w najbliższym czasie. Węzeł sieci komórkowej, do której podłączone jest dane urządzenie, przypisuje następnie odpowiedni kanał do transmisji, co pozwala na zwiększenie jej szybkości w stosunku do klasycznego UMTS.

Technologia HSDPA implementuje też automatyczny system ponawiania żądań, szybkie harmonogramowanie pakietów oraz adaptacyjne modulowanie i kodowanie. Ważny jest też fakt, że HSDPA występuje w wielu wariantach, określanych mianem kategorii i wprowadzanych grupami w kolejnych odsłonach standardu UMTS. Poszczególne kategorie różnią się sposobem zastosowanej modulacji (16QAM, QPSK, 64QAM), liczbą obsługiwanych jednocześnie strumieni, kodowaniem itd. Wskutek tego uzyskuje się różną przepustowość maksymalną w kierunku do użytkownika. Wśród kategorii HSDPA najbardziej efektywną pod względem wykorzystania dostępnego pasma przy zastosowaniu jednego strumienia i jednej nośnej jest wprowadzona w UMTS Release 7 kategoria 14. Umożliwia ona transmisję z przepustowością do 21,1 Mb/s. Wyższe kategorie wymagają już użycia dwóch lub czterech strumieni oraz/lub agregacji komunikacji na dwóch, trzech, czterech, sześciu lub nawet ośmiu nośnych. Jedenasta odsłona UMTS teoretycznie pozwala już na uzyskanie transmisji w kierunku do użytkownika, z szybkością nawet 337,5 Mb/s (kategorie 36. i 38.). Trzeba jednak zaznaczyć, że są to wartości czysto teoretyczne, które nie uwzględniają narzutów związanych z nagłówkami pakietów i zakładają idealne warunki radiowe. W rzeczywistych warunkach uzyskiwane szybkości są zdecydowanie niższe, przede wszystkim ze względu na odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem i ze względu na innych użytkowników, znajdujących się w tej samej komórce.

Niedługo po pierwszym HSDPA opracowano też usprawnienie HSUPA, o analogicznej nazwie High-Speed Uplink Packet Access,



noszące też nazwę EUL – Enhanced Uplink. Jego celem było przyspieszenie transmisji w kierunku od użytkownika do sieci komórkowej. HSUPA zostało włączone do standardu UMTS w jego 6. odsłonie i również występuje w różnych kategoriach – początkowo o przepustowości do 5,76 Mb/s (kategoria 6.). Zasada działania usprawnienia HSUPA jest podobna do HSDPA – też opiera się przede wszystkim na harmonogramowaniu przesyłu pakietów, z tym że w przypadku HSUPA urządzenie klienckie zgłasza zapotrzebowanie na przesył pakietów, a kontroler sieci przydziela odpowiednie zasoby do transmisji lub nie.

Kolejne kategorie HSUPA były wprowadzane przez organizację 3GPP w kolejnych odsłonach standardu UMTS wraz z nowymi kategoriami HSDPA. W UMTS Release 11 wprowadzono m.in. 12. kategorię HSUPA, która teoretycznie pozwala na transfer z szybkością do 34,5 Mb/s. Kategorie od 8. wzwyż zostały ponadto zaprojektowane tak, by skrócić opóźnienia w komunikacji.

Warto zauważyć, że w nazewnictwie stosowanym przez producentów podzespołów do komunikacji w sieciach komórkowych stosowane są też określenia HSPA i HSPA+. Pierwsze z nich obejmuje przypadek, gdy urządzenie lub sieć obsługuje zarówno HSDPA i HSUPA, choć nie definiuje ono, które kategorie muszą być obsługiwane. Przyjmuje się jednak, że mianem HSPA można już określać system obsługujący technologie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w 6. odsłonie standardu UMTS.

Natomiast nazwa HSPA+ (oficjalnie Evolved HSPA) przysługuje urządzeniom obsługującym kategorie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w UMTS Release 7 i/lub UMTS Release 8. Można też się spotkać z nazwą Dual-carrier HSPA, która obejmuje zastosowanie wprowadzonych w 9. odsłonie UMTS-u standardów DC-HSDPA i DC-HSUPA. Od wersji UMTS Release 11 pojawia się natomiast nazwa MC-HSPA, która obejmuje zastosowanie więcej niż dwóch nośnych do zwiększenia transmisji w sieciach komórkowych. HSPA+ zakłada również możliwość zastosowania uproszczonej architektury sieci po stronie operatora, w której kontrolery sieci komórkowej bezpośrednio korzystają z protokołu IP. Zmniejsza to koszt wdrożenia i obsługi takiej sieci. Duży wzrost szybkości, oferowany przez techniki HSPA+, sprawił, że niektórzy operatorzy zaczęli stosować miano 4G do promowania tego typu sieci komórkowych. Jednakże standard UMTS, nawet ze swoimi najnowszymi usprawnieniami, nie jest prawowitym standardem czwartej generacji.

4G

Czwarta generacja stawiała przed sieciami komórkowymi bardzo duże wyzwania – na tyle duże, że początkowo LTE również nie było zaliczane do standardu 4G, gdyż ich nie spełniało. Dopiero po pewnym czasie uznano, że odmiennosc LTE od UMTS oraz rosnąca popularność tego standardu są czynnikami, które uzasadniają potoczne użycie nazwy 4G w odniesieniu do sieci LTE.

Standard Long Term Evolution jest aktualnie powszechnie stosowany na całym świecie, częściowo w wersji kwalifikującej się jako



rozwiązanie klasy 3,9G, a częściowo w postaci LTE Advanced (począwszy od 10. wydania specyfikacji 3GPP) lub LTE Advanced Pro (kategorie wprowadzone od 13. wydania 3GPP). Dzięki wprowadzeniu licznych kategorii LTE zasięg tego rodzaju sieci przestał być tak dużym problemem, jak było to na początku. Obecnie około 75% powierzchni naszego kraju jest pokrytych przez LTE, a ponad 80 państw na świecie ma pokrytą przez LTE przynajmniej połowę swojego obszaru. Warto zauważyć, że dotyczy to także tak wielkich państw jak Chiny, USA, Rosja czy Kanada.

LTE funkcjonuje w różnych pasmach radiowych. Lista używanych pasm w poszczególnych regionach świata została zebrana w **tabeli 1**.

Teoretyczna szybkość transmisji, możliwa do osiągnięcia w standardzie LTE, również zależy od kategorii sprzętu, z którego się korzysta. W pierwotnej wersji standardu, którą ogłoszono w 2008 roku, zdefiniowano 5 kategorii o przepustowości od 10,3 Mb/s do 299,6 Mb/s w kierunku do użytkownika i o przepustowości od 5,2 Mb/s do 75,4 Mb/s w przeciwną stronę. Kategorie te zostały zebrane w **tabelach 2, 3 i 4**. Wybierając moduł lub modem do sieci komórkowej LTE, należy przede wszystkim zwrócić uwagę na obsługiwane przez niego kategorie. Ma to o tyle duże znaczenie, że po stronie operatora może leżeć decyzja, że dana (stara) kategoria urządzenia nie będzie dopuszczana do sieci ze względu na zbyt niską efektywność wykorzystania pasma radiowego.

Warto też rozumieć, skąd wynikają różnice pomiędzy szybkościami uzyskiwanymi w poszczególnych kategoriach LTE oraz na czym polega odmiennosc tej sieci od UMTS. Warstwa radiowa interfejsu sieci LTE nosi miano E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access). Natomiast nadajniki/odbiorniki i urządzenia klienckie korzystające z E-UTRA tworzą sieć nazywaną EUTRAN (ostatnia literka pochodzi od słowa Network). W sieci tej komunikacja odbywa się w pasmach o szerokości 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 15 MHz lub 20 MHz. Przykładowo, niemal 300-megabitowa szybkość transmisji może być teoretycznie uzyskana przy zastosowaniu 20-megahercowego pasma i czterotorowej transmisji, która wymaga czterech anten odbiorczych w urządzeniu klienckim. W odróżnieniu od UMTS-u, LTE posługuje się wielodostępem OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) w kierunku do użytkownika i SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) w kierunku przeciwnym. Użycie dwóch różnych sposobów wielodostępu modulacji jest uzasadnione tym, że pierwszy z nich narzuca zbyt duże wymagania odnośnie do liniowości zastosowanych wzmacniaczy radiowych, co pociąga za sobą zwiększone zużycie energii. Ponieważ urządzenia klienckie są zazwyczaj przenośne, a więc zasilane bateryjnie, w celu nadawania korzystają z bardziej energooszczędnej metody.

Twórcy LTE postarali się też skrócić opóźnienia

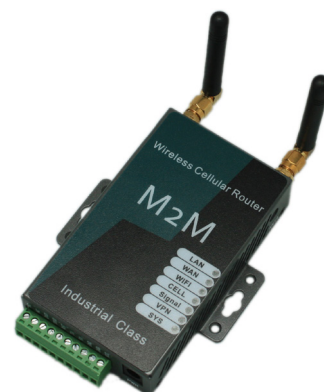


Tabela 1. Pasma radiowe, stosowane w LTE w różnych regionach świata

Region świata	[MHz]
Europa	450, 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, 2300, 2600, 3500, 3700
Ameryka Północna	600, 700, 750, 800, 850, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600
Ameryka Łacińska	750, 850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100, 2600
Azja	450, 700, 800, 850, 900, 1500, 1800, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600, 3500
Afryka	700, 800, 850, 900, 1800, 2100, 2500, 2600
Australia i Oceania	700, 800, 850, 1800, 2100, 2300, 2600

Tabela 2. Kategorie łączone urządzeń LTE i Advanced LTE oraz Advanced LTE Pro

Kategoria	Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana maksymalna przepustowość [Mb/s]	Transfer do urządzenia			Transfer z urządzenia	
		Maksymalna liczba strumieni multipleksowania przestrzennego (MIMO)	Wsparcie modulacji 256QAM	Maksymalna przepustowość [Mb/s]	Wsparcie dla modulacji 64QAM	
0	12	1	1	Nie	1	Nie
1	8	10	1	Nie	5	Nie
1bis	14	10	1	Nie	5	Nie
2	8	51	2	Nie	25	Nie
3	8	102	2	Nie	51	Nie
4	8	150	2	Nie	51	Nie
5	8	299	4	Nie	75	Tak
6	4	301	2 lub 4	Nie	51	Nie
7	4	301	2 lub 4	Nie	102	Nie
8	5	2998	8	Nie	1497	Tak
9	6,4	452	2 lub 4	Nie	51	Nie
10	7,4	452	2 lub 4	Nie	102	Nie
11	9,6,4	603	2 lub 4	Opcjonalne	51	Nie
12	10,7,4	603	2 lub 4	Opcjonalne	102	Nie
NB1	13	0,68	n.d.	n.d.	1	n.d.
NB2	14	2,536	n.d.	n.d.	2,536	n.d.

w komunikacji w sieciach komórkowych. W tym celu uproszczono strukturę sieci i zoptymalizowano ją pod kątem przesyłu danych pakietowych, a nie pod kątem komutacji polegającej na nawiązywaniu

i utrzymywaniu połączeń. Odpowiedniki stacji bazowych, występujące w UMTS i nazywane nodeB, zostały zastąpione jednostkami enodeB, które stanowią zintegrowany nodeB z kontrolerem sieci.

Tabela 3. Kategorie osobno ustalone dla urządzeń pobierających dane w sieciach LTE, Advanced LTE i Advanced LTE Pro

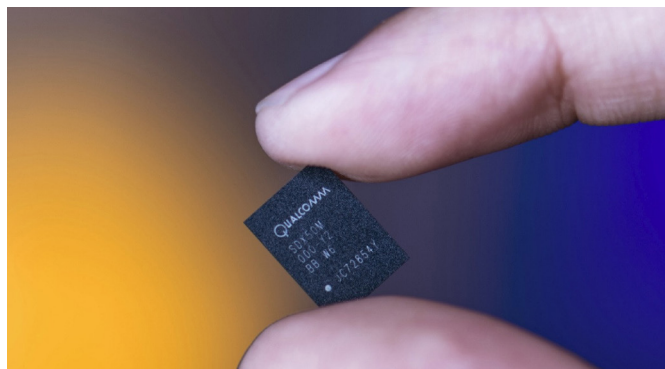
Kategoria	Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana	Maksymalna przepustowość [Mb/s]	Maksymalna liczba strumieni multipleksowania przestrzennego (MIMO)	Wsparcie modulacji 256QAM
M1	13	1	1	Nie
M2	14	4	1	Nie
0	12	1	1	Nie
1bis	14	10	1	Nie
4	14	150	2	Nie
6	12	301	2 lub 4	Nie
7	12	301	2 lub 4	Nie
9	12	452	2 lub 4	Nie
10	12	452	2 lub 4	Nie
11	12	603	2 lub 4	Opcjonalne
12	12	603	2 lub 4	Opcjonalne
13	12	391	2 lub 4	Obowiązkowe
14	12	3916	8	Obowiązkowe
15	12	749 - 798	2 lub 4	Opcjonalne
16	12	978 - 1051	2 lub 4	Opcjonalne
17	13	25065	8	Obowiązkowe
18	13	1174 - 1206	2, 4 lub 8	Opcjonalne
19	13	1566 - 1658	2, 4 lub 8	Opcjonalne
20	14	1948 - 2019	2, 4 lub 8	Opcjonalne
21	14	1348 - 1413	2 lub 4	Opcjonalne
22	15	2349 - 2562	2, 4 lub 8	Opcjonalne
23	15	2695 - 2869	2, 4 lub 8	Opcjonalne
24	15	2936 - 3028	2, 4 lub 8	Opcjonalne
25	15	3132 - 3316	2, 4 lub 8	Opcjonalne
26	15	3422 - 3531	2, 4 lub 8	Opcjonalne

Tabela 4. Kategorie osobno ustalane dla urządzeń wysyłających dane w sieciach LTE, Advanced LTE i Advanced LTE Pro

Kategoria	Numer wydania 3GPP, w którym została zaprezentowana	Maksymalna przepustowość [Mb/s]	Wsparcie modulacji 64QAM	Wsparcie modulacji 256QAM
M1	13	1	Nie	Nie
M2	14	6	Nie	Nie
0	12	1	Nie	Nie
1bis	14	5	Nie	Nie
3	12	51	Nie	Nie
5	12	75	Tak	Nie
7	12	102	Nie	Nie
8	12	1497	Tak	Nie
13	12	150	Tak	Nie
14	13	9585	Tak	Nie
15	13	226	Tak	Nie
16	14	105	Tak	Tak
17	14	2119	Tak	Tak
18	14	211	Tak	Tak
19	14	13563	Tak	Tak
20	14	316	Tak	Tak
21	14	301	Tak	Nie
22	15	422	Tak	Tak
23	15	527	Tak	Tak
24	15	633	Tak	Tak
25	15	738	Tak	Tak
26	15	844	Tak	Tak

Zmniejsza to koszt instalacji stacji oraz skraca opóźnienia. Co więcej, jednostka enodeB komunikuje się w z otoczeniem bezpośrednio z użyciem protokołu IP, co również upraszcza jej wdrożenie i obsługę. Sieć LTE została też usprawniona względem UMTS pod kątem obsługi komunikacji z urządzeniami szybko się poruszającymi oraz w celu obsługi bardzo małych komórek sieciowych, choćby o średnicy około 100 m. Oczywiście, zapewniono mechanizmy przekazywania połączeń pomiędzy sieciami LTE i starszych generacji, zwiększono pojemność pojedynczych komórek oraz zoptymalizowano je dla rozmiarów o promieniu 5 km.

O aplikacjach typu IoT organizacja 3GPP pomyślała już w trakcie wydawania 8. wersji swojej specyfikacji, tworząc kategorię 1. Niestety,



nie spełnia ona oczekiwań wielu projektów IoT, oferując niepotrzebnie dużą przepustowość przy jednoczesnym wcale nie tak małym poborze mocy. Dlatego w wydaniu 12. specyfikacji wprowadzono kategorię 0, która cechowała się już 10-krotnie mniejszą przepustowością do urządzenia, równą przepustowości w kierunku do stacji bazowej i wynoszącą 1 Mb/s. Ale największe zmiany pojawiły się w wydaniu 13., w którym dodano kategorie M1 i NB-IoT1 oraz EC-GSM-IoT. Natomiast w kolejnym, 14. już wydaniu, dodano jeszcze kategorię M2 i NB-IoT2. Bardziej szczegółowe parametry transmisji w urządzeniach zgodnych z kategoriami LTE pomyślanymi o IoT zebrał w tabeli 5.

Wspomnieliśmy już, że LTE pokrywa ogromną część obszaru wielu państw, ale przecież poszczególne kategorie LTE bardzo się od siebie różnią. Na ile można więc polegać na modemie pracującym w którejś z kategorii pomyślanych pod kątem IoT? Na to pytanie odpowiada organizacja GSA (Global Mobile Suppliers Association), stowarzyszenie, które promuje i monitoruje wdrażanie technologii 3G, 4G i 5G. Najnowszy raport na temat dostępności sieci komórkowych pod kątem IoT został opracowany w kwietniu tego roku i podaje stan na marzec 2019. Cytując za raportem, w ciągu 12 miesięcy go poprzedzających, zaobserwowano ogromny wzrost liczby sieci wspierających LTE NB-IoT i LTE kat. M. Przybyło też modułów gotowych do pracy z tymi kategoriami, a w ostatnich kilku miesiącach zaczęły pojawiać się moduły zgodne z NB-IoT2. Podano też konkretne liczby.

Na świecie działają 124 sieci NB-IoT lub LTE-M, obsługiwane przez 104 różnych operatorów. Aktualnie w technologii NB-IoT inwestuje 141 operatorów, podczas gdy rok wcześniej było to 116 firm. 90 spośród nich uruchomiło sieci NB-IoT (wzrost z 59 rok temu). 30 operatorów planuje lub zaczyna wdrażać sieci NB-IoT. 21 firm dopiero testuje technologie z nimi związane. Natomiast w technologii LTE-M inwestuje 60 operatorów (przed rokiem było ich 47). 34 już wdrożyło komercyjnie sieci LTE-M, 14 planuje lub aktualnie wdraża, a 12 testuje. Zgodnie z danymi organizacji GSA na rynku dostępnych jest 29 różnych układów scalonych, które obsługują NB-IoT lub LTE kategorii M1.

Warto też wspomnieć o tym, co organizacja GSA mówi na temat stopnia wdrożenia innych kategorii LTE. Ma ona dane o 734 aktualnych operatorach LTE na świecie i 112 kolejnych, którzy mają licencję na LTE, starają się wdrożyć takie sieci lub planują to zrobić w przyszłości. Spośród tych wszystkich firm, 298 wdrożyło już sieci zgodne z LTE-Advanced lub LTE Advanced Pro. 174 firmy inwestują w rozwój którejś z technologii zaliczanych do LTE Advanced Pro.

Wśród firm działających z LTE, 136 operatorów inwestuje, a w tym 75 już komercyjnie wdrożyło sieci korzystające z technologii 4x4 MIMO. 57 poszło dalej i zaimplementowało technologię 8T8R MIMO lub Massive MIMO, a 63 z 109 inwestujących skutecznie wdrożyło modulację 256 QAM w kierunku do urządzeń klienckich.

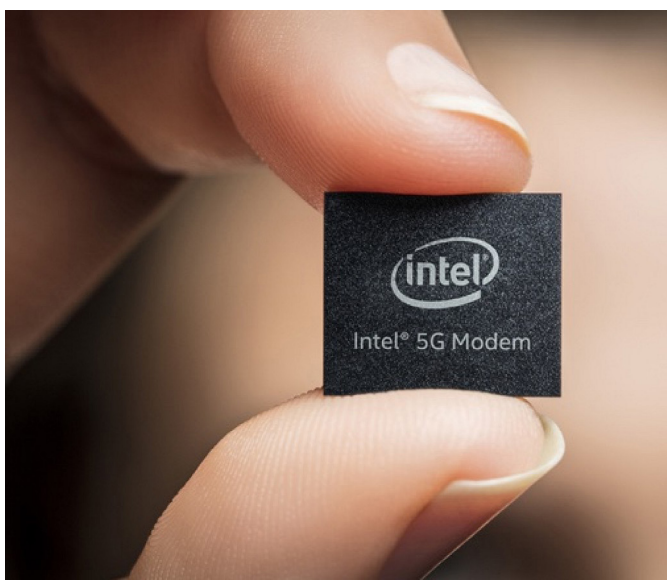
5G

Skoro tak wiele firm na świecie wdraża dopiero 4G, to kiedy możemy spodziewać się pojawienia sieci piątej generacji? Temat wcale nie jest łatwy, bo o ile w przypadku 4G



Tabela 5. Parametry kategorii LTE, dostosowanych do potrzeb Internetu Rzeczy

Parametr/Kategoria LTE	LTE Cat. 1	LTE Cat. 0	LTE Cat. M1	LTE Cat. M2	LTE Cat. NB1	LTE Cat. NB2	EC-GSM-IoT
Wydanie 3GPP	8	12	13	14	13	14	13
Maksymalna przepustowość do urządzenia	10 Mb/s	1 Mb/s	1 Mb/s	4 Mb/s	680 kb/s	2536 kb/s	474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B)
Maksymalna przepustowość z urządzenia	5 Mb/s	1 Mb/s	1 Mb/s	6 Mb/s	1000 kb/s	2536 kb/s	474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B)
Opóźnienia	50...100 ms	b.d.	10...15 ms	b.d.	1,6...10 s	b.d.	700...2 s
Liczba anten	2	1	1	b.d.	1	b.d.	1...2
Dopuszczalny tryb duplex	Full Duplex	Full lub Half Duplex	Full lub Half Duplex	b.d.	Half Duplex	b.d.	Half Duplex
Pasmo transmisji	1,4...20 MHz	1,4...20 MHz	1,4 MHz	b.d.	180 kHz	b.d.	200 kHz
Liczba strumieni danych	2 (MIMO)	1 (SISO)	1 (SISO)	b.d.	1 (SISO)	b.d.	1...2
Moc transmisji, używana przez urządzenie	23 dBm	23 dBm	20/23 dBm	b.d.	20/23 dBm	b.d.	23/33 dBm



sprowadzał się głównie do technologii i opłat licencyjnych, o tyle 5G interesują się też dodatkowo agencje wywiadowcze oraz osoby zajmujące się ochroną zdrowia. Hasło 5G zrobiło się na tyle głośne, że przyciąga różne zainteresowane strony. Potencjał możliwości, jakie obiecuje się w ramach wdrożenia sieci komórkowych piątej generacji, sugeruje totalną rewolucję, ponieważ za sprawą IoT. Do tego, jednym z bardzo ważnych graczy na rynku technologii do sieci 5G jest Huawei, który w ostatnim czasie podpadł zachodnim rządowi i został wyeliminowany z wielu przetargów. Nie zmienia to faktu, że prace nad technologiami 5G i ich wdrażanie trwa. Nawet pomimo, że GSM Association szacuje, że wyeliminowanie firmy Huawei z przetargów zwiększy koszty wdrożenia 5G w Europie o 55 mld euro i opóźni efekty o półtora roku.

Czym różnią się sieci 5G od sieci 4G? Przede wszystkim oczekiwana przepustowością i liczbą jednocześnie obsługiwanych użytkowników w małej przestrzeni. Ale biorąc pod uwagę, jak różne są możliwości poszczególnych kategorii sieci czwartej generacji, postawienie wyraźnej kreski pomiędzy jedną a drugą grupą technologii nie jest takie oczywiste, szczególnie jeśli odniesiemy się do LTE Kat. M i NB-IoT, które już teraz niektórzy zaliczają do 5G. Dlaczego? Zapewne dlatego, że należy się spodziewać, że sieci te będą w przyszłości bardzo istotnymi elementami infrastruktury operatorów.

Wróćmy jednak do rdzenia sieci 5G, czyli technologii określanej mianem 5G NR (New Radio). Obecnie najczęściej przyjmuje się, że definicja technologii sieci komórkowej, która spełnia wymogi specyfikacji 5G, została podana przez organizację 3GPP w 15. wydaniu swojej dokumentacji, upublicznionym nieco ponad rok temu. Określa się ją też mianem pierwszej fazy standaryzacji, a druga ma pojawić się w 16. wydaniu, jakie planowane jest na koniec bieżącego roku.

Przed technologią 5G postawiono bardzo ambitne cele. Podstawowym jest prędkość transmisji do 20 Gb/s oraz tysiąckrotny wzrost pojemności sieci. Co więcej, ta technologia musi również zapewnić wsparcie dla nowych usług, w tym tych już znanych pod wspólną nazwą IoT oraz krytycznej czasowo komunikacji maszyna-maszyna i człowiek-maszyna, zapewniając przy tym jak najkrótszy czas latencji i jak najwyższy poziom niezawodności. To wszystko ma być bazą do rozwoju nowych technologii monitorowania urządzeń, ich zdalnej kontroli oraz nowych usług transportowych, a także Przemysłu 4.0. Całość ma spowodować rewolucję na skalę, jakiej zachodnie społeczeństwo nie widziało w XX ani XXI wieku.

Główne spektrum częstotliwości radiowych wykorzystywanych w sieciach 5G mieści się w zakresie od 3,3 GHz do 4,9 GHz. Mniejsze częstotliwości, leżące poniżej 1 GHz, pozostawiono do wykorzystania urządzeniom mającym zapewnić pokrycie obszaru oraz penetrowanie pomieszczeń. Fale milimetrowe, z zakresu częstotliwości od 24 GHz do 28 GHz oraz 39 GHz, są używane przez lokalne hotspoty oraz aplikacje zapewniające łączność na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń. Interfejs radiowy sieci 5G opracowano w taki sposób, aby zapewniał maksymalną elastyczność, pozwalając na łączne użycie fal z różnych zakresów częstotliwości. Stosowane są także techniki MIMO i Massive MIMO, które pozwalają na odpowiednie kształtowanie charakterystyki promieniowania i dzięki temu pokrycia obszaru, a także skierowania wiązki radiowej





w stronę przeciwną do użytkownika. Dzięki antenom MIMO będzie też możliwe współlistnienie na tym samym obszarze technologii LTE i 5G. Będzie to miało znaczenie szczególnie na początku, gdy sieci 5G będą wdrażane w oparciu na warstwie kontrolnej, pracującej na sieciach czwartej generacji.

O ile sieci LTE wspierają schematy modulacji QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM, o tyle sieci 5G dodatkowo pracują z modulacją $n/2$ -BPSK. Można się spodziewać, że w przyszłości do standardu 5G dojdzie jeszcze wsparcie modulacji 1024 QAM.

W 5G inaczej zbudowane są też ramki transmisyjne. Przygotowano je m.in. pod kątem minimalizacji opóźnień i w celu uzyskania szybkiego potwierdzenia. Docelowy czas latencji dla sieci 5G ma wynosić około 1 ms. By było to możliwe, niezbędne staje się stosowanie technologii MEC (Multi-Access Edge Computing), polegającej na przesunięciu obliczeń wykonywanych z centrum sieci do jej krawędzi, bliżej odbiorcy usług. Korzystając z MEC, zamiast przesyłać wszystkie dane do analizy do punktu centralnego, urządzenia znajdujące się na krawędzi sieci analizują, przetwarzają i zapamiętują dane. Wymagania odnośnie do bardzo krótkiego czasu latencji są zwykle łączone z wymaganiami odnośnie do niezawodności w wypadku nowych aplikacji, takich jak na przykład sterowanie robotami lub pojazdami autonomicznymi.



Co ciekawe, technologię 5G opracowywano z myślą o działaniu w bardzo dużym zakresie częstotliwości radiowych, tj. od 400 MHz nawet do 90 GHz. Wynika to z konieczności zapewnienia ogromnej pojemności i przepustowości sieci.

Jak w praktyce wygląda teraz stan wdrażania sieci 5G i możliwość korzystania z nich? Na to pytanie ponownie odpowiada organizacja GSA. Aktualnie w 91 krajach świata 231 operatorów testuje, wdraża lub planuje wdrażać instalacje 5G. W połowie maja tego roku 41 operatorów twierdziło, że już wdrożyło w swoich sieciach jakieś technologie 5G, z czego 12 faktycznie przygotowało sieci zgodne ze specyfiką organizacji 3GPP.

GSA monitoruje też postępy w powstawaniu urządzeń do korzystania z sieci 5G. W maju mieliśmy 33 producentów, którzy już

Skróty zastosowane w artykule

Poniżej wyjaśniamy skróty, jakie pojawiły się w artykule

3GPP – 3rd Generation Partnership Project – organizacja pracująca nad technologiami komunikacji radiowej

5G NR – New Radio – nazwa technologii sieci piątej generacji

CDMA2000 (IMT-CDMA) – Multi-Carrier Code Division Multiple Access – stosowany w USA standard telefonii komórkowej trzeciej generacji

DC-HSDPA – Dual-Carrier High-Speed Downlink Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

DC-HSPA – Dual-Carrier High-Speed Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA

DC-HSUPA – Dual-Carrier High-Speed Uplink Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

EC-GSM-IoT – Extended Coverage GSM Internet of Things – standard bazujący na eGPRS, pozwalający na komunikację bardzo dużej liczby urządzeń, korzystających z małej przepustowości

EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution – technika zwiększenia szybkości transmisji w sieciach drugiej generacji

eSIM – electronic Subscriber Identity Module – karta SIM w postaci układu scalonego do wlutowania na płytkę drukowaną

E-UTRA – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access – interfejs radiowy w technologii LTE

EUTRAN – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network – architektura sieci LTE

GPRS – General Packet Radio Service – technika pakietowego przesyłania danych w sieciach GSM

GSA – Global Mobile Suppliers Association – organizacja monitorująca rozwój sieci komórkowych

GSM – Global System for Mobile Communications – europejski standard komunikacji komórkowej drugiej generacji

HSDPA – High-Speed Downlink Packet Access – technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

HSPA – High-Speed Packet Access – technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA

HSUPA – High-Speed Uplink Packet Access – technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

ISM – Industrial, Scientific, Medical – nielicencjonowane pasmo radiowe

LTE – Long Term Evolution – standard telefonii komórkowej niemal czwartej generacji

MEC – Multi-Access Edge Computing – bazująca na chmurze usługa obliczeniowa, działająca na krawędzi sieci

MIMO – Multiple Input, Multiple Output – technika odbierania i nadawania fal radiowych z pomocą wielu anten

NB-IoT – Narrow Band IoT – komunikacja komórkowa z wykorzystaniem fal w wąskim paśmie radiowym

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – metoda kodowania danych na wielu częstotliwościach nośnych

SC-FDMA – Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access – metoda wielodostępu, będąca rozbudowaną wersją metody OFDM

SIM – Subscriber Identity Module – kart pozwalająca zidentyfikować abonenta

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System – popularny standard telefonii komórkowej trzeciej generacji



udostępniłi lub ogłosili łącznie 64 produkty do sieci 5G. Składa się na nie m.in. 17 telefonów, 6 hostpostów, 16 modułów, 2 routery IoT oraz 1 laptop. Układy scalone do obsługi sieci 5G produkuje obecnie 5 firm: Huawei, Intel, Mediatek, Qualcomm i Samsung, przy czym Intel ogłosił, że wycofuje się z produkcji modemów 5G.

Podsumowanie

Czym w takim razie, w kontekście przedstawionych informacji, powinien się kierować inżynier, poszukujący technologii bezprzewodowej transmisji danych? Jeśli ustali, że musi sięgnąć po sieć komórkową, w pierwszej kolejności powinien określić, jakiej oczekuje przepustowości i jakiego poboru mocy. Następnie powinien zdecydować, w jakich rejonach świata będzie pracować tworzone urządzenie, czy będzie się poruszać i czy może liczyć na dobre pokrycie siecią komórkową. Biorąc pod uwagę te dane, konstruktor powinien zajrzeć do tabel, najlepiej tych odnoszących się do technologii 4G i wskazać kategorie standardów, które najbardziej spełniają jego oczekiwania. Jeśli projekt ma trafić do produkcji dopiero po dłuższym czasie, można już też zainteresować się specyfikacjami poszczególnych odmian sieci 5G.

Mając określone oczekiwania i technologie, należy poszukać dobrego dostawcy. Aktualnie rynek modemów do komunikacji w sieciach komórkowych jest ogromny – funkcjonują na nim nie tylko znane marki, ale i dalekowschodni producenci, dopiero co wkraczający do Europy. Decydując się na moduł, warto zwrócić uwagę na dotychczasowy sposób prowadzenia biznesu przez producenta. Patrząc na to, jak nieprzewidywalnie zmienia się rozwój sieci komórkowych,



dobrze jest wybrać takiego dostawcę, u którego można liczyć na pojawienie się nowszych wersji modułów, zgodnych pod względem wyprowadzeń ze starszymi generacjami. W ten sposób bardzo łatwo będzie zmodernizować przygotowany projekt, by był zgodny z innym standardem, niż przyjęto w pierwotnych założeniach.

Na koniec warto też pomyśleć o wyborze operatora, zapoznać się z jego ofertą oraz dowiedzieć, czy można zastosować rozwiązanie klasy eSIM zamiast klasycznej karty. Koszt i rozmiar gniazda na kartę SIM często stanowią dodatkowe ograniczenie, szczególnie w niewielkich urządzeniach przenośnych. A sama oferta i pokrycie sieci operatora mogą spowodować, że wybrana technologia okaże się nieoptymalna i na potrzeby niektórych wdrożeń warto będzie wyposażyć tworzone urządzenie w tani moduł, zgodny jedynie ze starym, dobrym 2G.

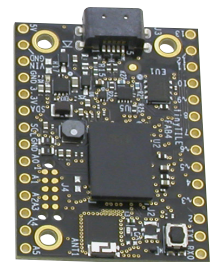
Marcin Karbowiczek, EP

tinyTILE – zestaw rozwojowy firmy Intel

Dzięki uprzejmości Farnell element14 mamy dla czytelników EP płytkę tinyTILE z modułem Intel Curie. Jest to miniaturowa odmiana płytki Arduino/Genuino 101, o wymiarach ok. 35 mm×26 mm. Moduł może być programowany z wykorzystaniem IDE Arduino lub oprogramowania firmy Intel – zestawu rozwojowego Intel Curie Open Developer Kit (CODK). Spodnia strona płytki tinyTILE jest płaska, z dużą liczbą punktów testowych, które zapewniają dostęp do prawie wszystkich wejść/wyjść.

Moduł Curie to moduł Compute niskiej mocy, który jest dostarczany z czujnikami ruchu, BLE, ładowarką akumulatora i możliwościami dopasowywania wzorów do zoptymalizowanej analizy danych czujnika. Pozwala na szybką i łatwą identyfikację czynności oraz ruchów. Jest to kompletne rozwiązanie o bardzo małym poborze prądu, zaprojektowane do użytku w urządzeniach noszonych i produktach konsumenckich. Moduł Intel Curie ma cechy, które predysponują go do zastosowań typu „always-on”:

- 32-bitowy mikrokontroler Intel Quark o małym poborze prądu.
- Pamięć Flash 384 kB, 80 kB SRAM.
- Zintegrowany układ procesora DSP i możliwością rozpoznawania wzorów.
- Interfejs bezprzewodowy Bluetooth Low Energy (BLE).
- 6-osioowy czujnik kombinowany z przyspieszeniem i żyroskopem



więcej informacji o KAP na stronie 52