

Sieci 6G

Następna generacja sieci komórkowych, 6G, ma na celu zapewnienie znacznie wyższej łączności i przepustowości danych niż jej poprzedniczka, 5G. Tu omówiono wiele nowych koncepcji, takich jak rozwój IIoT wymuszany przez Przemysł 4.0, ultramasywne MIMO zapewniające wydajność widma terahercowego i oferujące wysoki zysk anteny oraz optyczne systemy komunikacji bezprzewodowej zwiększające zasięg sieci bezprzewodowych. Co więcej, Społeczeństwo 5.0, które jest wcieleniem konwergencji między cyberprzestrzenią a światem fizycznym, zależy od infrastruktury 6G. Szósta generacja komunikacji mobilnej dostarczy nowatorskich aplikacji multimedialnych, wymagających dużej przepustowości danych, średnio terabitów na sekundę. Aplikacje te będą zmuszone do działania z niemal zerową latencją, a aby je obsługiwać, inteligentne kontrolery QoS będą musiały być częścią architektury, aby zagwarantować wyjątkową QoE. Potencjalne przypadki użycia dla następnej generacji usług multimedialnych to komunikacja typu holograficznego (HTC), Cross-Reality (XR), Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), 8K Video Streaming. W związku z tym filmy wideo w ultrawysokiej rozdzielczości obejmujące komunikację wideo 3D będą napędzać przyszły ruch WAN, a następnie w erze 6G nastąpią typy komunikacji danych maszyna-maszyna. Wszystkie te heterogeniczne dane doprowadzą do niesamowitej, wykładniczej eksplozji danych między sieciami stacjonarnymi i bezprzewodowymi. Tematy te zostaną szczegółowo przedstawione na kolejnych stronach.

KPI 6G

Wiele pytań pojawia się, gdy istnieje planowanie technologii przyszłości. Można powiedzieć, że jest to mieszanka futurologii i nauki. Jednak przy omawianiu nowej generacji komunikacji bezprzewodowej futurologia zostanie odłożona na bok. Dane i trendy będą uważane za motywację do osiągnięcia innowacyjnych usług wykorzystujących telekomunikację do łączenia technologii i przyszłych przypadków użycia. Jako trend, 6G musi przewyższyć 5G we wszystkich aspektach, od KPI po innowacyjne rozwiązania z najnowocześniejszą technologią. Nowatorska sieć musi oferować wskaźniki KPI, a każdy wskaźnik KPI stanowi wyzwanie do pokonania w ciągu następnych dziesięciu lat. Mając to na uwadze, 6G musi oferować wzrost od 10 do 100 5G KPI i dostarczać nowe. Ogólnie rzecz biorąc, analizując 6G jako koncepcję stworzoną w celu przekroczenia możliwości prezentowanych przez 5G, oczekuje się narodzin złożonej sieci. Złożona i zdecentralizowana sieć to prawdopodobieństwo powstania nowego ekosystemu komórkowego. Po pierwsze, ze względu na kilka przypadków użycia, które będzie musiało objąć 6G. Dodatkowo nieskonsolidowane technologie, z których nie można było korzystać podczas wypuszczania 5G, będą miały ogromne znaczenie na następną dekadę. Będą one miały kluczowe znaczenie dla zdefiniowania ciągłych innowacji dla aplikacji zależnych od 6G. Na przykład, wraz ze stałym rozwojem komunikacji D2D, a zwłaszcza IoT, istnieje potrzeba poprawy przepustowości UPLINK dla komunikacji typu Massive-Machine. Ponadto, jak skutecznie reagować na niejednorodny rodzaj usług. Ponieważ każda usługa żądana w sieci radiowej będzie miała inną umowę SLA i odpowiedź. W przypadku tego pytania 6G będzie musiało być przygotowane do zastosowania uczenia maszynowego na brzegu sieci, aby trenować swoje algorytmy i szybciej dostosowywać swoje odpowiedzi w ramach uzgodnionej umowy SLA. Jest więc jasne, że 6G będzie siecią, która zapewni doskonałe QoE dla wszystkich usług i abonentów. Network Slicing będzie również częścią jego ekosystemu. Biorąc pod uwagę dodatkowe wsparcie dla radzenia sobie z Big Data z prawie zerowym opóźnieniem między front-backhaul, przyszła sieć bezprzewodowa musi dodać do ekosystemu ważne jednostki podstawowe, takie jak:

- Wykorzystaj terahercowe widmo RF
- UM MIMO (Ultra Masywne MIMO)

- Cloud Computing /MEC - Mobile Edge Computing
- Chmura-RAN
- Network Slicing i SD-WAN
- ML – uczenie maszynowe dla sieci kognitywnych
- AI (sztuczna inteligencja) - inteligencja
- Kwantowe uczenie maszynowe
- 6G QoS (jakość usług)
- 6G QoE (Quality of Experience) - dla aplikacji zorientowanych na użytkownika
- Orkiestracja bezpieczeństwa Blockchain dla celów bezpieczeństwa
- Wzmocnienie komunikacji Backhaul-Fronthaul oraz komunikacji wewnętrznej/zewnętrznej dzięki optycznej komunikacji bezprzewodowej

Dochodzenie, które nastąpi, pokaże, w jaki sposób wszystkie te kluczowe podmioty, w tym HetNets, mogą dostarczyć architekturę 6G. Aby odpowiedzieć na mnogość usług ze spełnioną umową SLA i zapewnić bezpieczeństwo, celem jest sieć kognitywna. W ten sposób zdecentralizowana sieć jawi się jako najlepszy kandydat do obsługi wszystkich zadań. Sieć 6G musi być inteligentna i kognitywna, ale z możliwością dostosowania, aby ulepszyć wszystkie warstwy TCP/IP. Innowacyjna sieć komórkowa musi być zaznajomiona z siecią stacjonarną i bezproblemowo zapewniać wysokie szczytowe szybkości transmisji danych do 1 Tb/s, umożliwiając łączność szerokopasmową przy wysokich prędkościach do 1000 km/h. 6G musi również oferować wszechobecną obecność wspieraną przez konstelację satelitów o szerszym zasięgu, szczególnie w regionach geograficznych, w których infrastruktura szerokopasmowa jest ograniczona. QoE musi być zagwarantowane dla wszystkich 6G UE i krytycznych aplikacji multimedialnych. Na przykład podczas transmisji HTC (komunikacja typu holograficznego) należy wziąć pod uwagę wrażenia użytkownika (UX). Dla takich krytycznych usług należy również zaplanować mechanizmy samoregulacji jakości transmisji. Komunikacja holograficzna będzie wymagała wysokiej jakości obrazu i synchronizacji z wciągającym dźwiękiem, aby zapewnić oczekiwane rezultaty zbliżone do rzeczywistości. Jako wynik, kontrolowanie możliwych opóźnień w dotarciu pakietów danych pochodzących z nadawcy HTC do odbiornika HTC z powodu przeciążenia ruchu sieciowego będzie wymagało technik redukujących efekty Jitter. Na przykład zasada holograficzna opiera się na źródle światła (laserze), które oświetla obiekt, a następnie rejestruje trójwymiarowe wzory. Umożliwia rekonstrukcję oryginalnego obiektu w 3D po stronie odbiornika. Jednak w komunikacji holograficznej rozważany i rejestrowany jest czwarty składnik, którym jest dźwięk. Obecnie istnieje wiele rozwiązań dla tego typu komunikacji. Różnią się one od tych, które używają Head Mounted Display (HMD) jako odpowiednich okularów 3D, aby zapewnić użytkownikowi wrażenia, lub tych bez HMD. Na przykład Microsoft Holoportation wykorzystuje kamery 3D do przechwytywania trójwymiarowego obrazu ludzi i obiektów, a następnie umożliwia ich rekonstrukcję za pomocą HMD. Dodatkowym przykładem jest 5G Holographic Cloud Communication Network stworzona przez chińską firmę ZTE i WIMI. System obejmuje sieć 5G do przesyłania komunikacji holograficznej za pomocą terminali wideo 4K do przechwytywania obrazu 3D i rekonstrukcji obrazu przy użyciu algorytmu holograficznego w celu odtworzenia fizycznego obrazu. W przypadku tego typu komunikacji holograficznej stawia się wiele wyzwań, na przykład:

- Pakietowanie
- Moc obliczeniowa zapewniająca wysoką jakość (QoS)
- Przepustowość sieci
- Bardzo niska latencja
- Priorytetyzacja ruchu (sieć i QoS)
- Ewolucja technik kodowania i dekodowania

ITU poświęciło się badaniu holograficznego typu komunikacji za pośrednictwem FG NET 2030 (Focus Group Technology for Network 2030) w ramach swoich celów wykraczających poza 5G. FG NET 2030 rozszerzyło swoje badania nad komunikacją holograficzną o dotykowe HTC, umożliwiając użytkownikom dotykanie hologramów. W tym celu wniosek jest następujący: „Dotykowe aplikacje sieciowe nakładają wymagania dotyczące bardzo małego opóźnienia (w celu zapewnienia dokładnego wyczucia informacji zwrotnej na temat dotyku) na leżące poniżej sieci, a w przypadku, szczególnie w przypadku zastosowań o znaczeniu krytycznym, takich jak chirurgia zdalna, nie tolerują strat”. Dlatego solidna sieć, która jest kognitywna i rozumie w czasie rzeczywistym potrzebę priorytetyzacji ruchu związanego ze wszystkimi wymienionymi tutaj KPI, może być wdrażana tylko przy pomocy AI, ML i MEC. Wymagania te podkreślają znaczenie 6G we wspieraniu przypadków użycia HTC jako krytycznych dla misji ze względu na dużą ilość danych wymienianych dla pojedynczej aplikacji. Jako najwyższy priorytet w zabezpieczaniu aplikacji o znaczeniu krytycznym, do obsługi rdzenia sieci 6G potrzebna będzie ciągłość zasad Network Slice wraz z innymi obecnymi i nowymi technologiami. Stare technologie, takie jak MPLS (Multiprotocol Label Switching), będą nadal odgrywać znaczącą rolę w rdzeniu 6G. Jednak obecnie będzie ona napędzana przez architekturę SD-WAN (Software-Defined Wide Area Networking), aby zapewnić najlepsze wrażenia użytkownika dla tego typu komunikacji, zwłaszcza w przypadku architektury usług w chmurze. SD-WAN umożliwi oddzielenie płaszczyzny sterowania WAN od płaszczyzny danych. Według raportów International Data Corporation (IDC), tylko do 2023 r. rynek SD-WAN wzrośnie o 30,8, co stanowi transakcję rynkową o wartości 5,25 mld USD. Dlatego w nadchodzących latach należy uważnie przyjrzeć się technologiom SD-WAN, aby ich ekosystem ewoluował jako kluczowy optymalizator ruchu dla krytycznych aplikacji i QoE. Jak przedstawił IDC wiceprezes ds. infrastruktury sieciowej, „SD-WAN nadal jest jednym z najszybciej rozwijających się segmentów rynku infrastruktury sieciowej, napędzanym przez różne czynniki. Po pierwsze, tradycyjne korporacyjne sieci WAN coraz częściej nie spełniają potrzeb współczesnych nowoczesnych firm cyfrowych, zwłaszcza jeśli chodzi o obsługę aplikacji SaaS oraz korzystanie z wielu chmur i chmur hybrydowych. Po drugie, przedsiębiorstwa są zainteresowane łatwiejszym zarządzaniem wieloma typami połączeń w ich sieci WAN, aby poprawić wydajność aplikacji i wygodę użytkowników końcowych”.

Dodatkowe wsparcie w tworzeniu inteligentnej sieci w rdzeniu 6G i w sieci RAN będzie wymagało sztucznej inteligencji i jej pochodnej, uczenia maszynowego (ML). To zostanie omówione w następnym podrozdziale.

Uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja

Heterogeniczny ruch danych będzie nadal rósł. Aby sprostać temu zapotrzebowaniu, będzie musiała zastosować Edge Computing, Network Slicing i Machine Learning w połączeniu ze sztuczną inteligencją. Eksploracja danych i analityka będą niezbędne do dostarczania szybszych odpowiedzi dla różnych typów urządzeń i usług przepływających w rdzeniu sieci 6G. Ruch danych będzie tak ogromny, że tradycyjne metody nie wystarczą, aby inteligentna sieć szybko zareagowała. Przyszła sieć komórkowa

będzie musiała działać w trybie zwinnym Przewiduj, aby zapobiegać, reagując na zagrożenia i wąskie gardła w sieci, aby samodzielnie dostosowywać się lub proaktywnie przydzielać zasoby. Ta orkiestracja okazała się być jednym z najszybszych sposobów przetwarzania heterogenicznych danych i obsługi ich w oparciu o ich znaczenie dla użytkowników i aplikacji. Podobnie ML i AI zaaranżowane z SD-WAN, samoorganizujące się sieci (SON) mogą dodać dodatkową warstwę zaufania, aby zapewnić QoS i QoE dla krytycznych usług. Sztuczna inteligencja musi być częścią architektury 6G. AI będzie działać wspólnie w rdzeniu sieci 6G i na jej brzegu. W konsekwencji odpowiednim sposobem przetwarzania Big Data będzie wdrożenie AI do kontroli fronthaul i backhaul 6G. W tym celu zostaną zaprojektowane dwie metodologie sztucznej inteligencji. Applied AI: jest to architektura AI dedykowana do obsługi konkretnego zadania. Tego typu sztuczna inteligencja prawdopodobnie będzie zlokalizowana na obrzeżach sieci komórkowych 6G. W związku z tym usługi te będą prawdopodobnie pobierane za pośrednictwem interfejsów API jako sposób na skierowanie żądań urządzenia i aplikacji bezpośrednio do właściwego Network Slicing, umożliwiającego priorytetyzację ruchu w rdzeniu sieci z przyznaną stałą umową SLA. Następnie Applied AI będzie w stanie kontrolować ruch danych od końca do końca za pomocą QoS i QoE dla docelowej usługi aplikacji. Uogólniona sztuczna inteligencja: jest to najbardziej zaawansowany typ zwinnej architektury AI. Został zaprojektowany, aby rozwiązać sumę różnych wyzwań. Ta architektura ma tendencję do naśladowania czynności ludzkiego mózgu. W tej kompozycji AI jest zbiorem AI. Uogólniona sztuczna inteligencja może obsługiwać rdzeń sieci 6G, który obejmuje ruch sieciowy, jitter, opóźnienia, monitorowanie łączności sieciowej, cyberataki i analizę stałej ścieżki. Podejmie zautomatyzowaną decyzję o najlepszych zasobach do przydzielenia do określonej mikrokomórki i przekaże wyniki z powrotem dostawcom telekomunikacyjnym, wraz z usługą Analytics, która umożliwi monitorowanie w czasie rzeczywistym. Działania te zmniejszą koszty CAPEX i OPEX, ponieważ będą one uważane za logiczne planowanie dalszej rozbudowy sieci lub optymalizację kosztów. Wreszcie, na obrzeżach sieci pojawi się uczenie maszynowe. ML pozwoli sieci zrozumieć kontekst informacji o danych z różnych zdarzeń i żądań usług mających miejsce na granicy sieci, wykorzystując jej algorytmy. Celem będzie przewidywanie zoptymalizowanych odpowiedzi na UE i aplikacje. ML będzie prawdopodobnie stosowana w zastosowaniach niekrytycznych, ale nadal zależy to od rozsądnej jakości usług, aby zapewnić najlepsze wrażenia użytkownika dla konsumentów, a nawet dla zastosowań przemysłowych. Dodatkowo należy zauważyć, że obecne urządzenia działające od czasu premiery sieci 3G również posiadają w swoim ekosystemie pewien rodzaj technologii AI. Dlatego jest to trend, aby zobaczyć, że bardziej zaawansowane AI zostaną wbudowane w 6G UE. 6G Cloud-RAN będzie musiał zasilać Mobile Edge Computing technologiami AI, aby 6G stała się inteligentną siecią bezprzewodową.

Wielodostępowe przetwarzanie brzegowe

Mobile Edge Computing (MEC) został stworzony przez Europejski Instytut Standardów Telekomunikacyjnych (ETSI), a jego celem jest zbliżenie przetwarzania w chmurze do krawędzi sieci. Przede wszystkim skoncentrowano się na pracy na poziomie stacji bazowej. Może być zaimplementowany w 3G RNC, (LTE) nodeB, (5G) gNodeB. MEC umożliwia aplikacjom innych firm działanie blisko sieci RAN, optymalizując ruch i eliminując przeciążenie rdzenia sieci. Umożliwia operatorom telekomunikacyjnym stworzenie nowego modelu biznesowego, w którym każda strona trzecia może uzyskać dostęp do zasobów obliczeniowych w chmurze za pośrednictwem interfejsów API, poprawiając wydajność sieci dla aplikacji o znaczeniu krytycznym dla firmy. Jednak jego nowsza wersja zaproponowana przez ETSI, Multi-Access Edge Computing, jeszcze bardziej rozszerzyła jego zastosowanie na brzegu sieci komórkowej i obejmuje sieci szkieletowe i konwergentne. Jak stwierdził ETSI, „MEC zapewnia nowy ekosystem i łańcuch wartości. Operatorzy mogą otworzyć swoją krawędź sieci dostępu radiowego (RAN) dla autoryzowanych stron trzecich, co pozwala im elastycznie i szybko

wdrażać innowacyjne aplikacje i usługi dla abonentów telefonii komórkowej, przedsiębiorstw i segmentów wertykalnych”. Oto kilka zalet Multi-Access Edge Computing:

- Optymalizacja operacji sieciowych i ruchu
- Zmniejszenie CAPEX/OPEX dla stron trzecich
- Zwiększenie przychodów TELCO, umożliwiając stronie trzeciej dostęp do zasobów przetwarzania w chmurze
- Oferuj nowe usługi dla przemysłu i przedsiębiorstw

Wreszcie usługi, które szybko mogą skorzystać z zasobów MEC, to:

- Pojazdy autonomiczne
- Drony
- Komunikacja holograficzna
- XR, AR, VR
- Platformy OTT (televizja UHD, strumieniowanie treści 4K i 8K)
- IIoT

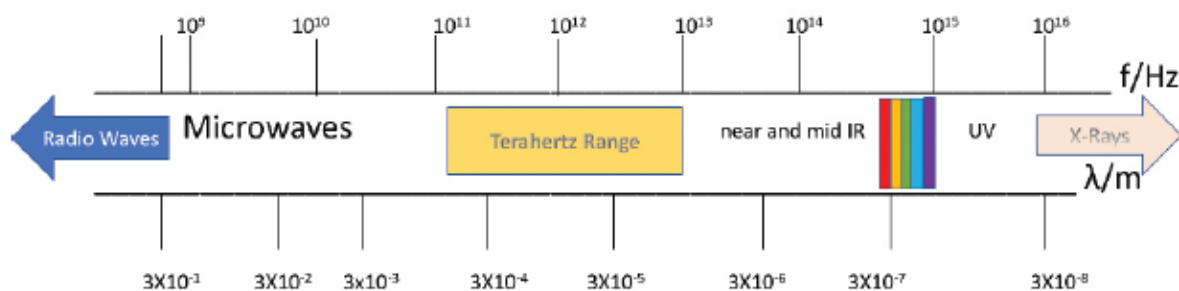
Tak więc znaczenie MEC będzie kontynuowane w erze 6G. Przyniesie korzyści kilku branżom i aplikacjom korporacyjnym, ponieważ umieści zasób blisko punktu zużycia, tworząc bardzo solidną sieć dostępu do chmury i radia.

Widmo RF i Optyczne

Biorąc pod uwagę ogromną ilość widma dostępnego dla pasm częstotliwości milimetrowych i centymetrowych, 6G pociągnie za sobą Ultra Massive-MIMO technologie zwiększające szybkość transmisji danych. Jak wiadomo, im wyższa częstotliwość, tym wyższa jest szybkość transmisji danych i sprawność energetyczna urządzenia. Dzięki temu częstotliwości terahercowe mogą przenosić więcej informacji w jednostce czasu w porównaniu z niższymi częstotliwościami i zapewniają dobrą kierunkowość. Wada jest związana z krótkim zasięgiem, jaki te sygnały radiowe mogą osiągnąć ze względu na ich podatność na zakłócenia i tłumienie. Aby przeciwdziałać zakłóceniu i tłumieniu sygnałów RF, technologia Ultra Massive MIMO jest przewidywana. Potrzebne są nowe ramy dla widma RF, aby zdefiniować użycie fal milimetrowych, zwłaszcza fal submilimetrowych w dominium terahercowym. Odcisk palca sygnału terahercowego oferuje szerokie pasmo. Widmo Radiowe zlokalizowane na falach submilimetrowych jest wielkimi kandydatami do przydziału jako przyszłe częstotliwości RF, które mają być licytowane dla 6G. Jak pokazano na poniższym wykresie, widmo terahercowe ma wiele częstotliwości nieprzydzielonych do celów komercyjnych, szczególnie powyżej pasma 275 GHz. Te pasma RF są gotowe do przetestowania w 6G Proof-of-Concept (PoC). Tabela przedstawia pasma częstotliwości ITU i ich charakterystyki w oparciu o odpowiednią metrykę fal.

ITU Band Number	Frequency Symbols	Frequency Range	Corresponding Metric	Metric Abbreviations for the band
3	ULF	300 – 3000 Hz	Hectokilometric waves	B.hkm
4	VLF	30 - 30 KHz	Myriametric waves	B.Mam
5	LF	30KHz – 300 KHz	Kilometric waves	B.km
6	MF	300KHz – 300 KHz	Hectometric waves	B.hm
7	HF	3 – 30 MHz	Decametric waves	B.dam
8	VHF	30 – 300 MHz	Metric Waves	B.m
9	UHF	300MHz – 3000 MHz	Decimetric Waves	B.dm
10	SHF	3 – 30 GHz	Centimetric Waves	B.cm
11	EHF	30 GHz – 300 GHz	Millimetric Waves	B.mm
12		300 – 3000 GHz	Decimillimetric Waves	B.dmm
13	THF	3 – 30 THz	Centimillimetric Waves	B.cmm
14		30 – 300 THz	Micrometric Waves	B.µm
15		300 – 3000 THz	Decimicrometric Waves	B.dµm

Niezwykle wysoka częstotliwość (THF) to kandydaci na część widma 6G RF. Widmo THF składa się z pasm częstotliwości wahających się od 0,3 do 30 THz przez ITU. Rysunek przedstawia widmo terahercowe.



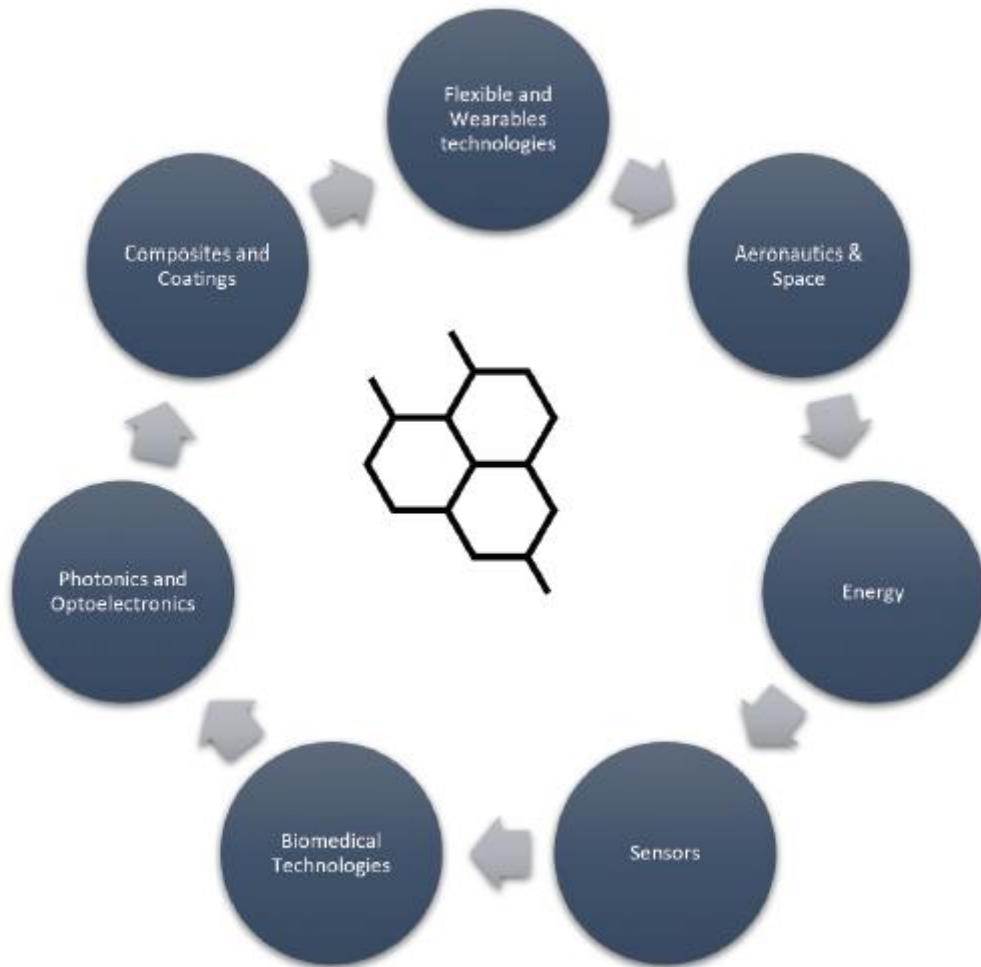
Komunikacja terahercowa nie jest całkowicie nowa. Badania nad transmisją danych w domenie częstotliwości terahercowych przyniosły obiecujące wyniki, przede wszystkim w zakresie dostarczania wysokich przepływności wahających się od gigabitów na sekundę do terabitów na sekundę. Jeden z pionierskich przykładów pochodzi z 2011 roku, kiedy to japońska firma ROHM twierdziła, że osiąga prędkość danych 1,5 Gb/s przy częstotliwości 300 GHz, a rok później badacze z Tokyo Institute of Technology wykonali bezprzewodową transmisję danych 3 Gb/s przy częstotliwości 542GHz. Potrzebne są dalsze badania nad optymalnymi pasmami częstotliwości 6G, szczególnie z komunikacji NLOS. Jednak z drugiej strony przeszkodą w obsłudze komunikacji terahercowej jest to, że tak wysokie częstotliwości wymagają szybszych prądów przemiennych. Elektrony nie będą podróżować wystarczająco szybko, aby urządzenie 5G mogło działać, zanim napięcie zmieni polaryzację, a elektrony zmienią kierunek. IEEE (Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników) utworzył Grupę Zadaniową Teraherc, aby rozwijać inicjatywy w tym obszarze i standaryzować rozwiązania w domenie terahercowej. Grupa zadaniowa IEEE jest znana jako IEEE 802.15.3d, która ma na celu zbadanie zakresu częstotliwości terahercowych między 252 GHz a 325 GHz. Niemniej jednak należy zauważyć, że nie ma częstotliwości przydzielonych do celów komercyjnych powyżej 275 GHz. Istnieje wiele technologii wykorzystujących te długości fal do konkretnego zastosowania. Tabela przedstawia niektóre technologie terahercowe stosowane w różnych branżach.

Terahertz Frequency Band	Application	Data Rate
275 GHz	Astronomy	
≤ 275 GHz	Molecular Detection	
≤ 275 GHz	Security Inspection	
≤ 275 GHz	Biomedicine	
≤ 275 GHz	Wireless Communications	up to 1Tbps
≤ 275 GHz	Radar	
	Super Proximity Communications (USB 3.1)	up to 32 Gbps
	Wireless Backhauling/Fronthauling	24Gbps up to 100 Gbps
	Wireless Link between Servers	Gbps
	THz WLAN	10 Gbps

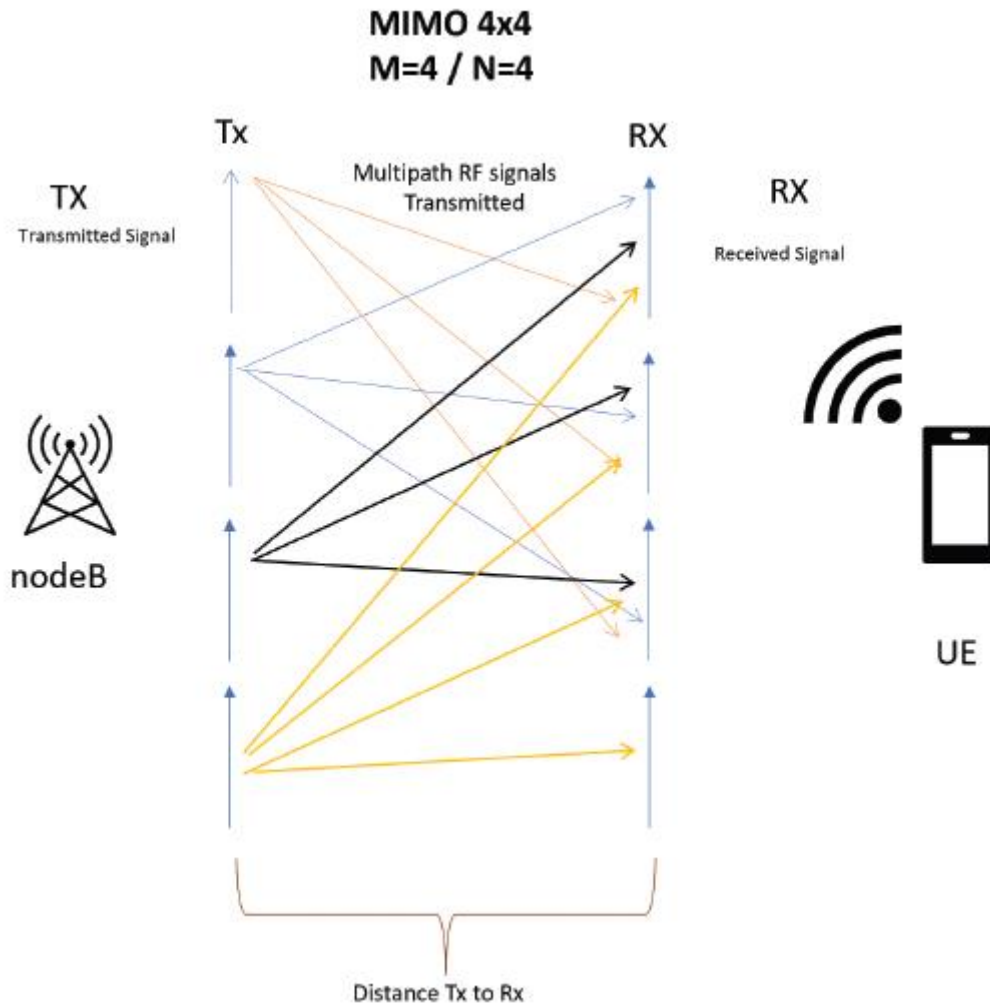
Niemniej jednak badania wykazały, że wprowadzenie komunikacji bezprzewodowej w technologii terahercowej będzie wymagało poprawy stosunku sygnału do szumu (SNR), wydajności widma i wzmocnienia anteny w pasmach THz. W tym celu stworzono technologię MIMO i konieczne jest rozmieszczenie setek, a nawet tysięcy mikro i nanoanten.

Ultra-masywne MIMO i grafen

Aby wzmocnić łączność bezprzewodową terahercową, pierwiastek chemiczny grafenu okazał się pomagać w jego potencjale. Grafen początkowo jest pierwiastkiem materiałów węglowych, działa jako doskonały półprzewodnik. Laureaci nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 2010 roku Andre Geim i Konstantin Novoselov odkryli grafen. Element jest najcieńszym i najmocniejszym materiałem węglowym o najbardziej obiecujących właściwościach. Od czasu odkrycia grafenu wykorzystuje się go w wielu zastosowaniach przemysłowych. Komisja Europejska stworzyła Graphene Flagship, aby zbadać potencjalne zastosowania tego związku chemicznego. Na przykład nanotechnologie można wykorzystać do tworzenia nieskończenie małych macierzy anten MIMO, które działają niesamowicie dobrze w widmie radiowym THF, aby przesyłać dane z prędkością terabitów na sekundę. Rysunek przedstawia pola badań Grafenu.



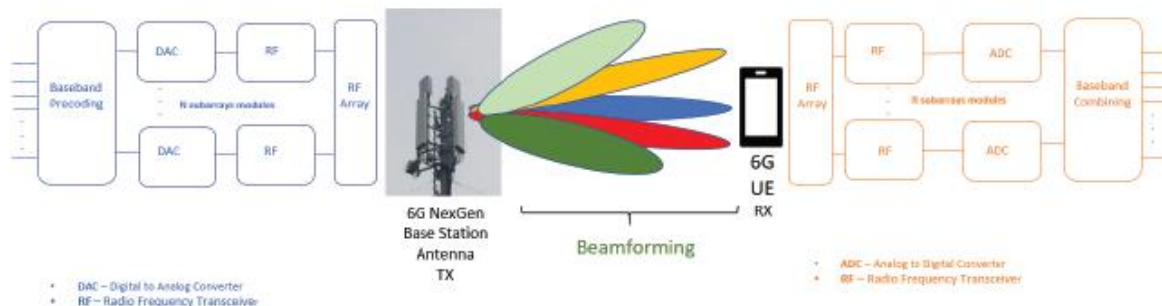
Grafen będzie kierował produkcją technologii UM-MIMO na dużą skalę. Zasada działania anteny MIMO opiera się na zjawisku wielościeżkowej propagacji sygnałów radiowych przez obszar. Sygnał wielościeżkowy jest naturalnym efektem, który jest powodowany przez nadawany sygnał RF, który dociera do anteny różnymi drogami w wyniku jego odbicia od otoczenia podczas rozprzestrzeniania się. Wynik sygnału wielościeżkowego to połączony efekt konstruktywnych i destrukcyjnych zakłóceń na oryginalny sygnał RF, który powoduje zanikanie i interferencja międzysymbolowa. Technologia MIMO wykorzystuje anteny M do wysyłania 58 sygnałów z wielu ścieżek do miejsca docelowego N anten, które są w stanie odtworzyć oryginalną wiadomość przychodzącą z wielu ścieżek. Rysunek przedstawia sposób działania technologii MIMO w celu zrekonstruowania przesyłanego sygnału.



MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output Antennas) konfiguruje szereg anten, aby przeciwdziałać skutkom sygnałów wielościeżkowych i poprawić całkowitą wydajność transmisji danych. Co więcej, połączenie grafenu do produkcji ultrakompaktowych nanoanten plazmonicznych umożliwi stworzenie UM-MIMO działającego w domenie THz z konfiguracją tysięcy anten w jednym układzie antenowym. Taka technologia pozwoli transceiverom na transmisję 1 Tbps przy użyciu UM-MIMO w konfiguracji 1024X1024 w paśmie częstotliwości wahającym się od 0,3 THz do 1 THz. Oto zalety wdrożenia UM-MIMO:

- Zwiększenie zasięgu komórki w sieci komórkowej
- Zwiększenie wielokrotności szybkości transmisji danych UE
- Włącz korzystanie z mmWave
- Kształtowanie wiązki w celu ominięcia utraty ścieżki

Rysunek przedstawia elementy budulcowe technologii UM-MIMO.



W skrócie, UM-MIMO umożliwi transceivery współdzielenie zasobów, dostosuje nośne i zarządzanie wiązkami antenowymi dla wielu UE. Kolejnym wsparciem dla komunikacji THz jest implementacja technologii radia holograficznego. Zachowanie radia holograficznego w taki sam sposób, jak przetwarzanie obrazu holograficznego. W tej architekturze antena jest czujnikiem rejestrującym, który wychwytuje formę elektromagnetyczną i ją rekonstruuje. Dlatego ostatecznie badania nad hologramami RF są płodne i wydaje się, że jest to kandydat do prowadzenia zaawansowanych technik przetwarzania sygnału wraz z UM-MIMO. Aby wesprzeć przekazywanie danych w chmurze 6G Cloud RAN do wewnętrznej komórki bezprzewodowej lub zwiększyć szybkość transmisji danych backhaul, rozważana jest również optyczna komunikacja bezprzewodowa (OWC). Komunikacja OWC jest również częścią domeny częstotliwości terahercowej, ale znajduje się w widmie optycznym domeny THz. Badania nad OWC również postępują, głównie dlatego, że widmo RF jest ograniczone, a widmo optyczne ma wiele możliwości do zaoferowania dla komunikacji NLOS. Technologie te umożliwią również wysoką optyczną komunikację bezprzewodową w obszarach wewnętrznych i zewnętrznych, w tym łącza fronthaul-backhaul w przyszłej architekturze 6G. Technologie OWC można podzielić na:

- FSO – komunikacja optyczna w wolnej przestrzeni
- VLC – komunikacja w świetle widzialnym
- OCC – komunikacja z kamerą optyczną
- LiFi – Light Fidelity lub sieć bezprzewodowa ze światłem

Transmisje optyczne okazały się przesyłać setki gigabitów na sekundę. Wykorzystali również proces transmisji danych modulacji Intensyfikacji Modulacji/Bezpośredniej Detekcji (IM/DD). Jednak OWC wymaga dalszych badań, zwłaszcza w domenie bezprzewodowej, ponieważ jednym z wyzwań jest kontrolowanie źródła światła komponentu LED. Komponenty LED mają pewne ograniczenia, takie jak ograniczona pojemność. Z drugiej strony OWC oferuje wysokie bezpieczeństwo w porównaniu z tradycyjną łącznością bezprzewodową oraz niższą wrażliwość na zakłócenia. Komunikacja Visual Light zapewni dodatkowe opcje wdrażania sieci 6G HetNets. OWC (optyczna komunikacja bezprzewodowa) zdwersyfikuje komunikację bezprzewodową, zapewniając różne orkiestracje dla łączności bezprzewodowej z wyborami wykraczającymi poza spektrum terahercowe.