

Sieć komunikacyjna 6G i nowe technologie

Streszczenie. Sieć komunikacji bezprzewodowej szóstej generacji (6G) zostanie docelowo zintegrowana z komunikacją naziemną, powietrzną oraz morską, w celu poprawy jej niezawodności, szybkości i zwiększenia liczby obsługiwanych urządzeń przy bardzo małych opóźnieniach. W artykule zostanie przedstawiony przegląd sieci 6G wraz z pojawiającymi się technologiami z nią związanymi.

Abstract. The sixth-generation (6G) wireless communication network here is going to integrate with terrestrial, aerial, and maritime communications to make network robust that will be more reliable, fast, and will support a massive number of devices with ultra-low latency requirements. In this paper, an overview will be provided of 6G network along emerging technologies associated with it. (**6G Communication Network & Emerging Technologies**).

Słowa kluczowe: sieci bezprzewodowe, komunikacja mobilna 6G, transmisja terahercowa, IoT.

Keywords: wireless networks, 6G mobile communication, terahertz communications, IoT.

Wstęp

W dziedzinie komunikacji bezprzewodowej, a zwłaszcza komunikacji mobilnej (w szczególności stosowanej od wielu lat w telefonach komórkowych), są wprowadzane różnego rodzaju liczne rewolucyjne, jak na swój czas, rozwiązania. Pierwszy analogowy system komunikacji powstał w latach 80. XX wieku, a co mniej więcej 10 lat wprowadzano nową generację komunikacji. Główną cechą przenoszenia z jednej generacji na drugą jest poprawa wskaźnika QoS i dodanie nowych funkcji. Już w pierwszych latach wprowadzono w technologii 3G możliwość korzystania z Internetu. W niedługim czasie, po wprowadzeniu technologii 4G, zostało to znacząco ulepszone. Technologia czwartej generacji 4G LTE (Long Term Evolution) zwiększyła przepustowość dostępną dla smartfonów, zapewniając przepustowość szerokopasmową. Poprawiła się także jakość połączeń głosowych.

Obecnie jest wdrażana technologia 5G, najnowsza generacja sieci komórkowych, która zapewnia znacznie większą liczbę funkcji niż 4G. Łączy w sobie wiele różnych technologii w celu znacznego zwiększenia przepustowości, zmniejszenia opóźnień transmisji i poprawy oszczędności energii. Oczekuje się, że technologia 5G może zapewnić połączenia Internetowe co najmniej 40 razy szybsze niż technologia 4G LTE. Jednak pomimo dużej szybkości, również ta technologia wciąż nie jest w stanie obsłużyć wystarczająco dużej liczby urządzeń IoT [1].

Głównym celem rozwoju B5G i 6G jest zwiększenie odpowiednich możliwości w porównaniu z poprzednimi systemami. Poza problemami związanymi z samą siecią 5G należy rozwiązać także pewne inne kwestie, do których między innymi należą: większa pojemność sieci, większa szybkość transmisji danych, mniejsze opóźnienia, większe bezpieczeństwo i lepsza jakość usług (QoS) [2].

Ewolucja systemu komunikacji nowej generacji, systemu sieci komunikacyjnej 6G, ma na celu rozwiązanie problemu związanego z 5G, wysokiej wydajności widmowej i energetycznej, niskiego opóźnienia i ogromnej liczby użytkowników ze względu na znaczny wzrost liczby urządzeń Internetu rzeczy (IoT). Urządzenia IoT będą realizować zaawansowane usługi, takie jak inteligentny ruch, monitorowanie i kontrola środowiska, rzeczywistość wirtualna, wirtualna nawigacja, telemedycyna, wykrywanie cyfrowe, transmisja wideo w wysokiej rozdzielczości (Full HD i 4k) w podłączonych dronach i robotach. Przewiduje się, że do roku 2025 liczba urządzeń IoT może osiągnąć 25 miliardów [1] lub nawet znacznie więcej, a dla istniejących technik wielodostępu obsługa tak ogromnej liczby urządzeń jest bardzo trudna.

Szybki rozwój różnych nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja (Artificial Intelligence, AI), łańcuch bloków (blockchain), przetwarzanie w chmurze (cloud computing), rzeczywistość wirtualna (Virtual Reality, VR), media trójwymiarowe (three-dimensional media, 3D) czy Internet wszystkiego (Internet of Everything, IoE), doprowadził do ogromnego natężenia ruchu sieciowego [2]. W 2010 r. natężenie ruchu na świecie wyniosło nieco ponad 7 EB/miesiąc, a przewiduje się, że w 2030 r. ruch ten wyniesie 5016 EB/miesiąc [2].

Analizując dane wykazano, że do obsługi nowych technologii wymagana jest poprawa sieci komunikacyjnej. W niektórych częściach świata sieć 5G została już wdrożona, a w wielu innych zostanie uruchomiona wkrótce. Zakłada się, że do 2025 r. sieć 5G stanie się powszechna na całym świecie. Obecnie już widać, że sieć 5G wymaga pewnych znaczących ulepszeń w stosunku do istniejących systemów, chociażby z tego względu, że systemy komunikacji 5G nie będą w stanie spełnić wymagań przyszłych pojawiających się systemów inteligentnych i automatyki [4].

W ciągu ostatnich lat mobilny ruch danych wzrósł ze względu na wprowadzenie inteligentnych urządzeń i komunikacji maszyna-maszyna (M2M). Oczekuje się, że globalny wolumen ruchu mobilnego wzrośnie 670 razy w 2030 r. w porównaniu z ruchem mobilnym w 2010 r. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) przewiduje, że do końca 2030 r. łączny ruch w sieci komórkowej przekroczy 5 ZB miesięcznie. Liczba abonentów mobilnych wyniesie 17,1 miliarda w porównaniu z 5,32 miliarda w 2010 roku. Prognozuje się, że wykładniczo wzrośnie wykorzystanie M2M. Wzrośnie także natężenie ruchu na każdym urządzeniu mobilnym.

W porównaniu do komunikacji sieciowej 4G, sieć 5G zapewnia nowe funkcje i lepszą jakość usług, obejmuje nowe, dodatkowe techniki, takie jak fale milimetrowe, zaawansowane wykorzystanie widma i współdzielenie sieci. Jednak szybki rozwój systemów zorientowanych na dane i automatyzowanych może już w niedługim czasie przekroczyć możliwości sieci bezprzewodowych 5G. Komunikacja 5G obejmuje pewne funkcje inteligencji, wykrywania, kontroli i obliczeń. Przyszłe zastosowania IoE będą wymagały konwergencji tych funkcji. Niektóre urządzenia, takie jak urządzenia VR, muszą wykraczać poza 5G (B5G), ponieważ wymagają szybkości transmisji danych wynoszącej co najmniej 10 Gb/s [5]. Przewiduje się, że technologia 5G osiągnie swoje granice już w 2030 r. [2].

Sieć komunikacyjna 6G wymaga silnie rozbudowanych interfejsów człowiek-maszyna, masowego i powszechnego

przetwarzania danych na urządzeniach lokalnych i w chmurze, połączenia danych pochodzących z różnych źródeł, różnego rodzaju czujników, które umożliwią doświadczenia rzeczywistości wirtualnej i mieszanej, a także dużej precyzji w odbieraniu bodźców zewnętrznych oraz sterowaniu otoczenia [6]. Przewiduje się, że opracowanie standardu 6G nastąpi najpóźniej do 2030 r. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU-R) opracował obowiązujące wymagania Międzynarodowego Związku Telekomunikacji Ruchomej-2020 (Standard IMT-2020) w 2015 r. dla standardów sieci 5G. Przewiduje też w przyszłości sfinalizowanie standaryzacji 6G. W 2018 r. ITU powołała fokusową grupę roboczą do badania technologii systemowych dla systemów B5G/6G [6]. Akademia Fińska założyła 6Genesis, flagowy program skupiający się na technologiach 6G. Wiele innych krajów również już rozpoczęło badania nad technologiami komunikacyjnymi B5G/6G.

Aby osiągnąć cel, jakim jest sieć 6G i pokonać ograniczenia 5G w zakresie obsługi nowych wyzwań, konieczne jest opracowanie systemów bezprzewodowych B5G z nowymi funkcjami. Sieci komunikacyjne 6G wypełnią braki systemu 5G poprzez wprowadzenie nowych przyszłych usług, takich jak inteligencja wykrywania otoczenia oraz nowe interakcje człowiek-człowiek i człowiek-maszyna, a także powszechne wprowadzenie sztucznej inteligencji oraz włączenie nowych technologii, takich jak transmisja terahercowa, sieci trójwymiarowe, komunikację kwantową, kształtowanie wiązki holograficznej, komunikację z rozproszeniem wstecznym, inteligentną powierzchnię odbijającą (IRS) i proaktywne buforowanie [7].

Architektura komunikacji 6G

Komunikacja nowej generacji obejmuje dużą liczbę podłączonych urządzeń oraz stacje bazowe (BS) - punkty dostępowe (AP) - prowadzące do mMTC. Ogromna ilość danych wytwarzanych przez liczne urządzenia będzie wymagała bardzo wydajnych jednostek przetwarzających i solidnych łączy typu backhaul. Jednostki centralne mogą wykorzystywać algorytmy ML i AI, a łącza typu backhauling mogą wykorzystywać komunikację światłowodową i/lub foniczną. Użytkownik zdalny w systemach komunikacji 6G może używać wielu przekaźników lub nadajników do transmisji dla zdalnego użytkownika, a SINR użytkownika można poprawić poprzez zastosowanie techniki różnorodności, tak jak w wirtualnych systemach MIMO.

Istnieje 5 głównych komponentów sieci komunikacyjnej 6G. Głównym elementem jest „interfejs powietrzny”, który wprowadza znaczną poprawę w systemach bezprzewodowych. W systemach 3G kluczową rolę odgrywało kodowanie i wielodostęp CDMA. Podobnie multipleksowanie z ortogonalnym podziałem częstotliwości (OFDM) odegrało ważną rolę w rozwoju 4G. Opracowanie nowego interfejsu radiowego będzie istotnym elementem architektury systemu 6G. AI i ML to kolejne ważne elementy 6G, istotne w samoorganizacji, samorekonfiguracji i samonaprawie systemów bezprzewodowych 6G. W sieci 6G zostaną wykorzystane nowe pasma częstotliwości, co będzie istotnym elementem nowej architektury systemu 6G.

Ponieważ sieć 6G będzie obsługiwać szeroką gamę urządzeń komunikacyjnych, od Internetu Rzeczy po transmisję wideo HD na żywo, sieć 6G będzie musiała być zgodna ze wszystkimi poprzednimi technologiami. Dlatego też elastyczna i wieloradiowa architektura systemu technologii dostępu (RAT) będzie istotnym elementem sieci 6G. Za pomocą sieci komunikacyjnej 6G można pokryć globalnie wszystkie widma, wdrożyć nowe technologie i zastosować w niej zabezpieczenia sieci.

Zastosowanie technologii 6G

Na podstawie oceny dotychczasowej ewolucji sieci komórkowych można stwierdzić, że początkowy rozwój sieci 6G opiera się głównie na architekturze 5G. W sieci 6G wdrożono kilka nowych technologii i wykorzystano niektóre stare funkcje sieci 5G. Wybrane technologie zastosowane w 6G przedstawiono poniżej.

1) Sztuczna inteligencja (AI). Jedną z najważniejszych nowych technologii wprowadzonych w 6G jest sztuczna inteligencja. W standardzie 4G sztuczna inteligencja nie była używana. W 5G AI jest obsługiwana częściowo. W sieciach 6G w celu automatyzacji sztuczna inteligencja zostanie już w pełni zaimplementowana. Komunikacja w czasie rzeczywistym w sieci 6G może zostać wdrożona dzięki postępowi w uczeniu maszynowym. Dzięki wdrożeniu sztucznej inteligencji w standardach komunikacyjnych 6G zostanie zwiększona wydajność sieci, a opóźnienia w komunikacji zostaną zmniejszone. Sztuczna inteligencja będzie również odgrywać kluczową rolę w komunikacji maszyna-maszyna (M2M) oraz komunikacji maszyna-człowiek i człowiek-maszyna. Technologia AI pomoże osiągnąć cele usług uMUB, uHSLLC, mMTC i uHDD w komunikacji 6G [7].

2) Komunikacja terahercowa. Zwiększanie szerokości pasma zwiększa wydajność widmową. Przepustowość można zwiększyć poprzez poszerzenie pasma częstotliwości i zastosowanie zaawansowanych technologii wielu wejść i wielu wyjść (MIMO). W 5G wprowadzono fale milimetrowe w celu zwiększenia szybkości transmisji danych i umożliwienia nowych zastosowań.

Obecnie 6G ma na celu przesunięcie granic pasma używanych częstotliwości do THz, aby sprostać jeszcze większemu zapotrzebowaniu. Pasma RF zostało już prawie w całości zajęte i obecnie jest niewystarczające, aby sprostać wysokim wymaganiom 6G. Pasma THz będzie odgrywać ważną rolę w komunikacji 6G [5, 8]. Pasma THz ma przełamać kolejną granicę w komunikacji o dużej przepustowości. Fale THz, znane również jako promieniowanie submilimetrowe, zwykle odnoszą się do zakresu częstotliwości od 0,1 THz do 10 THz z odpowiadającymi im długościami fal w zakresie 0,03 mm–3 mm. Kiedy pasmo THz zostanie dodane do istniejącego pasma mmWave, całkowita pojemność pasma wzrośnie ponad 11-krotnie.

3) Bezprzewodowa technologia optyczna (OWC). Technologie OWC są przeznaczone do komunikacji 6G jako dodatek do komunikacji opartej na częstotliwości radiowej dla wszystkich możliwych sieci. Sieci te uzyskują również dostęp do połączeń sieciowych typu backhaul / fronthaul. Technologie OWC są stosowane od czasów systemów komunikacji 4G. Jednak w przyszłości będą szerzej stosowane, aby sprostać wymaganiom systemów komunikacji 6G.

Technologie OWC, takie jak komunikacja w świetle widzialnym (VLC), komunikacja za pomocą kamer optycznych i komunikacja FSO w oparciu o pasmo optyczne są już dobrze znanymi technologiami [2]. Te technologie komunikacyjne będą szeroko stosowane w komunikacji V2X, pozycjonowaniu robotów mobilnych w pomieszczeniach, czy VR. Komunikacja oparta na bezprzewodowych technologiach optycznych może zapewnić bardzo dużą szybkość transmisji danych, małe opóźnienia i bezpieczną komunikację. LiDAR, który również opiera się na paśmie optycznym, jest obiecującą technologią do mapowania 3D o bardzo wysokiej rozdzielczości w komunikacji 6G. OWC przyczyni się do poprawy obsługi usług uMUB, uHSLLC, mMTC i uHDD w systemach komunikacyjnych 6G. Rozwój technologii diod

elektroluminescencyjnych (LED) i technik multipleksowania to dwa najważniejsze czynniki napędzające OWC w 6G [8].

4) Sieć FSO Fronthaul / Backhaul. Ze względu na konieczność transmisji na duże odległości łączność światłowodowa nie zawsze jest możliwa w przypadku sieci typu backhaul. Co więcej, instalacja łączy światłowodowych dla małych sieci komórkowych może nie być rozwiązaniem opłacalnym. Sieć typu fronthaul / backhaul FSO jest popularna w przypadku systemów komunikacyjnych o pojemności 5 GB [9, 10, 11]. Charakterystyka nadajnika i odbiornika systemu FSO jest podobna do sieci światłowodowych. Dzięki temu transfer danych w systemie FSO jest porównywalny z systemem światłowodowym. Dlatego też, wraz z sieciami światłowodowymi, FSO jest doskonałą technologią zapewniającą łączność typu fronthaul / backhaul w 6G.

Dzięki FSO możliwa jest komunikacja na bardzo duże odległości, nawet ponad 10 tyś. km. FSO obsługuje łączność typu fronthaul / backhaul o dużej przepustowości w odległych obszarach, takich jak morze, przestrzeń kosmiczna, podwodne i odizolowane wyspy. FSO obsługuje także łączność komórkową BS. FSO typu fronthaul / backhaul jest częstym problemem zarówno w sieciach 5G, jak i 6G. Jednak FSO ma większe znaczenie w przypadku 6G, ponieważ wymaga większej przepustowości łączności typu fronthaul / backhaul oraz będzie potrzebować większej liczby połączeń zdalnych w porównaniu z 5G.

Komunikacja FSO może obsługiwać obie funkcje i stała się istotną kwestią dla systemu komunikacji 6G w celu usprawnienia usług uMUB i uHSLLC. Nadajnik LD wytwarza wąskie wiązki skupionego światła. Wiązki te służą do ustanawiania łączy komunikacyjnych typu punkt-punkt o dużej szybkości transmisji danych pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Systemy FSO wykorzystują technologię laserową do transmisji sygnału. Komunikacja na duże odległości jest możliwa dzięki optycznemu kształtowaniu wiązek w systemach FSO. System hybrydowy FSO/RF będzie jedną z kluczowych cech łączności typu fronthaul / backhaul opartej na FSO w 6G, aby pokonać ograniczenia wynikające z efektów atmosferycznych [2].

5) Masywne MIMO i inteligentne powierzchnie odbijające. Do obsługi usług uHSLLC, mMTC i uHDD w systemach 6G kluczowa będzie technologia masywnego MIMO. Aby poprawić wydajność widmową, zastosowano technikę MIMO. Wraz z rozwojem techniki MIMO rozwijana jest również wydajność widmowa. Dlatego masywny MIMO będzie integralną częścią systemów 5G i 6G ze względu na potrzebę lepszej wydajności widmowej i energetycznej, wyższych szybkości transmisji danych i wyższych częstotliwości [12]. W porównaniu z 5G spodziewamy się przejścia z tradycyjnego, masywnego MIMO na rzecz IRS w systemach bezprzewodowych 6G, aby zapewnić duże powierzchnie do komunikacji bezprzewodowej i urządzeń heterogenicznych.

IRS to najnowsza technologia sprzętowa, która ma ogromny potencjał w zakresie energooszczędnej, ekologicznej komunikacji. Jest również nazywana metapowierzchnią i składa się z wielu jednostek diod odbijających, które mogą odbijać wszelkie padające sygnały elektromagnetyczne z regulowanym przesunięciem fazowym. Przewiduje się, że inteligentne powierzchnie z możliwością rekonfiguracji będą stanowić masywne MIMO 2.0 w 6G. Materiały te mogą integrować modulację indeksu w celu zwiększenia wydajności widmowej w sieciach 6G.

Zniżanie gradientowe i programowanie frakcyjne znacząco optymalizują odpowiednio inteligentne przesunięcia fazowe powierzchni i moc nadawania. Dzięki regulowanemu odbitemu sygnałowi z przesunięciem fazowym i przesyłanemu sygnałowi możemy również

poprawić efektywność energetyczną systemu. Technologia ta będzie uważana za doskonałe rozwiązanie umożliwiające maksymalizację szybkości transmisji danych i minimalizację mocy nadawczej w nadchodzących sieciach 6G.

6) Blockchain. Do zarządzania ogromnymi danymi w przyszłym systemie komunikacyjnym Blockchain jest technologią niezbędną. Blockchain to technologia rozproszonego rejestru. Księga rozproszona to historyczny zbiór danych, tzw. baza danych, która jest rozproszona w wielu węzłach lub urządzeniach komputerowych. Każdy węzeł replikuje i zapisuje identyczną kopię księgi. Sieci peer-to-peer zarządzają łańcuchami bloków. Może istnieć bez kontrolowania go przez scentralizowany organ lub serwer. Dane w łańcuchu bloków są gromadzone i układane w bloki. Bloki są łączone i zabezpieczone za pomocą kryptografii. Blockchain jest doskonałym uzupełnieniem ogromnego Internetu Rzeczy z poprawionym bezpieczeństwem, prywatnością, interoperacyjnością, niezawodnością i skalowalnością [3, 7, 12].

Technologia Blockchain zapewnia szereg udogodnień, takich jak interoperacyjność między urządzeniami, identyfikowalność ogromnych danych, autonomiczne interakcje różnych systemów IoT oraz niezawodność masowej łączności systemów komunikacji 6G, aby osiągnąć cel, jakim jest usługa uHSLLC. Blockchain buduje zaufanie między aplikacjami sieciowymi, eliminując konieczność korzystania z zaufanych pośredników.

Funkcje Blockchain, takie jak zdecentralizowana odporność na manipulacje i poufność, stwarzają możliwość uczynienia go idealnym do wielu zastosowań w komunikacji 6G. Tworzy bezpieczne i weryfikowalne podejście do zarządzania widmem poprzez zapewnienie przejrzystości i zapobieganiu nieautoryzowanemu dostępowi. Blockchain łączy rozproszoną strukturę sieci, mechanizm konsensusu i zaawansowaną kryptografię, aby reprezentować obiecujące funkcje, które nie są dostępne w istniejących strukturach. Rozproszony charakter eliminuje problem pojedynczego punktu awarii i zwiększa bezpieczeństwo.

Głównym wyzwaniem sieci blockchain w 5G jest przepustowość (10–1000 transakcji na sekundę). Kolejnym wyzwaniem jest zapotrzebowanie na lokalną i międzynarodową standaryzację oraz regulację masowego przyjęcia blockchainu w 5G. Mimo to 5G uwzględniła kwestię płynnej interoperacyjności między różnymi platformami blockchain. Ograniczenia można złagodzić w sieci 6G, stosując algorytmy konsensusu, stosując nowatorską architekturę blockchain i techniki udostępniania oraz zwiększając rozmiar bloku sieci [2].

7) Sieć 3D. Aby wspierać komunikację użytkowników w pionowym rozszerzeniu, system 6G będzie integrował także sieci naziemne i powietrzne. Satelity niskoorbitalne i UAV są dostarczane przez BS 3D [2]. Dodanie nowych wymiarów w zakresie wysokości i powiązanych stopni swobody sprawia, że łączność 3D znacznie różni się od konwencjonalnych sieci 2D. Zasięg 3D zostanie osiągnięty dzięki heterogenicznym sieciom 6G. Zdecentralizowane sieci 6G z integracją sieci naziemnych, sieci UAV i systemów satelitarnych rzeczywiście zapewniają globalny zasięg i rygorystyczny, płynny dostęp, nawet w przypadku obszarów oceanicznych i górskich.

8) Integracja bezprzewodowego przesyłania informacji i energii (WIET). W 6G najbardziej innowacyjną technologią jest WIET. WIET wykorzystuje te same pola i fale, co systemy komunikacji bezprzewodowej. Czujniki i smartfony są ładowane poprzez bezprzewodowe przesyłanie energii podczas komunikacji. WIET jest obiecującą technologią wydłużającą żywotność bezprzewodowych systemów ładowania akumulatorów [2]. Tym samym urządzenia bez baterii będą obsługiwane w połączeniach 6G. Co więcej,

odzież monitorująca bezpośrednio otoczenie stwarza możliwość ciągłego monitorowania fizjologii za pomocą czujników bezbateryjnych w sektorze medycznym [2].

9) Integracja wykrywania i komunikacji. Kluczowym czynnikiem napędzającym autonomiczne sieci bezprzewodowe jest zdolność do ciągłego wykrywania dynamicznie zmieniających się stanów środowiska i wymiany informacji pomiędzy różnymi węzłami [2]. W sieci 6G wykrywanie będzie ściśle zintegrowane z komunikacją w celu wspierania systemów autonomicznych. Ogromna liczba wykrywanych obiektów, skomplikowane zasoby komunikacyjne, wielopoziomowe zasoby obliczeniowe i wielopoziomowe zasoby pamięci podręcznej to czynniki stanowiące wyzwanie w osiągnięciu tej integracji.

10) Integracja sieci dostępowych typu backhaul. Gęstość sieci dostępowych w 6G będzie ogromna. Każda sieć dostępowa dotyczy łączności typu backhaul, takiej jak światłowody i sieci FSO. Sieci dostępne i dosyłowe będą ściśle zintegrowane, aby obsłużyć większość obecnych i przyszłych sieci dostępowych [2].

11) Analityka dużych zbiorów danych (Big Data). Analiza dużych zbiorów danych to złożony proces analizowania, który odkrywa informacje, takie jak ukryte wzorce, nieznanne korelacje i skłonności klientów, aby zapewnić kompleksowe zarządzanie danymi. Duże zbiory danych są gromadzone z wielu różnych źródeł, takich jak filmy, sieci społecznościowe, obrazy i czujniki. Technologia ta jest szeroko stosowana do obsługi dużej ilości danych w systemach 6G.

Oczekuje się, że możliwości wykorzystania ogromnej ilości danych, analizy dużych zbiorów danych i narzędzi głębokiego uczenia się przyspieszą rozwój sieci 6G poprzez automatyzację i samoopptymalizację. Jednym z przykładów zastosowania analityki Big Data jest redukcja opóźnień E2E. Połączenie uczenia maszynowego i dużych zbiorów danych określi najlepszą ścieżkę dla danych użytkownika za pomocą analizy predykcyjnych w celu zmniejszenia opóźnienia E2E w systemach 6G [13].

12) Proaktywne buforowanie. Masowe wdrażanie małych sieci komórkowych dla 6G jest jednym z kluczowych problemów mających na celu znaczne zwiększenie przepustowości sieci, zasięgu i zarządzania mobilnością. Spowoduje to duże przeciążenie ruchu łącza w dół na stacjach bazowych. Proaktywne buforowanie stało się niezbędnym rozwiązaniem pozwalającym zmniejszyć opóźnienia w dostępie i odciążeniu ruchu, poprawiając jakość obsługi użytkownika [2]. Prowadzone są badania nad wspólną optymalizacją proaktywnego przechowywania treści, zarządzania zakłóceniami, inteligentnego schematu kodowania i technik planowania, które również są niezbędne dla komunikacji 6G.

13) Holograficzne kształtowanie wiązki (HBF). Procedura przetwarzania sygnału, za pomocą której można sterować układem anten w celu przesyłania sygnałów radiowych w określonym kierunku, nazywa się kształtowaniem wiązki [14]. Jest to podzbiór inteligentnych anten lub zaawansowanych systemów antenowych. Do zalet kształtowania wiązki należy wysoki stosunek sygnału do szumu, zapobieganie zakłóceniom i odrzucaniu oraz wysoka wydajność sieci. Holograficzne kształtowanie wiązki (HBF) to nowa metoda kształtowania wiązki, która znacznie różni się od systemów MIMO, ponieważ wykorzystuje anteny definiowane programowo. HBF to korzystne podejście w 6G do wydajnej i elastycznej transmisji i odbioru sygnałów w wieloantenowych urządzeniach komunikacyjnych. W zakresie bezpieczeństwa warstwy fizycznej istotny jest bezprzewodowy transfer mocy, zwiększony zasięg sieci oraz pozycjonowanie HBF [2].

Wnioski

Wraz z ewolucją systemów komunikacji nowej generacji pojawiają się nowe funkcje. Obecnie wdrażana na całym świecie sieć 5G posiada wiele nowych funkcji znacząco zwiększających możliwości komunikacji. Z 5G wiążą się jednak pewne ograniczenia. Sieć 5G nie będzie w stanie w całości zaspokoić ciągle rosnącego zapotrzebowania na komunikację bezprzewodową. Dlatego potrzebne są nowe standardy komunikacji 6G, które ewoluują, a badania nad 6G wciąż trwają. W artykule przedstawiono perspektywę i sposoby osiągnięcia celu jakim jest komunikacja 6G. Postarano się także przedstawić możliwe zastosowania i technologie, które można użyć w komunikacji 6G, a także opisać możliwe wyzwania i kierunki badań, aby osiągnąć główne cele 6G. Oprócz wyjaśnienia wizji i celu komunikacji 6G, przedstawiono także niektóre technologie, które można zastosować w komunikacji 6G. Dzięki tym technologiom 6G może się stać dużo bardziej zaawansowanym standardem komunikacji bezprzewodowej niż 5G [15].

Autorzy: dr inż. Ryszard Bogacz, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: ryszard.bogacz@polsl.pl; dr inż. Beata Krupanek, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: beata.krupanek@polsl.pl.

LITERATURA

- [1] Akhtar M. W., Hassan S. A., Ghafar R., Jung H., Garg S., Hossain M. S., The shift to 6G communications: vision and requirements, *Human Centric Computing and Information sciences*, (2020)
- [2] Chowdhury M. Z., Shahjala M. D., Ahmed S., Jang Y. M., 6G Wireless Communication Systems Applications, Requirements, Technologies, Challenges and Research Directions, *IEEE Open Journal of the communications society*, (2020)
- [3] Gupta A. K., Singh M. P., A Study of Wireless Network: 6G Technology, *National Conf. Proceeding NCRIETS*, (2018)
- [4] Giordani M., Polese M., Mezzavilla M., Rangan S., Zorzi M., Toward 6G networks: Use cases and technologies, *IEEE Commun. Mag.*, 58 (2020), no. 3, 55–61
- [5] Mumtaz S. et al., Terahertz communication for vehicular networks, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 66 (2017), no 7, 5617–5625
- [6] Viswanathan H., Mogensen P. E., Communications in the 6G era, *IEEE Access*, 8 (2020), 57063-57074
- [7] Saad W., Bennis M., Chen M., A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems, *IEEE Network*, (2019)
- [8] Xia Q., Jornet J. M., Expedited neighbor discovery in directional terahertz communication networks enhanced by antenna sidelobe information, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 68 (2019), no. 8, 7804–7814
- [9] Gu Z., Zhang J., Ji Y., Bai L., Sun X., Network topology reconfiguration for FSO-based fronthaul/backhaul in 5G+ wireless networks, *IEEE Access*, 6 (2018), 69426–69437
- [10] Douik A., Dahrouj H., Al-Naffouri T. Y., Alouini M., Hybrid radio/free-space optical design for next generation backhaul systems, *IEEE Trans. Commun.*, 64 (2016), no. 6, 2563–2577
- [11] Bag B., Das A., Ansari I. S., Prokeš A., Bose C., Chandra A., Performance analysis of hybrid FSO systems using FSO/RF-FSO link adaptation, *IEEE Photon. J.*, 10 (2018), no. 3, 1–17
- [12] Zhang H., Dong Y., Cheng J., Hossain M. J., Leung V. C. M., Fronthauling for 5G LTE-U ultra dense cloud small cell networks, *IEEE Wireless Commun.*, 23 (2016), no. 6, 48–53
- [13] Basar E., Di Renzo M., de Rosny J., Debbah M., Alouini M., Zhang R., Wireless communications through reconfigurable intelligent Surfaces, *IEEE Access*, 7 (2019), 116753–116773
- [14] Strinati C. et al., 6G: The next frontier: From holographic messaging to artificial intelligence using subterahertz and visible light communication, *IEEE Veh. Tech. Mag.*, 14 (2019), no. 3, 42–50
- [15] Bogacz R., Krupanek B., Wprowadzenie do 6G. Specyfikacja, technologie, wyzwania, *Przegląd elektrotechniczny*, 98 (2022), nr 11, 160-164