

Sieci 6G i łączenie bytów

Ważnym elementem tworzenia i działania „cyfrowych bliźniaków” jest wydajna komunikacja. Choć wydawałoby się, że gigabitowe przepływności i krótkie czasy odpowiedzi (małe opóźnienia – nawet poniżej 1 ms) w sieciach 5G, zwłaszcza tych, które już niedługo będą działały w paśmie 26 GHz, wystarczą do odpowiedniego sprzęgnięcia „cyfrowych bliźniaków”, to jednak dopiero od sieci 6G – projektowanych i testowanych w doświadczalnych instalacjach – oczekuje się prawdziwego łączenia świata cyfrowego i fizycznego.

Użytkownicy sieci 6G będą mogli korzystać nie tylko z rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości (AR/VR), lecz także z tzw. wielozmysłowego doświadczenia komunikacji (*immersive communication*), umożliwiającego realistyczne odwzorowanie rzeczywistości fizycznej.

Na uruchomienie komercyjnych sieci 6G przyjdzie jeszcze poczekać kilka lat, przynajmniej do roku 2030. Technologią 6G zajmują się zarówno ośrodki badawcze największych dostawców urządzeń oraz operatorów, jak i uczelnie. Jak zawsze bardzo ważną rolę odgrywać będą organizacje standardyzacyjne, przede wszystkim ITU-R, Sektor Radiokomunikacji Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego, opracowujący i publikujący standardy techniczne i określający pasma częstotliwości. W ramach Grupy Studiów 5 ITU-R, która wypracowywała kolejne wersje standardów łączności mobilnej (IMT): IMT-2000, na którym bazuje łączność w sieciach 3G, IMT-Advanced (dla 4G) i IMT-2020 (dla 5G) działają już grupy robocze zajmujące się 6G – na razie pod zbiorczym tytułem „IMT for 2030 and beyond”.

Technikalnia

Sieci 6G mają wykorzystywać rozwijane wersje protokołów IPv6+, dzięki czemu mają działać jako *App-Aware*, automatycznie dostosowując parametry transmisji do wymagań obsługiwanych aplikacji sieciowych. Mają też być sieciami „natywnie chmurowymi” (*Cloud Native*), gdyż zakłada się przeniesienie większości ich oprogramowania do chmury. Dzięki temu można będzie skutecznie realizować dynamiczne dostosowywanie się do warunków i potrzeb nie tylko parametrów technicznych sieci, lecz także ich architektury i topologii.

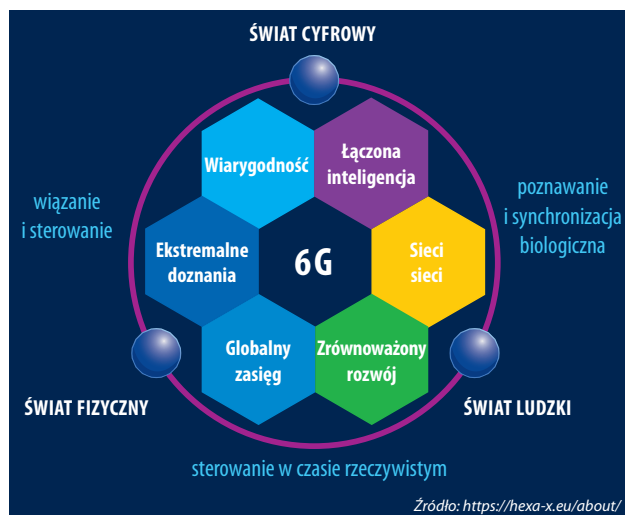
Zagadnieniami technicznymi, na których koncentrują się prace dotyczące 6G, są m.in. zaawansowana agregacja nośnych (*inter-carrier aggregation*) realizowana przez oprogramowanie

Europejskie konsorcjum Hexa-X, w skład którego wchodzi 25 firm i instytucji z 9 krajów, kierowane przez Nokię (lidera projektu) i Ericssona (menedżera technicznego) jako sześć głównych wyzwań dla sieci 6G podaje następujące tematy:

1. łączenie inteligencji – współpraca systemów AI/ML z ludźmi („human in the loop”);
2. sieć sieci – integracja różnorodnych urządzeń i systemów, od sieci mikrouządzeń wszczepianych w ludzkie ciała po sieci rozległe, w tym także satelitarne;
3. zrównoważone wykorzystywanie energii i innych zasobów;
4. globalny zasięg, w tym także na obszarach wiejskich i słabo zaludnionych oraz na morzach i oceanach;
5. ekstremalnie wysokie parametry techniczne – terabitowe przepływności przy opóźnieniach poniżej 1 milisekundy, ogromna pojemność sieci, wysoka precyzja lokalizacji i detekcji;
6. wiarygodność i bezpieczeństwo, odporność na awarie i ataki, niezawodność i stała dostępność, uzyskiwane dzięki rozwiązaniom AI/ML.

Konsorcjum jako tzw. europejska flagowa inicjatywa badawcza rozpoczęło działalność w styczniu 2021 r., dofinansowywane jest z unijnego programu badań i innowacji Horyzont 2020.

sterujące i umożliwiające operatorom zestawianie różnych parametrów komórek sieci w różnych pasmach częstotliwości w celu podwyższania przepływności i lepszego wykorzystania częstotliwości. Trwają też prace badawcze nad nowymi systemami antenowymi wykorzystującymi zaawansowane techniki modulacji, kolejne rozwiązania anten MIMO (*multiple input/multiple output*), przestrzennego formowania wiązek (*3D beamforming*) oraz kierowania wiązek w stronę użytkowników.



Tematyka sieci 6G przewidziana jest wśród sześciu grup tematycznych związanych ze standardami IMT, jakie mają być omawiane podczas WRC-23 (Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej), która odbędzie się w listopadzie i grudniu 2023 r. w Dubaju. Sieci 6G mają wykorzystywać bardzo wysokie pasma częstotliwości – od 100 GHz aż do 3 THz.

W dyskusjach na temat warunków i czynników rozwoju technologii 5G-Advanced i 6G, a także w opracowaniu „The 6G Architecture Landscape – European Perspective” podkreśla się m.in. konieczność zmiany modelu regulacyjnego sieci i gospodarki częstotliwościami. Na przykład dla wykorzystania wszystkich możliwości nowych sieci wypracowany przez dekady sztywny schemat przydziałów częstotliwości na całe lata i na całe obszary geograficzne – w zasadzie na całe kraje – musi zostać zastąpiony przez model dynamicznego przydziału częstotliwości w czasie i przestrzeni, w tym przydziałów na obszary lokalne, o „rozdzielczości” schodzącej nawet do poziomu pojedynczych mikrokomórek sieci.

Holografia i fantomatyka

Choć upłynęło już wiele dekad od pionierskich prac teoretycznych polskiego fizyka Mieczysława Wolfkego z 1920 r.

oraz teoretycznych i praktycznych osiągnięć Dennisa Gábo- ra, który za teorię i metodę otrzymywania obrazów hologra- ficznych dostał Nagrodę Nobla w 1971 r., to do dziś hologra- fia jeszcze nie ziszcila pokładanych w niej wielkich nadziei dotyczących generowania obrazów 3D. Holografia – choć znalazła już zastosowanie np. w diagnostyce urządzeń oraz medycznej – ciągle jeszcze kojarzy się z obrazem księżniczki Leii w „Gwiezdnym wojnach”, a studenci Wydziału Elektrycz- nego i Informatycznego mojej byłej Alma Mater, Budapesz- teńskiego Uniwersytetu Technicznego i Ekonomicznego, w westybulu budynku ich wydziału mogą oglądać zamknię- te w szklanych gablotkach monochromatyczne holograficz- ne portrety Dennisa Gábo- ra i Johna von Neumanna, dwóch wielkich uczonych pochodzących z Węgier.

Dopiero od sieci 6G oczekuje się praktycznej realizacji HTC (*Holographic-Type Communications*), umożliwiającej „zda- lną obecność” – przesyłanie w czasie rzeczywistym na nie- mal dowolną odległość trójwymiarowych obrazów bardzo wysokiej jakości. Potencjalne zastosowania HTC daleko wykraczają poza sztukę filmową czy streaming wideo – możliwość swobodnego oglądania jakiegoś przedmiotu czy istoty żywej ze wszystkich stron potrzebna jest w wielu dziedzinach: od telemedycyny (w tym telechirurgii) przez dydaktykę po zdalną diagnostykę, montaż i naprawy skom- plikowanych urządzeń. Transmisja holograficzna w wymie- nionych zastosowaniach wymaga nie tylko bardzo krótkich czasów reakcji, lecz także bardzo dużej przepustowości kanału komunikacyjnego. Dla obrazu holograficznego trze- ba przysłać nie tylko dane pozwalające uzyskać na miej- scu odbioru odpowiednią głębię koloru, rozdzielczość czy prędkość odtwarzania (liczbę klatek na sekundę), lecz tak- że dane wolumetryczne dotyczące wszystkich kierunków widzenia, z których chcemy oglądać pokazywany obiekt – czyli pozycji obserwatora w stosunku do oglądanego holo- gramu (mówi się w tym aspekcie o „6 stopniach swobody”). Transmisja ta oczywiście musi być dwukierunkowa, wspo- magana także innymi, odpowiednio synchronizowanymi strumieniami danych. I tu pojawia się następna dziedzina zastosowań, do których potrzebne będą sieci 6G: przeka- zywanie na odległość nie tylko trójwymiarowych obrazów, lecz także doznań zmysłowych – dotyku, smaku, zapachu. Na razie trudno sobie wyobrazić realizację transmisji od- czuwania wszystkimi zmysłami, choćby z uwagi na trud- ności w generowaniu tych odczuć jakimiś urządzeniami na miejscu odbioru. Pojawiają się jednak pomysły obejścia tej trudności przez przesyłanie odpowiednich danych nie do generatorów materialnych form umożliwiających odbiór dotykiem czy smakiem, ale do urządzeń przekazujących impulsy bezpośrednio do mózgu odbiorcy, gdzie tworzone będą odpowiednie odczucia. Warto przypomnieć, że idee takie formułował już w latach 60. Stanisław Lem w swoich futurologicznych esejach zgromadzonych w tomie „Summa Technologiae”, rozważając różne aspekty dziedziny, którą nazwał fantomatyką.

Tomasz Kulisiewicz