

## Wymagania Internetu Rzeczy a możliwości systemu 6G

**Streszczenie.** Celem artykułu jest zaprezentowanie nowych rozwiązań i koncepcji Internetu Rzeczy na potrzeby systemu 6G. Omówiono tematykę proponowanych nowoczesnych rozwiązań oraz wymagań stawianych technologii 6G w celu realizacji założeń IoT, loE oraz IIoT.. Artykuł zawiera też skrótywo przegląd generacji telefonii komórkowej pod kątem jej zastosowania w systemach Internetu Rzeczy.

**Abstract.** The aim of the article is to present new solutions and concepts of the Internet of Things for the needs of the 6G system. The subject of the proposed modern solutions and the requirements for 6G technologies in order to implement the assumptions of IoT, loE and IIoT were discussed. The article also contains a brief overview of the generation of mobile telephony in terms of its application in the Internet of Things systems.. (**Basic issues related to the Internet of Things in the 6G system**).

**Słowa kluczowe:** Internet Rzeczy, system 6G, generacje telefonii komórkowej, IoT, loE.

**Keywords:** Internet of Things, 6G system, mobile telephony generation, IoT, loE.

### Wstęp

Rosnące wymagania aplikacji używanych w systemach IoT na coraz większą przepustowość, coraz szybsze przesyłanie danych z coraz mniejszymi opóźnieniami powodują, że już dziś wiadomo, iż system 5G nie będzie w stanie im sprostać. Dlatego potrzeba nowoczesnych rozwiązań komunikacyjnych integrujących wszystkie usługi IoT i pozwalających na ich swobodne użytkowanie. Technologia 6G pozwoli na bezpośrednią komunikację milionom urządzeń przy opóźnieniach rzędu kilkudziesięciu mikrosekund, zapewniając zasięg przestrzenny 3D (nawet pod wodą, którego nie zapewnia technologia 5G) oraz dokładność lokalizacji rzędu centymetrów. Łączność pomiędzy urządzeniami IoT ma opierać się na podejściu rozproszonym bez stosowania gatewaya, za to z jednolitą autentykacją wszystkich urządzeń. IoT w systemach 6G ma również wspierać komunikację mózg – komputer oraz integrację wszystkich zmysłów człowieka z chmurą (tak zwana integracja 5D).

### Rozwój IoT

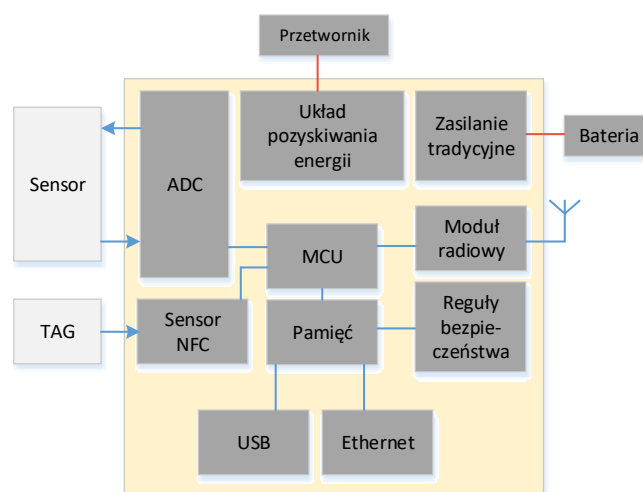
Termin Internet Rzeczy został po raz pierwszy użyty w 1999 roku przez Kevina Ashtona z Auto-ID Center w Massachusetts Institute of Technology, współtwórcy globalnego systemu identyfikacji wyrobów w standardzie RFID (ang. Radio-Frequency IDentification). Każdy przedmiot w systemie IoT musi być indywidualnie identyfikowany, w celu gromadzenia danych, zdalnego monitorowania, podejmowania decyzji i prowadzenia procesów optymalizacji we wszystkich obszarach od produkcji, poprzez infrastrukturę po opiekę medyczną [1].

Począwszy od 2013 roku, wizja Internetu Rzeczy zmieniała się znacznie z powodu istnienia wielu technologii, począwszy od komunikacji bezprzewodowej w Internecie do systemów mikro-elektromechanicznych (MEMS) stosowanych tradycyjnych dziedzinach sterowania i automatyki, w tym w gospodarstwie domowym i w budownictwie. Ogólna koncepcja Internetu Rzeczy zakłada, że każdy obiekt ma swój własny identyfikator np. adres IP oraz jest podłączony do globalnego systemu jakim jest Internet. Urządzenia mogą komunikować się ze sobą za pomocą dostępnej dla nich platformy programowej. Użytkownik systemu ma możliwość komunikacji bezpośrednio z każdym urządzeniem, może sprawdzić jego stan, a także nim zdalnie sterować używając platformy w chmurze [1].

W celu sprawnego zarządzania usługami świadczonymi przez system IoT jego struktura musi być właściwie

zaprojektowana. Istnieją jednak pewne ograniczenia budowy takiego systemu. Po pierwsze wielu producentów sprzętu oraz twórców niektórych fragmentów rozwiązań dla IoT nie stosuje standardowych technologii tylko rozwiązania autorskie, które trudno zaimplementować do innego systemu. Ponadto nie istnieje standardowy protokół transmisyjny dla IoT, najczęściej używa się popularnych standardów takich jak ZigBee, Wi-Fi, LTE, nie ma również urządzeń, które byłyby zdolne komunikować się przy użyciu każdego z nich [4, 5]. Z tego też względu urządzenie w sieci IoT pełniące rolę koordynatora (ang. gateway) jest kluczowe do utworzenia sieci. Kolejnym problemem, który zazwyczaj pojawia się przy tworzeniu takich systemów jest pojawiająca się ogromna ilość danych (Big Data), które powinny być przetworzone, przesłane do chmury, przeanalizowane i powinny być podstawą do wygenerowania raportów, statystyk oraz informacji sterujących elementami wykonawczymi.

Istnieje wiele różnorodnych struktur węzłów IoT zależnych między innymi od profilu działania sieci, aplikacji, topologii sieci, wybranego standardu komunikacyjnego oraz kosztów. Można wyróżnić w nich kilka wspólnych elementów, niektóre z nich przedstawiono na rysunku 3.



Rys.1. Ogólna struktura węzła IoT

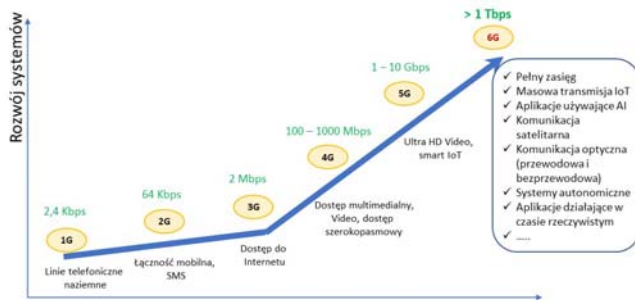
Z uwagi na różnorodność aplikacji i heterogeniczność stosowanych współcześnie rozwiązań komunikacyjnych, węzeł IoT powinien komunikować się w sposób bezprzewodowy z możliwie jak największą liczbą urządzeń

i na jak największym obszarze. Niestety, zarówno systemy IoT jak i ich prekursor czyli sieci WSN nie mają predefiniowanego standardu łączności bezprzewodowej. Na rynku jest obecnie wiele standardów, które nie są ze sobą kompatybilne i nie pozwalają na bezpośrednie podłączenie węzła do Internetu, jedynie przez odpowiedniego gatewaya. W obecnej organizacji sieci komórkowych nie ma możliwości integracji wszystkich, lub chociaż kilku najpopularniejszych, standardów transmisji bezprzewodowej niskiego zasięgu.

### Generacje sieci telefonii komórkowej

Sieci komórkowe od pierwszej generacji do obecnej piątej z założenia były wsparciem dla nowoczesnej technologii i komunikacji. Ich rozwój przedstawiono na rysunku 1.

Następczyni obecnie używanej technologii 4G (tzw. LTE) istotnie zwiększyła przepustowość sieci z obecnej maksymalnej przepływności na poziomie blisko 2Gb/s do około 20 Gb/s (pasmo 3,3-4,2 GHz) przy pobieraniu i 10 Gb/s przy wysyłaniu w technologii 5G [2]. Warto dodać, że wartości te osiągnięto w testach laboratoryjnych. Oznacza to, że w praktyce na obszarach miejskich przepływność dla urządzeń mobilnych będzie osiągać około 1Gb/s, chociaż podobnie jak przy technologii 4G, w przypadku sieci 5G maksymalna przepływność będzie zależać od dostępnego pasma. Opóźnienia zmniejszono do około kilkunastu milisekund (minimalnie w testach osiągnięto 1 ms opóźnienia transmisji).



Rys. 1. Rozwój sieci komórkowej

W sieciach 5G zwiększono przepływność danych, podniesiono niezawodność sieci, zmniejszono opóźnienia oraz podniesiono wydajność energetyczną. Uzyskano to dzięki zastosowaniu wielu nowych technologii takich jak: wielodostęp z podziałem wiązki (BDMA), technologię inteligentnych anten massive MIMO, sieci definiowanych programowo (SDN) czy specyfikację tzw. sieci treści ICN. Pomimo tego obecnie już wiadomo, że sieci 5G nie będą w stanie pośredniczyć w komunikacji urządzeń IoT za kilka lat [2]. W celu zapewnienia wystarczającej przepustowości oraz innych wymagań rozwijającego się rynku IoT rozpoczęto prace nad szóstą generacją łączności komórkowej, która ma być przygotowana na 2028 rok (masowa komercjalizacja ma nastąpić w 2030 r.).

Oczekuje się, że 6G zapewni zupełnie nową jakość usług dzięki komunikacji o bardzo niskich opóźnieniach (rzędu  $\mu s$ ), bardzo wysokiej przepustowości, łączeniu wielu technologii transmisyjnych jednocześnie oraz użyciu technologii blockchain. Pilotażowy program 6G ma rozpocząć się w 2026r. Ma on na celu przetestowanie pięciu głównych obszarów rozwoju IoT: cyfrowej opieki zdrowotnej, samochodów autonomicznych, dronów autonomicznych, inteligentnych miast oraz przemysłu (industrial IoT - IIoT) [3]. Podstawowe parametry sieci 6G w porównaniu do sieci 5G w kontekście przydatności dla systemów IoT zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Możliwości 6G-IoT w porównaniu do 5G-IoT

| Parametr                        | IoT 5G                                   | IoT 6G                                    |
|---------------------------------|--|---|
| Częstotliwość pracy             | 3,3 – 4,2 GHz                            | 6 GHz – 1THz                              |
| Przepustowość                   | 20 Gb/s                                  | >1 Tb/s                                   |
| „Pojemność” transmisji mobilnej | 10 Mb/s/m <sup>2</sup>                   | 1 Gb/s/m <sup>2</sup>                     |
| Gęstość komunikacyjna           | 10 <sup>6</sup> urządzeń/km <sup>2</sup> | 10 <sup>7</sup> urządzeń /km <sup>2</sup> |
| Pokrycie terenu                 | ok. 70%                                  | > 99%                                     |
| Wydajność energetyczna          | 1000 razy większa niż 4G                 | 10 razy lepsza niż 5G                     |
| Opóźnienia                      | 3 – 10 ms                                | max. 1ms                                  |

Warto zwrócić uwagę na parametry takie, jak pojemność transmisji oraz gęstość komunikacyjną, które pokazują jaką objętość danych i urządzeń będzie w stanie obsłużyć technologia 6G [2, 3, 4].

### Wymagania IoT względem 6G

Internet Rzeczy jest kluczową technologią pozwalającą na integrację heterogenicznych urządzeń elektronicznych, cyfrowych oraz urządzeń automatyki z systemami bezprzewodowymi. IoT ma na celu łączenie różnych przedmiotów do sieci Internet, tworząc połączone środowisko, w którym odbywa się pozyskiwanie danych (najczęściej przez różnego rodzaju sensory), przetwarzanie danych oraz automatyczna komunikacja urządzeń bez udziału człowieka.

Dane IoT mogą być zbierane z wszechobecnych urządzeń mobilnych, takich jak czujniki, siłowniki, smartfony, komputery osobiste oraz identyfikatory (RFID). Szacuje się, że rozwój rynku IoT w najbliższych latach będzie bardzo duży (z 26 miliardów podłączonych urządzeń w 2020 do 500 miliardów urządzeń w 2030r.), jednak obecnie istniejące sieci transmisyjne nie są w stanie zapewnić takiej przepływności i dostępności kanałów transmisyjnych. Stąd też potrzeba rozbudowy istniejących struktur i wdrożenia nowych technologii w zakresie sieci 6G [3].

Wymagania stawiane sieciom 6G ze względu na IoT (bądź też IoE – Internet od Everything) można podzielić na pięć głównych grup związanych z: masową transmisją danych IoT, masową transmisją o ultra niskich opóźnieniach, poprawą protokołów transmisji dla IoT, poprawą zasięgu sieci oraz kolejną generacją urządzeń inteligentnych [4, 5].

Masowa transmisja danych IoT związana jest z ogromnym wzrostem liczby urządzeń mobilnych oraz rozwojem komunikacji bezprzewodowej. Liczba danych przekazywanych przez system łączności mobilnej w 2030r. ma Masowa transmisja IoT wzrosnąć 80-krotnie w porównaniu do roku 2020r [3, 4].

W celu zapewnienia wymaganej przepustowości na cele IoT planuje się użycie łączności satelitarnej z niskiej orbity okołozemskiej (LEO). Jednak głównym elementem systemów IoT mają zostać autonomiczne platformy latające UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle), których zadaniem będzie zapewnienie stabilnej i niezawodnej komunikacji urządzeń IoT, ze szczególnym uwzględnieniem lokalizacji, w których ta łączność może być utrudniona. Rozproszona sieć statków powietrznych UAV ma zostać użyta na obszarach wiejskich, obszarach o szczególnie dużej liczbie systemów sensorowych oraz w przypadku różnego rodzaju katastrof budowlanych lub pogodowych. Pierwsze testy dowodzą skuteczności takiego rozwiązania za pomocą 33 UAV na przestrzeni około 5 km<sup>2</sup> dla kilkuset użytkowników mobilnych [6, 7].

Masowa komunikacja o niskich opóźnieniach URLLC (ang. Ultra-Reliable Low Latency Communication) została już wprowadzona w systemie 5G. Budowanie warstwy fizycznej tej łączności jest trudne, bo musi poddać dwóm, sprzecznym ze sobą warunkom. Chodzi o możliwe najniższe opóźnienia oraz niezawodność.

Prace nad komunikacją URLLC są potrzebne aplikacjom używanym w przemyśle i medycynie do kontrolowania procesów i maszyn, a także w transporcie do udoskonalania bezpieczeństwa autonomicznych pojazdów oraz zarządzania ruchem miejskim. Autonomiczne pojazdy poruszające się w czasie rzeczywistym wymagają przesyłania obrazu z kamer i praktycznie jednoczesnej koordynacji sygnalizacji i manewrowania w sposób zautomatyzowany i bezpieczny. Czas transmisji pakietu danych w obie strony w tego rodzaju aplikacjach waha się na poziomie 0,1 ms, jest to ponad 10-krotnie mniej niż jest w stanie zapewnić system 5G [8, 9].

Ulepszenie architektury protokołów komunikacyjnych 6G IoT jest konieczne ze względu na wprowadzenie nowych aplikacji na urządzeniach mobilne, które muszą obsługiwać różne, często sprzeczne, wymagania dotyczące głównie jednoczesnej obsługi wielu wątków. Grupa ETSI Industry Specification Group zainicjowała ETSI Multiaccess Edge Computing, której celem jest użycie specjalistycznych, wysokowydajnych mechanizmów obliczeń oraz technologii komunikacyjnych, aby opracować nowoczesne protokoły IoT w współpracy z dostawcami usług, programistami oraz usługobiorcami. Jest to nowe podejście, nie stosowane do tej pory [10, 11].

Ogółem dąży się do zwiększenia elastyczności oraz zdolności do samoadaptacji (czyli zwiększenia „inteligencji” sieci) poprzez stosowanie rozwiązań samouczących się, zwłaszcza sztucznej inteligencji AI oraz dopracowanie komunikacji przegowej na styku różnych technologii. Istotne jest także przeanalizowanie możliwości użycia technologii blockchain do przesyłania m.in. danych wrażliwych [3, 4, 5].

Pełny zasięg sieci IoT [12] jest rozumiany jako pełna dostępność systemu dla wszystkich użytkowników w wielowymiarowej przestrzeni kosmos-powietrze-sieci podwodne. Nowe protokoły komunikacyjne, technologie brzegowe oraz pojazdy typu UAV są kluczowe do uzyskania tego typu założeń. UAV-y umieszczone na dużych wysokościach mogą pełnić rolę platform latających umożliwiających pokrycie zasięgu na morzu (do ok. 750 km) w przypadku, gdy zasięg lądowej stacji bazowej jest niewystarczający [13, 14].

Urządzenia sieci 6G (smartfony, maszyny, pojazdy, sensory i urządzenia IoT) będą musiały spełnić szereg wymagań związanych nie tylko z nowymi aplikacjami, które będą generować zwiększoną ilość danych, ale przede wszystkim każde z urządzeń ma płynnie przechodzić z jednej technologii bezprzewodowej do kolejnej w zależności od mobilności użytkownika oraz aktywnie włączać się w działanie i zarządzanie siecią. Pozwoli to na uniezależnienie się od stacji bazowych i odejście od obecnej komórkowej struktury sieci [4, 5].

## 6G w aplikacjach IoT

Z przedstawionej w artykule charakterystyki technologii 6G wynika, że jest ona gotowa na realizację nowych aplikacji w obszarze Internetu Rzeczy. W szczególności zalicza się do nich zastosowanie w różnych domenach IoT w tym HIoT (Healthcare IoT), VIoT (Vehicular IoT) łącznie z pojazdami autonomicznymi, UAV, SIoT (Satellite IoT) i IIoT (Industrial IoT).

Integracja usług 6G zrewolucjonizuje opiekę medyczną HIoT (Healthcare IoT) [15] dzięki wykorzystaniu technologii wspomagających. W pracy [16] omówiono potencjalne

wykorzystanie technologii 6G, takich jak komunikacja URLLC i THz, do obsługi transmisji danych związanych z opieką zdrowotną o bardzo niskich opóźnieniach i zwiększenia szybkości połączeń sieci medycznych między urządzeniami przenośnymi a będącą zdalnie kadrą medyczną. W rzeczywistości opieka zdrowotna polegająca na zdalnym monitorowaniu stanu zdrowia pacjenta, wymaga komunikacji o niskim opóźnieniu (poniżej 1 ms) z wymogiem niezawodności powyżej 99,999%, aby zapewnić ocenę stanu zdrowia niemal w czasie rzeczywistym z szybko i niezawodną zdalną diagnozą. Robotykę 6G można zastosować do wdrożenia zdalnej chirurgii w taki sposób, że zdalni lekarze mogą zarządzać operacją za pośrednictwem systemów robotycznych z opóźnieniem milisekund i wysoką niezawodnością.

W celu spełnienia przyszłych wymagań w zakresie ultrawysokiej szybkości transmisji danych medycznych, technologia URLLC jest dobrym rozwiązaniem używających pasma THz w sieciach opieki zdrowotnej opartych na 6G [17]. W związku z tym nanourządzenia, implanty i czujniki na ciele mogą komunikować się i przysyłać dane w czasie rzeczywistym z wyjątkowo wysoką niezawodnością i dostępnością do urządzeń brzegowych lub centrów chmurowych w celu krótko- i długoterminowej analizy medycznej.

Postępy w realizacji technologii składowych 6G znacznie wpłynęły na rozwój i działanie sieci VIoT (Vehicle IoT) w pojazdach, a tym samym zrewolucjonizowały inteligentne systemy transportowe (ITS). Najczęściej używa się technologii mMTC (ang. massive Machine Type Communications) do umożliwienia łączności pojazd-wszystko (V2X) w celu przesyłania krótkich komunikatów o ruchu przez dużą liczbę pojazdów bez interakcji człowieka w sieciach VIoT opartych na 6G [18]. Aby to było możliwe, są podejmowane różne działania celu znalezienia kompromisu między skalowalnością, niezawodnością i opóźnieniem poprzez wykrywanie pojazdów, w których jednostka lokalizowana jest przez stację bazową, która dodatkowo zbiera informacje o pojazdach i ich odległości od bazy. W przyszłości VIoT opartym na 6G, przewidywanie przepływności i ich opóźnień jest trudnym zadaniem ze względu na złożoną współzależność między czynnikami, takimi jak mobilność, kanały transmisyjne i integrację sieciową.

Dzięki powstającym technologiom bezprzewodowym sieci nowej generacji pozwalają na zbadanie i wdrożenie sieci 6G-UAV. Istnienie i eksploatacja bezprzewodowych pojazdów bezzałogowych jest możliwa pod warunkiem rozwiązania problemu maksymalizacji wydajności transmisji danych, który można rozwiązać, biorąc pod uwagę informację o stanie kanału na dużą skalę, energię pokładową pojazdu UAV i ograniczenia związane z zakłóceniami. Proponowane [19] podejście jest również obiecujące w celu zidentyfikowania wzorców zasięgu bezkomórkowego w celu wsparcia masowego dostępu dla rozległych urządzeń IoT w erze 6G. Ponadto planuje się użycie technik sztucznej inteligencji AI do zapewnienia inteligentnych rozwiązań dla sieci UAV opartych na 6G. W rzeczywistości, UAV mogą świadczyć usługi komunikacji bezprzewodowej, usługi przetwarzania brzegowego i usługi buforowania brzegowego, gdy są wyposażone w rozwiązania oparte na AI [20]. Na przykład, aby kontrolować mobilność UAV w czasie misji techniki AI użyte są do przewidywania przyszłych wymagań użytkowników i obszarów usług na podstawie historycznych zbiorów danych trajektorii ruchu i żądań użytkowników.

W erze 6G bardzo ważną rolę w stanie się integracja komunikacji satelitarnej z obecnymi sieciami bezprzewodowymi w celu uzyskania większego zasięgu

IoT, co daje początek nowemu obszarowi zastosowań o nazwie SIoT (Satellite IoT) [21]. Ogólnie satelity mogą być umieszczone na trzech orbitach, mianowicie LEO, MEO i GEO, w celu oferowania globalnych usług użytkownikom naziemnego IoT. W porównaniu z MEO i LEO, system LEO otrzymał priorytet w badaniach nad generacją sieci 5G ze względu na niższą wysokość orbity i przydatne funkcje wspierające łączność IoT, między innymi takie, jak krótsze opóźnienie transmisji. Jednak w erze 6G, dzięki zaawansowanym technologiom satelitarnym, wiele satelitów może być rozmieszczonych na dziesiątkach orbit nad Ziemią, dzięki czemu systemy LEO mogą realizować globalny zasięg i większą wydajność poprzez ponowne wykorzystanie częstotliwości. Ponadto przewiduje się ustanowienie łączy międzysatelitarnych, aby umożliwić komunikację międzysatelitarną w oparciu o pasma THz, które mogą pomieścić więcej satelitów i osiągnąć wyższą wydajność łączy ze względu na szersze pasmo w porównaniu z istniejącymi zasobami [21, 22].

Kolejnym ważnym obszarem, w którym zostaną rozbudowane funkcje IoT będzie przemysł czyli IIoT (Industrial IoT). Zastosowano metody ML (Machine Learning), aby zapewnić inteligencję dla sieci IIoT opartych na 6G. Przeprowadzone badania [23] wskazują na potencjał sieci neuronowych CNN (Convolutional Neural Network) opartych na uczeniu maszynowym w optymalizacji alokacji zasobów w ogromnych systemach IIoT z 6G za pośrednictwem systemu wieloagentowego. Ze względu na ograniczony zasób czujników IIoT, rozmieszczenie węzłów czujnikowych jest często realizowane losowo, wprowadzając niepotrzebne koszty energii. Sieci CNN są przydatne do przeprowadzania inteligentnego grupowania czujników poprzez eksplorację danych i predykcję oparte na neuronowej propagacji wstecznej i interakcji w procesie uczenia z historycznymi zbiorami danych. Symulacja numeryczna weryfikuje lepszą alokację zasobów przy niższym zużyciu energii i mniejszej złożoności.

## Podsumowanie

Niniejszy artykuł nawet w części nie wyczerpuje tematyki jaką jest technologia 6G oraz powiązane z nią systemy IoT. Szereg wymagań stawianych obu tym rozwiązaniom, nowe możliwości w zakresie komunikacji i transmisji danych oraz zagadnienia bezpieczeństwa danych i systemów są obecnie przedmiotem prowadzonych prac zarówno w ośrodkach technologicznych jak i badawczych. Systemy IoT są aktualnie traktowane jako główny element sieci 6G, co przekłada się na całkowitą zmianę podejścia, co do projektowania nowych możliwości komunikacji.

**Autorzy:** dr inż. Beata Krupanek, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: [Beata.Krupanek@polsl.pl](mailto:Beata.Krupanek@polsl.pl); dr inż. Ryszard Bogacz, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: [Ryszard.Bogacz@polsl.pl](mailto:Ryszard.Bogacz@polsl.pl)

## LITERATURA

- [1] Krupanek B., Bogacz R.: Węzły końcowe systemów Internetu Rzeczy. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej* Nr 59, MKM 2018.
- [2] European Vision for the 6G Network Ecosystem. 2021.
- [3] Guo F, Yu F.R., Zhang H., Li X., Ji H., Leung V.: Enabling Massive IoT Toward 6G: A Comprehensive Survey. *IEEE Internet of Things Journal* PP(99), 2021.
- [4] Padhi P.K., Charrua-Santos F.: 6G Enabled Industrial Internet of Everything: Towards a Theoretical Framework. *MDPI Appl. Syst. Innov.* 2021.
- [5] Qadir Z., Munawar H., Saeed N., Le K.: Towards 6G Internet of Things: Recent Advances, Use Cases, and Open Challenges. *IEEE IoT Journal* 2021.
- [6] Soret B., Leyva-Mayorga I., Popovski P.: Inter-Plane Satellite Matching in Dense LEO Constellations, *Proceedings of the 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Waikoloa, HI, USA, Dec. 2019, pp. 1–6.
- [7] Wang H., Zhao H., Wu W., Xiong J., Ma D., Wei J.: Deployment Algorithms of Flying Base Stations: 5G and Beyond With UAVs., *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 10 009–10 027, Dec. 2019.
- [8] Nasrallah A., Thyagaturu A. S., Alharbi Z., Wang C., Shao X., Reisslein M., ElBakoury H.: Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 88–145, 2019.
- [9] Adeogun R, Berardinelli G., Mogensen P. E., Rodriguez I., Razzaghpour M., Towards 6G in-X Subnetworks With Sub-Millisecond Communication Cycles and Extreme Reliability, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110 172–110 188, 2020.
- [10] Giust F., Sciancalepore V., Sabella D., Filippou M. C., Mangiante S., Featherstone W., Munaretto D.: Multi-Access Edge Computing: The Driver Behind the Wheel of 5G-Connected Cars, *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 2, no. 3, pp. 66–73, Sep. 2018.
- [11] Lopez-Perez D., Garcia-Rodriguez A., Galati-Giordano L., Kasslin M., Doppler K.: IEEE 802.11be Extremely High Throughput: The Next Generation of Wi-Fi Technology Beyond 802.11ax, *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 9, pp. 113–119, Sep. 2019.
- [12] Li X., Feng W., Wang J., Chen Y., Ge N., Wang C.: Enabling 5G on the Ocean: A Hybrid Satellite-UAV-Terrestrial Network Solution, *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 6, pp. 116–121, Dec. 2020.
- [13] Mohammadkarimi M., Raza M. A., Dobre O. A.: Signature-Based Nonorthogonal Massive Multiple Access for Future Wireless Networks: Uplink Massive Connectivity for Machine-Type Communications, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 40–50, Dec. 2018.
- [14] Shafique K., Khawaja B. A., Sabir F., Qazi S., Mustaqim M.: Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G IoT Scenarios, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 23 022–23 040, 2020.
- [15] Habibzadeh H., Dinesh K., Shishvan O. R., Boggio-Dandry A., Sharma G., Soyata T.: A Survey of Healthcare Internet of Things (HIoT): A Clinical Perspective, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 53–71, Jan. 2020.
- [16] Nayak S., Patgiri R.: 6G Communication Technology: A Vision on Intelligent Healthcare, pp. 1–18, 2021.
- [17] Mucchi L., Jayousi S., Caputo S., Paoletti E., Zoppi E., Geli S., Dioniso P.: How 6G Technology Can Change the Future Wireless Healthcare, *Proceedings of the 2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, Levi, Finland, Mar. 2020, pp. 1–6.
- [18] Kalalas C., Alonso-Zarate J.: Massive Connectivity in 5G and Beyond: Technical Enablers for the Energy and Automotive Verticals, *Proceedings of the 2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, Levi, Finland, Mar. 2020, pp. 1–5.
- [19] Liu C., Feng W., Chen Y., Wang C. X., Ge N.: Cell-Free Satellite UAV Networks for 6G Wide-Area Internet of Things, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 1–1, 2020.
- [20] Dong C., Shen Y., Qu Y., Wu Q., Wu F., Chen G.: UAVs as a Service: Boosting Edge Intelligence for Air-Ground Integrated Networks, Mar. 2020, arXiv: 2003.10737.
- [21] Chu J., Chen X., Zhong C., Zhang Z.: Robust Design for NOMA Based Multibeam LEO Satellite Internet of Things, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 1959–1970, Feb. 2021.
- [22] Liu C., Feng W., Tao X., Ge N.: MEC-Empowered Non-Terrestrial Network for 6G Wide-Area Time-Sensitive Internet of Things, Mar. 2021, arXiv: 2103.11907.
- [23] Deb P., Misra S., Sarkar T., Mukherjee A.: Magnum: A Distributed Framework for Enabling Transfer Learning in B5G-Enabled Industrial-IoT, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 1–1, 2020.