

5G – Nowe techniki dostępu radiowego i architektura sieci komórkowej

Krzysztof Wesolowski
Politechnika Poznańska
31 maja 2016



Katedra Radiokomunikacji - Politechnika Poznańska tel.: (061)6653930
ul. Polanka 3, 60-965 Poznań fax: (061) 6653823

Plan wystąpienia



1. Podstawowe wyzwania stojące przed sieciami radiokomunikacyjnymi po roku 2020
2. Przegląd badań prowadzonych w UE przez konsorcjum 5GPPP na temat przyszłych systemów i sieci radiokomunikacyjnych
3. Przewidywane rodzaje scenariuszy komunikacyjnych i usług
4. Proponowane techniki i rozwiązania w warstwie fizycznej i wyższych na przykładzie projektu UE METIS
5. Wnioski

Wprowadzenie



- Aktualna sytuacja w sieciach bezprzewodowych:
 - Pełne nasycenie terminalami użytkowników,
 - Pod względem wolumenu danych usługi transmisji głosu ustąpiły miejsca usługom multimedialnym i dostępu do sieci Internet,
 - Zmiana sposobu korzystania z sieci komórkowej z powodu masowego korzystania ze smartfonów – multimedia, sieci społecznościowe, usługi w kontekście lokalnym, itp.,
 - Równoległy rozwój sieci WLAN,
 - Rozwój Internetu rzeczy (IoT) – rozwój komunikacji między wieloma urządzeniami bez obecności człowieka (M2M, MMC),
 - Rozwój systemów komunikacji pomiędzy pojazdami i pojazdami i infrastrukturą – istotne wymagania niezawodności i małego opóźnienia transmisji,
- **Poważne wyzwania dla przyszłych systemów 5G**

Warszawa 31.06.2016

3

Wyzwania stojące przed telekomunikacją bezprzewodową po roku 2020



- Wymagania stawiane przyszłym systemom 5G:
 - 1000-krotny wzrost wolumenu danych na jednostkę powierzchni pokrywanej przez system bezprzewodowy,
 - 10 - 100-krotny wzrost liczby urządzeń będących w fazie połączenia,
 - 10 - 100-krotny wzrost typowej szybkości danych użytkownika,
 - 10-krotnie dłuższe życie baterii w terminalach o niskiej mocy stosowanych w transmisji pomiędzy urządzeniami (*Machine-to-Machine Communications*),
 - 5-krotna redukcja opóźnienia pomiędzy końcami pełnego łącza.

Warszawa 31.06.2016

4

Projekty dotyczące tematyki 5G realizowane w ramach 5GPPP



- Prace nad systemami 5G intensywnie trwają, nie tylko w ramach projektów UE, ale również w Azji (Korea Płd.) oraz USA
- W ramach Horyzontu 2020 utworzono porozumienie 5GPPP (5G *Public Private Partnership*), które kontynuuje prace nad systemami 5G
Adres strony web: <http://5g-ppp.eu/>
- Zdefiniowano zespół kluczowych zagadnień badawczych
- Określono projekty H2020 w ramach 5GPPP
- Dominująca rola przemysłu – niska reprezentacja uniwersytecka

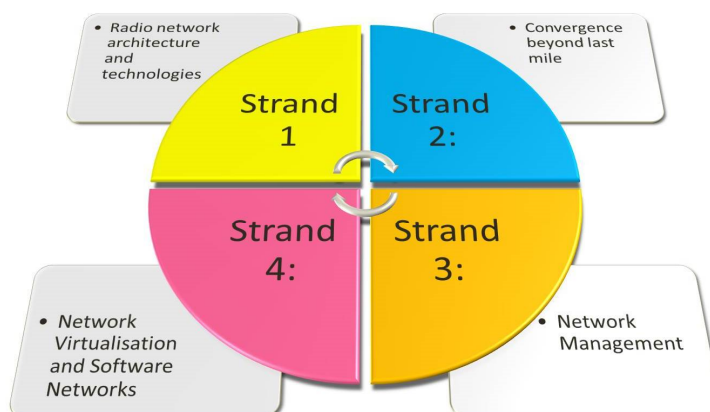
Warszawa 31.06.2016

5

Projekty dotyczące tematyki 5G realizowane w ramach 5GPPP



- Główne działy aktywności 5GPPP



Warszawa 31.06.2016

6

Projekty dotyczące tematyki 5G realizowane w ramach 5GPPP



- **Członkowie 5GPPP z wyboru:**

- **Przemysł**

Alcatel-Lucent, Astrium Satellites, Atos, Deutsche Telekom, DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH, Ericsson, Huawei Technologies Düsseldorf GmbH, NEC Europe Ltd., NEC Laboratories Europe, Nokia Solutions and Networks, Orange Labs, Portugal Telecom, SES, Telecom Italia, Telefónica I+D, Telenor ASA, Telespazio, Thales Alenia Space, Turk Telekomunikasyon A.Ş.

- **Instytucje badawcze**

CEA-LETI, Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT), Fundacion IMDEA Networks, Instituto de Telecomunicações, University of Bologna – DEI

- **SME**

Integrasys SA, INTERINNOV, M.B.I. S.R.L., Nextworks s.r.l., Quobis, Sequans Communications

- **Inne organizacje**

Adva Optical Networking SE, IBM Research, Intel Mobile Communications, IST – University of Lisbon, Samsung Electronics Research Institute Ltd. (SRUK), TNO

Warszawa 31.06.2016

7

Projekty dotyczące tematyki 5G realizowane w ramach 5GPPP



Warszawa 31.06.2016

8

Projekty poświęcone tematyce 5G lub pokrewnej



- METIS II: Główne cele:

Opracowanie projektu pełnej sieci dostępu radiowego 5G, ustanowienie metod technicznych niezbędnych do efektywnej integracji i użytkowania różnych technologii 5G i aktualnie opracowywanych jej składników.

- Podstawowe elementy innowacyjne w projekcie METIS-II:
 - Całościowa architektura zarządzania widmem,
 - Harmonizacja różnych metod dostępu radiowego pozwalająca na elastyczną integrację nowych i poprzednich interfejsów radiowych,
 - Zręczne zarządzanie zasobami radiowymi (RRM) zapewniające dynamikę wymaganą do elastycznej adaptacji zintegrowanych interfejsów radiowych 5G do zmiennych wymagań ruchowych i zróżnicowanych wymagań usług,
 - Struktura międzywarstwowa, między interfejsami radiowymi oraz struktura mobilności zapewniająca pełną ciągłość dostępu,
 - Wspólna struktura płaszczyzny sterowania i użytkownika zapewniająca sposoby realizacji szerokiej gamy usług jak również efektywnej kosztowo implementacji integracji systemów 5G.

Warszawa 31.06.2016

11



METIS



- Uczestnicy projektu:



Budżet:
27 mln Euro



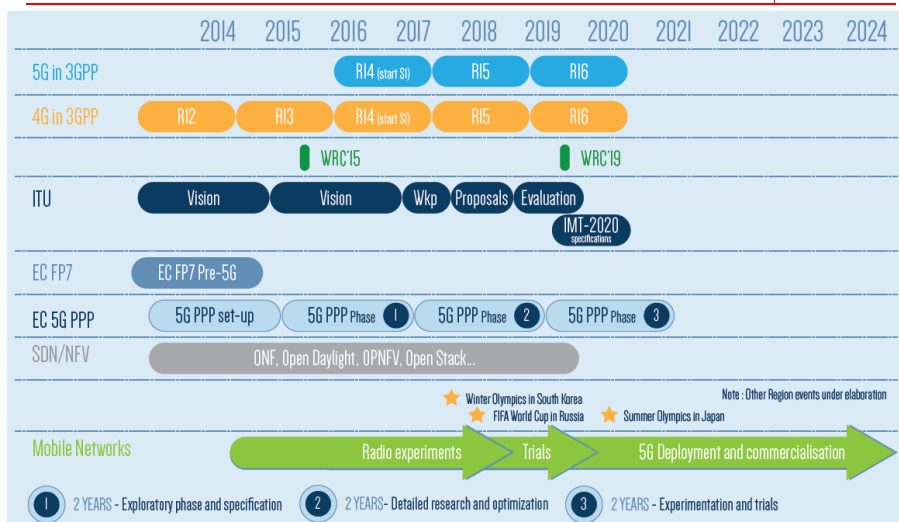
**Okres
działania:**
30 miesięcy,
01.11.2012 –
30.04.2015



Warszawa 31.06.2016

12

Mapa drogowa opracowania i wdrożenia systemów 5G



Źródło: 5G Vision, The 5G Infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services

13

Podstawowe wymagania na systemy 5G



Wymagania	Pożądané wartości	Przykład zastosowań
Szybkość danych	1 do 10 Gb/s	Biuro z wirtualną rzeczywistością
Wolumen danych	9 GB/h w okresie szczytu 500 GB/mies./użytk.	Stadion, "Gęste", miejskie społeczeństwo informacyjne
Opóźnienie	Poniżej 5 ms	Bezpieczeństwo i płynność ruchu
Czas życia baterii	10 lat	Masowe instalacje sensorów i elementów wykonawczych
Liczba połączonych urządzeń	300 000 urządzeń na AP	Masowe instalacje sensorów i elementów wykonawczych
Niezawodność	99,999%	Tele-ochrona w sieciach z inteligentnymi węzłami, Bezpieczeństwo i płynność ruchu

Warszawa 31.06.2016

14

Podstawowe koncepcje systemów 5G



- Charakter oczekiwanych zmian:
 - budowa całkowicie nowej sieci dostępowej nie jest możliwa wobec faktu istniejących sieci i obecnie rozdysponowanego pasma częstotliwości,
 - większość zmian w sieci będzie miała charakter ewolucyjny,
 - istniejące systemy będą uzupełnione o nowe segmenty mające na celu realizację transmisji dla nowych scenariuszy i usług,
 - dalszy wzrost heterogeniczności sieci,
 - dodatkowe sposoby mające na celu możliwe odciążenie sieci z ruchu o charakterze lokalnym.
- Przewiduje się zmiany:
 - w warstwie fizycznej sieci,
 - ulepszenie organizacji sieci i bardziej efektywne wykorzystanie zasobów radiowych

Warszawa 31.06.2016

15

Podstawowe problemy systemów 5G



- Zidentyfikowano kilka zagadnień determinujących spełnienie wymienionych wymagań:

Wymagania stawiane systemom 5G



- Sieci o szczególnie dużej gęstości (*ultra dense networks*)
- Zastosowanie zakresu fal milimetrowych (*mmWaves*)
- Systemy MIMO wielkiej skali (*massive MIMO*)
- Bezpośrednia łączność między terminalami (D2D – *device-to-device*)
- Sieci poruszające się (*moving networks*)
- Sieci o bardzo wysokiej niezawodności (*ultra reliable networks*)
- Komunikacja między urządzeniami (M2M – *machine-to-machine*)

Warszawa 31.06.2016

16

Pięć charakterystycznych scenariuszy dla systemów 5G



Virtual reality office
Giga bit at application layer



Szczególnie wysoka przepływność

Bardzo wysoka szybkość transmisji

Bardzo gęsty tłum użytkowników

Bardzo niska energia, koszt i masowa liczba urządzeń

Wszelchobecne przedmioty komunikują się

Niezawodne połączenia z niewielkimi opóźnieniami



Mobilność

Najlepsze doświadczenie podąża za Tobą



Świetny serwis w tłumie



Wired and fire sensors


People communicating and exchanging content

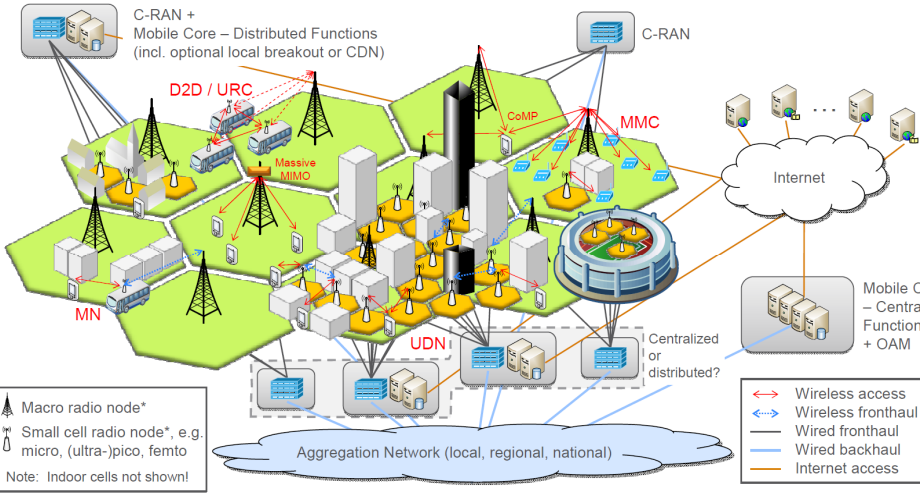
Wind and humidity sensors

Warszawa 31.06.2016

Źródło: materiały prezentacyjne METIS

Przewidywana architektura systemów 5G





Macro radio node*

Small cell radio node*, e.g. micro, (ultra-)pico, femto

Note: Indoor cells not shown!

Centralized or distributed?

Mobile Co – Central Functions + OAM

* Only Remote Radio Units (RRUs) assumed.

Źródło: A. Osseiran, Challenges and Scenarios of the fifth Generation (5G) Wireless Communications System, Wirelases@KTH Seminar, 15.11.2013

18

Koncepcje ulepszeń warstwy fizycznej (wg projektu METIS)



- Ulepszenia warstwy PHY i MAC są niezbędne do podniesienia szybkości transmisji i jej lepszej organizacji w nowych jej scenariuszach
- Konieczne są zmiany na poziomie sieciowym!
- Główne rezultaty badań nad zmianami w PHY:
 - Zunifikowany interfejs radiowy dla sieci szczególnie gęstych,
 - Modulacja wielotonowa z filtracją lub bazująca na bloku filtrów (*filtered and filterbank based multi-carrier*)
 - Nieortogonalny i quasi-ortogonalny wielodostęp radiowy
 - Interfejs radiowy dla sieci poruszających się
 - Dostęp masowy do zasobów radiowych na zasadzie konkurencji (*contention based massive access*)

Warszawa 31.06.2016

19

Zunifikowany interfejs radiowy dla sieci szczególnie gęstych



- Transmisja o charakterze wielotonowym –
 - skalowalna struktura ramki w transmisji OFDM (dobór odstępu podnośnych i długości przedrostka cyklicznego) do zakresu częstotliwości i konfiguracji komórek
 - Możliwość zastosowania w szerokim zakresie częstotliwości aż do fal milimetrowych
 - Zunifikowana zasada działania obniża koszt i złożoność obliczeń
 - Separacja danych i sterowania w czasie
 - Sterowanie dostępne w obu kierunkach w każdej ramce
 - Dynamiczny duplex czasowy (TDD)
 - Zapewnienie niesymetrycznego ruchu DL/UL
 - Szybka reakcja czasowa dzięki dwukierunkowemu sterowaniu w każdej ramce

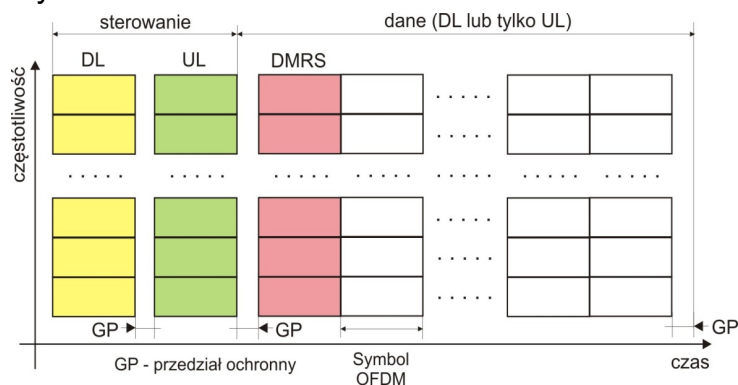
Warszawa 31.06.2016

20

Zunifikowany interfejs radiowy dla sieci szczególnie gęstych



- Przykładowa struktura ramki TDD



DL – łącze BS – UE, **UL** – łącze UE – BS, **DMRS** – DeModulation Reference Symbol

Warszawa 31.06.2016

21

Zunifikowany interfejs radiowy dla sieci szczególnie gęstych




- Przykładowe parametry sygnału OFDM (prop. Nokii)

	5G	LTE	LTE-A
Szerokość pasma [MHz]	200	20	100
Odstęp pomiędzy podnośnymi [kHz]	60	15	15
Długość symbolu OFDM [μ s]	16,67	66.67	66.67
Wymiar FFT	4096	2048	5x2048
Liczba efektywnych podnośnych	3300	1200	6000
Czas TTI [ms]	0.25	1	1
Liczba odstępów GP	3	2	2
Liczba symboli w ramce	14	14	14
Czas trwania przedrostka cyklicznego [μ s]	1	4.7 (krótki)	4.7 (krótki)
Czas trwania przedziału GP [μ s]	0.89	66.67 (min)	66.67 (min)
Nadmiar (CP+GP) [%]	6.67	7.25	7.25

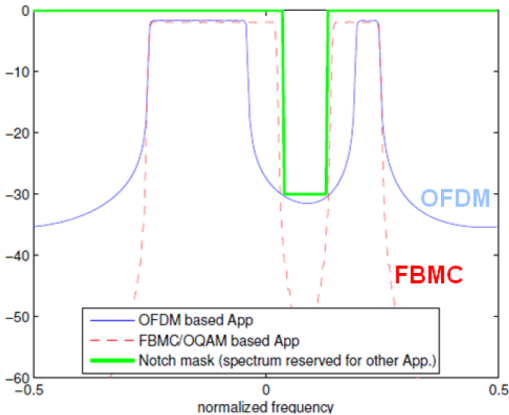
Warszawa 31.06.2016

22

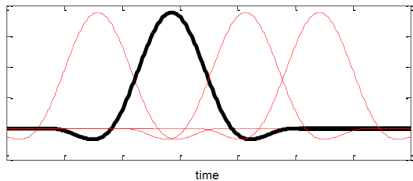
Modulacja FBMC



- Ulepszenia modulacji OFDM – FBMC (Filter Bank Multicarrier)



Widmo gęstości mocy sygnału OFDM i FBMC z pasmem dla innych zastosowań



Kształt impulsu w pasmie podstawowym


- Możliwość podziału widma na niezależne pasma o indywidualnej konfiguracji,
- zmniejszenie wymagań synchronizacyjnych pomiędzy pasmami przypisanymi różnym użytkownikom,
- możliwość współistnienia usług z podziałem pasma.

Źródło: METIS, Deliverable 2.4




Warszawa 31.06.2016

23

Nieortogonalny i quasi-ortogonalny wielodostęp radiowy



- Nieortogonalny wielodostęp radiowy:
 - Propozycja DoCoMo, wykorzystanie dodatkowego wymiaru zasobów radiowych, tj. mocy
 - Multipleksacja użytkowników z wykorzystaniem tych samych zasobów i różnych mocy, zastosowanie zaawansowanych odbiorników np., SIC – *Successive Interference Cancellation*
 - Porównanie z wcześniejszymi metodami wielodostępu:

	3G	3.9/4G	FRA (expected)
User multiplexing	Non-orthogonal (CDMA)	Orthogonal (OFDMA)	Non-orthogonal with SIC (NOMA)
Signal waveform	Single carrier	OFDM (or DFT-s-OFDM)	OFDM (or DFT-s-OFDM)
Link adaptation	Fast TPC	AMC	AMC + Power allocation
Image	Non-orthogonal assisted by power control 	Orthogonal between users 	Superposition & power allocation 

Źródło: Y.Saito et al., Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access, Proc. of VTC 2013

Źródło: METIS, Deliverable 2.4

Warszawa 31.06.2016

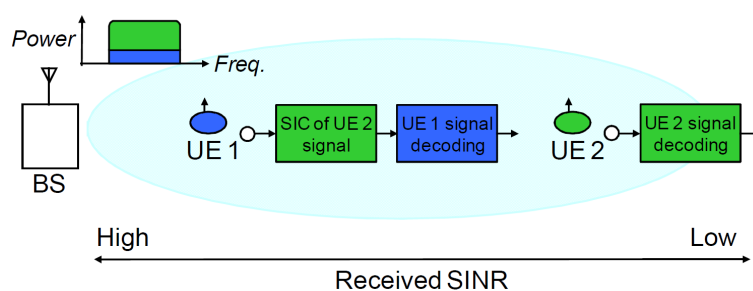
24

Nieortogonalny i quasi-ortogonalny wielodostęp radiowy



- Nieortogonalny wielodostęp radiowy:

- Podstawowa zasada działania:



SIC – Successive Interference Cancellation – sukcesywna kompensacja interferencji

Źródło: Y.Saito et al., Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access, Proc. of VTC 2013

Warszawa 31.06.2016

25

Sieci o szczególnie dużej gęstości



- Sieci o dużej gęstości:

- Zasadniczy wpływ na pojemność sieci komórkowej ma współczynnik wielokrotnego użycia częstotliwości i wielkość komórek.
- Pomimo zapewnienia przez sieć komórkową mobilności terminali, większość ruchu telekomunikacyjnego odbywa się do lub z terminala nieporuszającego się.
- Możliwość zastosowania sieci komórkowej o dużej gęstości zrealizowanej w odpowiednim paśmie częstotliwości.
- **Jedna z podstawowych koncepcji do zastosowania w systemach 5G!**

- Konsekwencje projektowe:

- Zastosowanie duplexu czasowego (TDD) dającego większą elastyczność w rozdziale zasobów radiowych – przykładowa ramka i parametry pokazane wcześniej!

Warszawa 31.06.2016

26

Sieci o szczególnie dużej gęstości



- Dalsze konsekwencje projektowe:
 - Gęstość stacji bazowych o około rząd wielkości większa niż obecnie
 - Stacje bazowe (punkty dostępu) umieszczone w biurach i np. na słupach lamp wzdłuż ulic
 - Znacznie wyższy poziom interferencji względem sygnału użytecznego
 - Konieczność efektywnego rozsyłania sygnałów do gęsto rozłożonych stacji bazowych o niskiej mocy.
 - Przydatna technika: przetwarzanie sygnałów w ważniejszych węzłach sieci i przesyłanie ich w postaci bezpośredniej za pomocą techniki „radio-over-fiber”
 - Konieczność zastosowania szerszego pasma z powodu wzrostu szybkości transmisji → poszukanie go w wyższych zakresach częstotliwości - w tzw. **zakresie fal milimetrowych**.

Warszawa 31.06.2016

27

Zastosowanie fal milimetrowych



- Systemy 5G wymagają znacznie większego pasma częstotliwości niż używane obecnie
- Określone zakresy częstotliwości uzyskano dzięki zwolnieniu ich przez analogową telewizję - daleko niewystarczające.
- Zastosowanie idei radia kognitywnego - niechęć operatorów telekomunikacyjnych używających dane zakresy częstotliwości do współdzielenia ich z tzw. użytkownikami drugoplanowymi,
- W najlepszym razie łącznie z pasmem zwolnionym przez telewizję analogową można uzyskać podwojenie szerokości dostępnego pasma – **działanie daleko niewystarczające**
- Konieczność rozpatrzenia możliwości transmisji w zakresie 3 – 300 GHz

Warszawa 31.06.2016

28

Zastosowanie fal milimetrowych



- Konieczność określenia własności propagacyjnych i precyzyjnych modeli kanałów
- Atrakcyjne zakresy częstotliwości 28 - 30 GHz, nielicencjonowany zakres 60 GHz oraz pasmo E w zakresach 71-76, 81-86 i 92-95 GHz.
- Praca (T. Rappaport, et al. *Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!*, IEEE Access, vol. 1, 2013) zawiera wyniki kampanii pomiarowych określających własności propagacyjne kanałów w zakresie 28 i 38 GHz w Nowym Jorku i Austin.
- Oceniono, że w obszarze na zewnątrz budynków możliwe jest zastosowanie komórek o promieniu rzędu 200 m.
- Wyniki pomiarowe mogą być podstawą do budowy modeli kanałów programowych i sprzętowych.

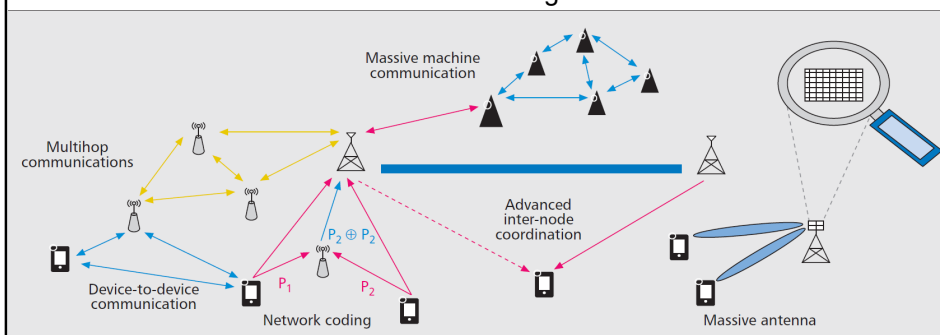
Warszawa 31.06.2016

29

Przedsięwzięcia na poziomie systemowym



- Zaawansowana koordynacja między węzłami
- MIMO dużej skali (*massive MIMO*)
- Komunikacja bezpośrednia między terminalami (D2D)
- Komunikacja wieloskokowa
- Zastosowanie kodowania sieciowego



Warszawa 31.06.2016

30

Źródło: A. Osseiran et al., IEEE Comm. Magazine, maj 2014

Komunikacja bezpośrednia między terminalami (D2D)



- Obecnie łączność między dwoma terminalami, nawet jeśli znajdują się one blisko siebie, odbywa się za pośrednictwem stacji bazowych.
 - Długie łącza BS – MS i MS – BS – zwiększone zużycie baterii
- Komunikacja bezpośrednia → jedno z narzędzi zmniejszenia obciążenia sieci
- Konsekwencje:
 - Odciążenie sieci,
 - Wprowadzanie dodatkowej interferencji w kontrolowany sposób,
 - **Problem:** jak wybierać terminale, które mają mieć łącze bezpośrednie
- Możliwe różne konfiguracje łączności D2D

Warszawa 31.06.2016

31

Komunikacja bezpośrednia między terminalami (D2D)



- Różne udoskonalenia transmisji D2D:
 - Wybór par do transmisji D2D i sterowanie jej parametrami z wykorzystaniem informacji o współrzędnych geograficznych (z GPS lub sieci),
 - Zastosowanie kształtowania wiązki w celu minimalizacji interferencji i podniesienia bezpieczeństwa transmisji – bezpieczeństwo w warstwie fizycznej,
 - Wykorzystanie kodowania sieciowego w warstwie fizycznej jako sposobu usprawnienia transmisji (np. z przekaźnikami w trybie tzw. *two-way relaying*),
 - Uwzględnienie własności łącza D2D, np. w transmisji pomiędzy pojazdami V2V

Warszawa 31.06.2016

32

Systemy o bardzo wysokiej niezawodności i niskim opóźnieniu (URC)



- Praktyczne zastosowania systemów URC:
 - Niezawodna komunikacja pomiędzy pojazdami i pojazdami a infrastrukturą drogową
 - Przesyłanie komunikatów krytycznych dla bezpieczeństwa
 - Sterowanie samodzielnie poruszającymi się pojazdami
 - Przesyłanie wiadomości o ruchu drogowym
 - Zapewnienie łączności w przypadkach:
 - zagrożenia zdrowia, życia,
 - wypadków drogowych i innych
 - klęsk żywiołowych wiążących się z częściowo zniszczoną infrastrukturą telekomunikacyjną
 - Roboty działające w sieci bezprzewodowej
- **Sieci URC mają być częścią systemu 5G nie zaś osobnymi sieciami**

Warszawa 31.06.2016

33

Podsumowanie



- Jesteśmy świadkami kolejnej rewolucji na drodze rozwoju telekomunikacji bezprzewodowej
- Trwają intensywne prace nad rozwojem systemów 5G w ramach konsorcjum 5GPPP wspieranego przez UE
- Trudności polskich zespołów w dostępie do konsorcjum 5GPPP
- Wynegocjowano bardzo niekorzystne warunki uczestnictwa w projektach H2020, które nie zachęcają do uczestnictwa w nich

Warszawa 31.06.2016

34



Dziękuję za uwagę