

## **Nowy interfejs powietrzny 5G: wyzwania dla wydajnego współistnienia wielu usług dla 5G poniżej 6 GHz**

5G będzie musiało poradzić sobie z wysokim stopniem niejednorodności pod względem: (a) usług (mobilny internet szerokopasmowy, masowa komunikacja w zakresie urządzeń i komunikacji krytycznej z misją, usługi szerokopasmowe / multimediami i komunikacja samochodowa); (b) klasy urządzeń (czujniki niskiej klasy do tabletek high-end); (c) rodzaje rozmieszczenia (makra i małe komórki); (d) środowiska (o małej gęstości do bardzo gęstego miejskiego); oraz (e) poziomu mobilności (transport statyczny do szybkiego). W związku z tym należy wspierać różnorodne i często sprzeczne z kluczowymi wskaźnikami wydajności, takie jak wysoka przepustowość / użytkownicy, niskie opóźnienia, wysoka niezawodność, wszechobecny zasięg, wysoka mobilność, ogromna liczba urządzeń, niskie koszty / zużycie energii. 4G nie jest zaprojektowany tak, aby skutecznie spełniać tak wysoką różnorodność heterogeniczności. Ponadto posiadanie wielu technologii dostępu bezprzewodowego do obsługi wielu usług poniżej 6 GHz będzie zbyt kosztowne. Należy opracować nowy wielousługowy interfejs radiowy (AI) dla częstotliwości poniżej 6 GHz w ramach modułowej konstrukcji. Aby umożliwić systemowi dostosowanie się do oczekiwanej heterogeniczności, pożądanymi właściwościami są: elastyczność, skalowalność, wszechstronność, wydajność, odporność na przyszłość. W tym celu, techniczne komponenty sztucznej inteligencji (np. Elastyczny kształt fali i ramka, skalowalne procedury wielokrotnego dostępu, adaptacyjne schematy retransmisji, ulepszone schematy wielu anten z / bez współpracy, zaawansowane wykrywanie wielu użytkowników, koordynacja interferencji, wsparcie dla ultrasownych układów komórek zarządzanie zasobami radiowymi w wielu komórkach, urządzenie z urządzeniem) musi zostać opracowane i zintegrowane z ogólną strukturą sztucznej inteligencji, w której adaptacja do wyżej opisanych źródeł heterogeniczności zostanie osiągnięta i zweryfikowana za pomocą symulacji na poziomie systemu.

### **2.1 Wprowadzenie**

Technologia komórkowa była odnawiana co dziesięć lat od wprowadzenia GSM, które można uznać za głównego przedstawiciela drugiej generacji (2G) technologia komórkowa. W latach 90-tych GSM stało się powszechne i oferowało usługi głosowe na całym świecie. Wraz z rosnącym sukcesem sieci World Wide Web usługi transmisji danych stały się kluczowym czynnikiem napędowym nowej generacji technologii komórkowej. Około 2000 r. Wprowadzenie technologii komórkowej trzeciej generacji (3G) umożliwiło szybki rozwój mobilnych usług transmisji danych. Około roku 2010 wprowadzenie technologii 4G (LTE - Long-Term Evolution) przyniosło znaczące usprawnienia bezprzewodowego dostępu do Internetu szerokopasmowego do usług internetowych. Oczekuje się, że następną generacją nastąpi około 2020 roku. Istnieje pięć trendów, które przesuwają granice 4G, wskazując na potrzebę zastosowania technologii komórkowej piątej generacji:

- Trend 1 - Zwiększenie pojemności: przewiduje się, że zapotrzebowanie na dane bezprzewodowe znacząco wzrośnie, co spowoduje 1000-krotnie wyższe wolumeny danych mobilnych i 10-100-krotnie wyższe szybkości danych użytkowników końcowych.
- Trend 2 - Zwiększenie liczby podłączonych urządzeń: Przewiduje się, że liczba podłączonych urządzeń zwiększy się o 10-100, co oznacza, że do jednego punktu dostępowego musi być dostarczonych do 300 000 urządzeń.
- Trend 3 - Zwiększenie niezawodności: łączność bezprzewodowa zostanie zastosowana w nowych przypadkach użycia, które wymagają wyjątkowo niezawodnych połączeń (zwykle 99,999% dostępności

i niezawodności) oraz komunikacji o znaczeniu krytycznym, takich jak koordynacja pojazd-pojazd, krytyczna kontrola mocy siatka itp.

- Trend 4 - Zmniejszenie opóźnienia: Zdalna obecność i dotykowy Internet nakładają rygorystyczne ograniczenia opóźnień na połączenie od końca do końca, w tym część bezprzewodową. Prognozy wskazują, że opóźnienie powinno zostać zmniejszone pięciokrotnie, aby umożliwić takie usługi.
- Trend 5 - Zwiększenie wydajności: Wydajność w zakresie wykorzystania zasobów (np. Energia, widmo) staje się coraz bardziej wyraźna. Jest postrzegany jako nieodzowny składnik zdrowego / zrównoważonego rynku ICT / biznesu i środowiska.

Wyzwaniem dla 5G jest zatem nie tylko zwiększenie liczby użytkowników lub wydajności (jak to było dotychczas w przypadku poprzednich pokoleń), ale także opanowanie szerokiej gamy wymagań / warunków, jak zaobserwowano w powyższych tendencjach. W związku z tym istnieje potrzeba pracy w kierunku nowego interfejsu lotniczego 5G, który oferuje znacznie więcej niż szybszy wariant 4G. Interfejs radiowy 5G poniżej 6 GHz jest przewidziany, aby zapewnić następujące kluczowe cechy:

- elastyczność w zakresie obsługi szerokiej klasy usług wraz z powiązаныmi (szeroką klasą) kluczowymi wskaźnikami wydajności (KPI),
- skalowalność do obsługi dużej liczby urządzeń,
- wszechstronność do obsługi różnorodnych typów urządzeń i charakterystyki ruchu / transmisji,
- wydajność w celu spełnienia wymagań dotyczących zużycia energii i wykorzystania zasobów, oraz
- odporność na przyszłość, ułatwiająca integrację nowych funkcji.

Aby zrealizować tę wizję, należy realizować następujące cele:

- Współistnienie różnych usług, typów urządzeń i charakterystyki ruchu / transmisji w zespole za pomocą wysoce elastycznego, wszechstronnego i skalowalnego interfejsu powietrznego.
- Wszechobecny zasięg i duża pojemność wszędzie tam, gdzie jest to wymagane.
- Wysoka wydajność w zakresie zużycia energii i zasobów.
- Przyszłość w porównaniu z poprzednimi pokoleniami, ułatwiając proste wprowadzenie nowych funkcji.

- Ocena i walidacja opracowanych koncepcji za pomocą poziomu systemu symulacje i sprzętowe koncepcje wybranych elementów.

## **2.2 Usługi podstawowe i związane z nimi wskaźniki KPI**

### **2.2.1 Podstawowe usługi**

Kluczowe cechy interfejsu 5G (elastyczność, skalowalność, wszechstronność, wydajność i odporność na przyszłe zmiany) umożliwią nowe usługi w różnych obszarach zastosowań, np. Podłączonych urządzeniach, koordynacji pojazd-pojazd, krytycznej kontroli sieci energetycznej, zdalnej obecności, dotykowy Internet i więcej. Usługi te można pogrupować w następujących pięciu kategoriach o nazwie usługi 5G:

- Mobilna sieć szerokopasmowa (MBB2): 5G będzie musiało obsługiwać połączenia szerokopasmowe mobilne od dzisiaj, ale ze zwiększoną pojemnością, wydajnością i szybkością transmisji danych. Typowe

przypadki użycia odpowiadające MBB to strumieniowanie multimediiów, usługi kombinowane, w tym Voice over IP (VoIP), jako jedna z usług, przeglądanie Internetu, wideokonferencje, pobieranie plików i przesyłanie do chmury, niektóre usługi związane z grami itp.

- Masowa komunikacja z maszyną (MMC3): MMC można uznać za jedną z części komunikacji typu komputerowego (MTC) [1-3]. InMMC Istnieje ogromna liczba czujników / mierników / urządzeń wykonawczych rozmieszczonych w dowolnym miejscu krajobrazu (np. Czujniki ognia w obszarach o dużym zagrożeniu pożarami lasów, czujniki do kontroli / zarządzania jakością wody, czujniki dymu, powiadomienia o awarii zasilania, powiadomienia o manipulacji , siłowniki do kontroli dostępu, temperatury, oświetlenia w budynkach lub sygnalizacji świetlnej w kontekście inteligentnych miast itp.) i które muszą mieć dostęp do sieci bezprzewodowej. W większości przypadków ruch MMC obejmuje stosunkowo małe pakiety na połączenie i dlatego wymaga niskiej przepustowości na urządzenie. Ponadto, typową cechą MMC jest to, że czujniki muszą być mocne, proste (to jest tanie), zdolne do pracy na zasadniczo długich żywotności baterii i osiągalne w trudnych warunkach pokrycia, np. W pomieszczeniach i piwnicach. Dziś jest to również znane jako "low-end Internet of Things (IoT)". Typowe przypadki użycia odpowiadające MMC to inteligentne pomiary, naturalne monitorowanie ekosystemów, zdalna konserwacja / kontrola, śledzenie / śledzenie floty / paczek itp.

- Komunikacja krytyczno-krytyczna (MCC4): MCC zawiera inny typ MTC, który implikuje łączność bezprzewodową, w której komunikaty o czujnikach muszą być przesyłane między odpowiednimi partnerami komunikacyjnymi, przy jednoczesnym spełnieniu jednego lub kilku z poniższych: bardzo krótkie czasy odpowiedzi, bardzo wysoka niezawodność i bardzo wysoka dostępność. Typowymi przypadkami użycia MCC są prywatne aplikacje bezpieczeństwa (np. Nadzór wideo i wykrywanie włamań), monitorowanie życiowych znaków, automatyzacja fabryki itd. Należy zauważyć, że MCC kieruje także komunikacją między osobami (P2P) w ramach np. klęsk żywiołowych i bezpieczeństwa publicznego.

- Usługi Broadcast / Multicast (BMS): BMS obejmuje jednoczesne dostarczanie treści w trybie "jeden do wielu" lub "wiele do wielu". Sprawna integracja BMS w 5G sprawi, że cenne zasoby widma będą dostępne dla innych (pojedynczych) usług. Typowymi przykładami BMS są nie tylko dobrze znane obudowy radia mobilnego i radia cyfrowego, ale także aktualizacje oprogramowania / oprogramowania sprzętowego / oprogramowania; Docelowymi przypadkami użycia mogą być dedykowane pokrycia "Stadium 2.0" lub "Inteligentne miasta" (np. podpis cyfrowy). W szczególnym przypadku dostarczania treści multimedialnych, BMS jest znany jako usługa transmisji multimedialnej / multitemisji (MBMS).

- Komunikacja pojazd-pojazd i pojazd-infrastruktura (V2X): V2X oznacza bezpośrednią łączność bezprzewodową między pojazdami (pojazd-pojazd, V2V) lub między pojazdami a drogą (Vehicle-to-Infrastructure, V2I) . Dzisiaj, znany również jako Inteligentne Systemy Transportowe (ITS), V2X składa się z przypadków użycia, w których pozostałe cztery podstawowe usługi (MBB, MMC, MCC i BMS) obejmują węzły o dużych prędkościach. Typowymi przykładami są bezpieczeństwo na drodze (np. Unikanie kolizji), które jest kombinacją V2X z MCC, payas-you-drive, który jest połączeniem V2X z MMC i infotainment, który jest połączeniem V2X z BMS i / lub MBB.

## 2.2.2 Kluczowe wskaźniki wydajności

W odniesieniu do powyższych pięciu podstawowych usług określono następujące główne kluczowe wskaźniki efektywności dla 5G:

- KPI 0: Użytkownik doświadcza szybkości transmisji danych

- KPI 1: Natężenie ruchu (aby uzyskać wysoką pojemność systemu)
- KPI 2: Opóźnienie
- KPI 3: Pokrycie (w celu zapewnienia powszechnego dostępu)
- KPI 4: Mobilność
- KPI 5: gęstość połączenia
- KPI 6: Niezawodność / dostępność
- KPI 7: Zmniejszenie złożoności
- KPI 8: Efektywność energetyczna

Mimo że wiele kluczowych wskaźników wydajności jest zrozumiałych, dalsze wyjaśnienia znajdują się w następnym akapicie:

- KPI 0: szybkość transmisji danych doświadczana przez użytkownika bezpośrednio odnosi się do szerokości pasma lub wydajności widmowej przydzielonej do usługi. W większości przypadków przydzielona przepustowość usługi jest współdzielona z innymi użytkownikami, w zależności od obciążenia ruchem, a ułamek rzeczywiście przydzielonej przepustowości jest oceniany średnio przez cały czas trwania usługi, a nie natychmiast. Warto zauważyć, że istotne jest rozważenie KPI 0 w połączeniu z innymi wskaźnikami KPI, np. KPI 1, KPI 4 i KPI 5, ze względu na kompromisy między nimi. Oczekuje się, że faktyczne (zakres) wartości odpowiedniego wymagania silnie zależą będzie od konkretnego przypadku zastosowania.

- KPI 2: Opóźnienie definiuje się jak w białej księdze NGMN [5]. Dwa odrębne przypadki powinny być wzięty pod uwagę:

\* Opóźnienie E2E (bardziej związane z doświadczeniem użytkownika): Mierzy czas między przestaniem małego pakietu danych z warstwy aplikacji w węźle źródłowym a pomyślnym odbiorem w warstwie aplikacji w węźle docelowym plus równoważny czas potrzebny do przeniesienia odpowiedzi (jeśli przewidziano).

\* Opóźnienie płaszczyzny użytkownika (bardziej związane z projektem interfejsu lotniczego): Mierzy czas potrzebny na przestanie małego pakietu danych z terminala użytkownika do interfejsu warstwy 2 / warstwy 3 w docelowym węźle systemu 5G, wraz z równoważnym czasem potrzebnym do przeniesienia odpowiedzi z powrotem.

- KPI 3: zasięg może być zdefiniowany pod względem osiągalnego obszaru / odległości wokół / z nadajnika (-ów), w których jest nadal dostępny odpowiedni poziom czułości, w celu zagwarantowania, że pożądaný sygnał jest odbierany powyżej lub przynajmniej w punkcie odniesienia poziom czułości odbiornika (dotyczy zarówno Uplink (UL), jak i Downlink (DL)). W zależności od rozważanej usługi podstawowej, takiej jak np. MMC, zasięg może być również zdefiniowany jako Maksymalny Strata Sprężenia (MCL) dozwolony zarówno na UL, jak i na DL (przy założeniu minimum), pod względem różnicy między mocą transmisji nadajnik i referencyjny poziom czułości odbiornika (biorąc pod uwagę termiczną gęstość szumów, wielkość szumu odbiornika, margines interferencji, zajęte pasmo kanału, wymagany SINR i wzmocnienie przetwarzania odbiornika).

- KPI 6: można założyć, że dostępność jest równa (1 - prawdopodobieństwo zablokowania usługi), gdzie prawdopodobieństwo zablokowania usługi wynika z braku wystarczających zasobów, aby uzyskać dostęp, przyznać i zapewnić usługę, nawet w przypadku odpowiedniego zasięgu. Dodatkowo

można założyć, że niezawodność jest równa  $(1 - \text{szybkość zrzutu usługi})^5$ , gdzie może wystąpić upuszczenie usługi, np. W przypadku dość poważnych zakłóceń wielokrotnych otrzymywanych razem z pożądanym sygnałem, nawet w przypadku odpowiedniego pokrycia. W zależności od rozważanej usługi podstawowej, niezawodność może być również zdefiniowana jako prawdopodobieństwo przeniesienia danego ładunku i otrzymania odpowiedniego potwierdzenia z pewnym wcześniej określonym wymaganiami niezawodności i opóźnienia.

- KPI 7 i 8: Te dwa wskaźniki KPI zostaną ocenione w porównaniu do obecnych standardów. Szacowana złożoność i zużycie energii powinny być porównywalne do dzisiejszych zastosowań metropolitalnych. Utrzymanie stałego zużycia energii przy jednoczesnej poprawie wydajności systemu oznacza potrzebę większej efektywności energetycznej.

Powyższe wskaźniki KPI można podzielić na dwie kategorie:

- KPI w zakresie User Experience: 0, 2, 36, 4, 6
- KPI wydajności systemu: 1, 3, 5, 7, 8

Kluczowe wskaźniki wydajności User Experience bezpośrednio wpływają na jakość usługi (QoS) i ogólną jakość obsługi (QoE) dla użytkownika danej usługi, podczas gdy KPI wydajności systemu odnoszą się głównie do wydajności świadczenia usług od operatora sieci mobilnej (MNO) perspektywicznie. Obydwie kategorie są równie ważne: niedopełnienie wymagań User Experience KPI prowadzi do braku klientów do świadczenia usługi (tj. Do osiągnięcia KPI wydajności systemu), mimo że usługa jest dostarczana sprawnie. Nieprzestrzeganie wskaźników KPI wydajności systemu prowadzi do braku operatorów sieci ruchomej świadczących usługi pomimo spełnienia oczekiwań użytkowników (tj. Spełnienia kluczowych wskaźników wydajności User Experience).

### **2.2.3 Znaczenie KPI dla usług podstawowych**

Bliższe zapoznanie się z podstawowymi usługami wprowadzonymi powyżej może pomóc w identyfikacji kluczowych wskaźników wydajności, które są dla nich najważniejsze. Im wyższy jest względny poziom wymagań odpowiedniego kluczowego wskaźnika wydajności na podstawie usługi bazowej, tym trudniejsze są odpowiednie wartości (zakres), a tym samym samo wymaganie dla tego wskaźnika KPI.

## **2.3 Przypadki użycia z literatury 5G**

Powszechnie uznaje się, że rozważenie każdej usługi osobno i budowa sieci 5G nie będzie zrównoważone ekonomicznie ani środowiskowo. Z tego powodu projekt sieci 5G musi zostać przeprowadzony w kierunku zestawu przypadków użycia które zazwyczaj łączą różne typy usług. W tej części krótko przedstawimy przypadki użycia 5G z literatury (głównie z projektu METIS, NGMN i 3GPP) i pokażemy, jak można zidentyfikować reprezentatywne przypadki użycia.

### **2.3.1 Przypadki użycia z projektów METIS / METIS-II**

Projekt METIS po raz pierwszy wprowadził 12 przypadków testowych (TC), w których przypadek testowy jest praktycznym scenariuszem sformułowanym z punktu widzenia użytkowników końcowych i zawiera zestaw założeń, ograniczeń i wymagań. Te przypadki testowe zostały wybrane tak, że w zasadzie próbują przestrzeni przyszłych aplikacji, co oznacza, że niektóre z nich mają aplikacje, które tradycyjnie nie były brane pod uwagę w badaniach systemów telekomunikacyjnych (stan na kwiecień 2013 r.). 12 przypadków testowych są następujące:

- TC1: biuro wirtualnej rzeczywistości

- TC2: Gęste miejskie społeczeństwo informacyjne
- TC3: Centrum handlowe
- TC4: Stadion
- TC5: Teleprotekcja w sieci inteligentnych sieci
- TC6: korek drogowy
- TC7: martwe pola
- TC8: Zdalne przetwarzanie w czasie rzeczywistym dla terminali mobilnych
- TC9: Festiwal na świeżym powietrzu
- TC10: komunikacja w sytuacjach awaryjnych
- TC11: Masowe rozmieszczenie czujników i elementów wykonawczych
- TC12: Efektywność i bezpieczeństwo ruchu

Następnie METIS wprowadził dziewięć przypadków użycia inspirowanych najnowszymi trendami technologicznymi i przyszłymi prognozami. Dziewięć przypadków użycia jest następujących:

- UC1: Gaming
- UC2: Maraton
- UC3: Media na żądanie
- UC4: Bezzałogowe statki powietrzne
- UC5: Zdalna interakcja dotykowa
- UC6: eHealth
- UC7: Bardzo niska sieć 5G
- UC8: Zdalne wykrywanie i kontrola samochodu
- UC9: Przemysł leśny na zdalnym sterowaniu

Projekt METIS-II wybrał podzbiór powyższych 21 przypadków użycia (zmiana nazwy przypadków testowych do użycia) dla TC1 (te same wymagania, które określono w METIS), TC2 (zaktualizowano wymagania METIS, aby zapewnić zgodność z wymaganiami NGMN w zakresie ponad 300 Mb / sw przypadku 95% użytkowników), TC11 (te same wymagania jak określono w METIS) i TC12 (zaktualizowane wymagania METIS w celu zapewnienia, że niski opóźnienie rozciąga się na V2I, dzięki czemu rozwiązania mogą pomóc w innych aplikacjach uMTC, oraz dodano możliwości MBB do rozrywki na pokładzie). METIS-II wprowadził jeden więcej przypadków użycia

- UC22: Dostęp szerokopasmowy wszędzie koncentrujący się na zasięgu na obszarach wiejskich i podmiejskich z wymaganiami NGMN 50 Mbps w DL i 25 Mbps w UL.

### **2.3.2 Przypadki użycia NGMN**

NGMN opracował 24 przypadki użycia dla 5G [5] jako reprezentatywne przykłady, które są pogrupowane w 8 rodzin przypadków użycia. Przypadki użycia i rodziny przypadków użycia służą jako dane wejściowe do ustawiania wymagań i definiowania elementów składowych architektury 5G.

Przypadki użycia nie są wyczerpujące, ale raczej traktowane jako narzędzie zapewniające, że poziom elastyczności wymagany w 5G jest dobrze uchwycony. Przypadki użycia 5G wymagają bardzo różnorodnych, a czasem ekstremalnych wymagań. Oczekuje się, że jedno rozwiązanie spełniające wszystkie ekstremalne wymagania w tym samym czasie może prowadzić do nadmiernej specyfikacji i wysokich kosztów, chyba że operatorowi sieci zaoferuje się wszechstronne ramy. Niemniej jednak przewiduje się, że kilka przypadków użycia będzie aktywnych jednocześnie w tej samej sieci operatora, co wymaga dużej elastyczności i skalowalności sieci 5G.

### **2.3.3 3GPP SMARTER SI przypadków użycia**

Studium wykonalności w zakresie nowych usług i rynków (LD\_SMARTER) realizowane przez 3GPP SA1 ma na celu zidentyfikowanie segmentów rynku i branż, których potrzeby powinny być zaspokojone przez 3GPP, oraz opracowanie przypadków użycia i wymagań, które będą wymagały ekosystemu 3GPP wspierać w przyszłości. Przedmiotem niniejszej pracy są przypadki użycia i odpowiednie wymagania, których nie można spełnić dzięki systemowi Evolved Packet System (EPS). Niemniej jednak, SMARTER obejmuje również analizę, które usługi i wymagania istniejące w istniejących systemach 3GPP muszą zostać uwzględnione i czy należy opracować mechanizmy awaryjne. Z powyższej tabeli można zauważyć, że 15 przypadków użycia SMARTER może zostać zmapowanych do odpowiednich przypadków użycia NGMN, których numeracja odnosi się do listy przypadków użycia NGMN, począwszy od przypadku użycia 1 (wideo wszechobecne) aż do użycia 24 (Usługi podobne do transmisji: lokalne, regionalne, krajowe). Pozostałe pięć przypadków użycia SMARTER nie jest objęte żadnym przypadkiem użycia NGMN. Te pięć przypadków użycia można scharakteryzować na dwa sposoby. Z jednej strony niektóre z nich są związane ze starszymi usługami świadczonymi przez wcześniejsze generacje / stare systemy (takie jak przypadki 4 i 16 zastosowania SMARTER). Z drugiej strony, niektóre inne odnoszą się do cech funkcjonalnych całego interfejsu lotniczego, takich jak elastyczność i skalowalność, architektura sieci (przecinanie sieci) i elastyczne trasowanie ruchu aplikacji (takie jak przypadki użycia SMARTER 2, 8 i 9). W ten sposób nie mapują bezpośrednio do usług podstawowych 5G.

## **2.4 Futerał 5G firmy FANTASTIC-5G**

Projekt FANTASTIC-5G wybrał podzbiór 5G przypadków użycia, które są w większości przypadków reprezentatywny i który może być zadowolony z widma poniżej 6 GHz (pierwotny główny punkt projektu).

### **2.4.1 Wybrane przypadki użycia FANTASTIC-5G**

Aby zaprojektować interfejs powietrzny, który spełnia najbardziej rygorystyczne wymagania różnych podstawowych usług w realistycznych scenariuszach, należy wybrać podzbiór przypadków użycia, które są w większości reprezentatywne.

#### ***Krok 1: wybierz przypadki użycia nieobjęte LTE-LTE-Advanced lub nawet wcześniejszymi RAT-ami***

UC23 jest już objęty LTE i LTE-Advanced, w oparciu o jedną częstotliwość tryb sieciowy (SFN), natomiast UC24 wymaga dużej elastyczności i skalowalności, co oznacza, że należy uwzględnić nowe komponenty w porównaniu z dostępnymi w LTE i LTE-Advanced. W rzeczywistości, jak opisano w [5], podczas gdy personalizacja komunikacji doprowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na starszą transmisję, jaką stosuje się dzisiaj, na przykład telewizja, w pełni mobilne i połączone społeczeństwo będzie jednak potrzebowało wydajnego rozprowadzania informacji z jednego źródła do wielu miejsc docelowych. Usługi te mogą rozpowszechniać treści w taki sposób, jak dzisiaj (zwykle tylko DL), ale także udostępniać kanał zwrotny (w UL) dla usług interaktywnych lub informacji potwierdzających. Zarówno usługi czasu rzeczywistego, jak i usługi w czasie rzeczywistym powinny być możliwe i mogą mieć

szeroką dystrybucję lub koncentrować się w mniejszych regionach. Po tej refleksji, UC23 jest wykluczone.

### ***Krok 2: wybierz przypadki użycia nieobjęte wyższymi częstotliwościami (np. Powyżej 6 GHz) RAT***

W przypadku wyższych częstotliwości RAT (np. Powyżej 6 GHz), wiele RAT z potencjalnie różnymi interfejsami powietrznymi może się uzupełniać w celu zapewnienia dostępu szerokopasmowego w gęstych obszarach. Takie podejście pozwala na stosowanie wielu RAT-ów z uzupełniającymi przypadkami użycia, które można wykorzystać do zapewnienia przepustowości i wysokich szybkości transmisji danych w gęsto zaludnionych obszarach miejskich, a także wewnątrz budynków, w celu wsparcia kategorii mobilnych zastosowań szerokopasmowych. Aby zapewnić dostęp szerokopasmowy w gęstych obszarach o niższych częstotliwościach, RAT (poniżej 6 GHz) zdefiniowano przypadek użycia "Gęste społeczeństwo miejskie poniżej 6 GHz". Jak już wspomniano powyżej, ten przypadek użycia jest uważany za ważny dla zwiększenia pojemności w 5G i jest istotny dla usług szerokopasmowych 5G, w szczególności dla zakresu częstotliwości od 3 do 6 GHz.

### ***Krok 3: wybierz przypadki użycia, które obejmują i są bardziej wymagające niż inne przypadki użycia (pod względem kluczowych wskaźników wydajności i odpowiednich wymagań) w ramach tych samych podstawowych usług***

W ramach głównej usługi MBB, UC6 jest bardziej wymagający niż UC7, pod względem prawie wszystkich wskaźników KPI (od KPI 0 do KPI 6, z jedynymi wyjątkami KPI 7 i KPI 8) i odpowiadającymi im wymaganiami. Niemniej jednak, ponieważ KPI7 i KPI8 są ważnymi wskaźnikami dla operatorów sieci ruchomej, zwracamy szczególną uwagę na te wskaźniki KPI podczas pracy nad UC6. W ramach podstawowych usług MBB p V2X, UC8 może być uważany za bardziej wymagający niż UC9 i UC10, pod względem co najmniej KPI 3 i KPI 4, które są kluczowymi wskaźnikami KPI w przypadku zastosowań w pojazdach. Z perspektywy usług podstawowych V2X, UC8 jest bardziej wymagający niż UC11, ponieważ oprócz KPI 3 i KPI 4 (kluczowe w przypadku aplikacji dla pojazdów), ograniczenia związane z mobilnymi aplikacjami szerokopasmowymi muszą być rozważone w tym samym czasie i mogą być kwestionowane i zagrożone przez zasięg i mobilność. W ramach podstawowej usługi MMC, UC13 jest bardziej wymagający niż UC12, pod względem KPI 3, KPI 5, KPI 7 i KPI 8, co jest kluczowe w przypadku masywnego MTC o niskim / długim zasięgu / niskiej mocy. W ramach podstawowej usługi MCC, UC15 jest bardziej wymagający niż UC14, pod względem KPI 2, KPI 3 i KPI 6, które są kluczowymi wskaźnikami KPI w przypadku komunikacji o znaczeniu krytycznym. Z perspektywy usług podstawowych MCC, UC17 jest bardziej wymagający niż UC16, UC18, UC19, UC20, UC21 i UC22, ponieważ oprócz KPI 2, KPI 3 i KPI 6 (kluczowe w przypadku komunikacji o znaczeniu krytycznym), należy wziąć pod uwagę KPI 4 jednocześnie i mobilność zwykle stanowi znaczące wyzwanie w spełnianiu wymagań dotyczących zasięgu i niezawodności / dostępności. Po tych rozważaniach wykluczone są UC7, UC9, UC10, UC11, UC12, UC14, UC16, UC18, UC19, UC20, UC21, UC22. W oparciu o ogólne kryteria, wybrane przypadki użycia FANTASTIC-5G to UC3, UC6, UC8, UC13, UC15, UC17, UC24 (obecnie określane jako Przypadki użycia 1-7):

- Zastosuj wielkość 1: 50 Mb / s wszędzie w MBB
- Użyj Przypadek 2: Szybki pociąg MBB p V2X
- Użyj Przypadek 3: Sieci czujników MMC
- Użyj Przypadek 4: Dotykowy Internetowy MCK
- Użyj przypadku 5: Automatyczna kontrola ruchu / jazda MCCp V2X



- Use Case 6: Broadcast like services: lokalny, regionalny, krajowy BMS
- Użyj Przypadek 7: Gęste społeczeństwo miejskie poniżej 6 GHz MBB

Warto zauważyć, że siedem wybranych przypadków użycia reprezentuje wszystkie podstawowe usługi jako usługą pojedynczego klucza (MBB, MMC, MCC, BMS) lub jako połączenie dwóch podstawowych usług (V2X w połączeniu z MBB lub CMC). że przypadek NGMNuse "Gęste społeczeństwo miejskie" został zmodyfikowany do "gęstej społeczności miejskiej poniżej 6 GHz", koncentrując się na zakresie częstotliwości od 3 do 6 GHz. W związku z tym wartość NGMN z szybkością 300 Mb / s została zmniejszona do 50 Mb / s. Ważne jest również podkreślenie, że wybrane przypadki użycia według METIS II są w większości brane pod uwagę na powyższej liście wybranych przypadków użycia pod względem UC6, UC13 i UC17. Należy pamiętać, że UC4 (smart office) nie może być brane pod uwagę, ponieważ tak jest przypadek użycia, który jest zwykle pokryty (również) przez wyższe częstotliwości RAT.

## 2.5 Wyzwania dla projektu 5G poniżej 6 GHz

### 2.5.1 Metodologia projektowania

W oparciu o wybrane przypadki użycia i wymagania, zaprojektowano ogólne ramy interfejsu lotniczego. W tym celu najbardziej odpowiednie technologie wspomagające (np. Nowe przebiegi, kodowanie kanałów, struktura / numerologia ramek, urządzenie z urządzeniem (D2D), ulepszone MIMO, współpraca wielokomórkowa, kanały sterujące, procedury warstwy 1, itp.), które należy zidentyfikować i ocenić ich znaczenie dla osiągnięcia wymagań każdego przypadku użycia. Projekt ten musi być wykonany zarówno na poziomie łącza i systemu, jak opisano poniżej.

Aby osiągnąć to pojedyncze rozwiązanie, można przyjąć następujące trzyetapowe podejście:

- Etap 1: Dedykowane działania badawcze dotyczące komponentów specyficznych dla usługi (interfejsu lotniczego) dla każdej z pięciu podstawowych usług wymienionych w sekcji 2.2 muszą być wykonane. Na przykład kodowanie kanałów dla MMC, kształtu fali i ramki dla BMS, rozwiązania MIMO dla V2X, dostęp do kanału dla MMC, rozwiązania zarządzania zakłóceniami dla MBB itp. Jednocześnie należy opracować ramy interfejsu lotniczego dla każdej usługi, który definiuje funkcjonalne opisy komponentów i interfejsów pomiędzy nimi.
- Etap 2: Aby połączyć i zharmonizować pracę wykonywaną dla każdej usługi, można wprowadzić koncepcję sterowników integracji usług (SID). Jest jeden identyfikator SID dla każdej usługi podstawowej (która nosi tę samą nazwę wraz z usługą) oraz jeden identyfikator SID dla usług złożonych (zwany "Ogólnym identyfikatorem SID"). Główną rolą podstawowych identyfikatorów SID usług jest zbieranie różnych komponentów zoptymalizowanych dla każdej usługi i integracja ich z konkretnym interfejsem usługowym (obejmującym kształt fali, ramkę, sygnalizację kontrolną, kodowanie, modulację, procedury, schematy retransmisji, MIMO itd. .). Ta integracja zostanie przeprowadzona za pomocą interfejsu interfejsu lotniczego opracowanego na etapie 1. Należy pamiętać, że wszystkie komponenty interfejsu radiowego nie muszą być przeprojektowywane od zera. Wszystkie pozycje badawcze należy sprawdzić pod kątem odpowiedniego rozwiązania w LTE jako wzorca. Komponenty LTE zostaną ponownie użyte w razie potrzeby, ale ponieważ LTE jest a (nieelastyczny) niestandardowy projekt MBB, oczekuje się, że nie będzie to dotyczyć większości komponentów MCC, MMC, BMS i V2X.
- Etap 3: Kiedy rozwiązania interfejsu lotniczego dla każdej usługi zostaną zaprojektowane przez podstawowe identyfikatory SID, analiza wrażliwości musi zostać przeprowadzona przez wszystkie identyfikatory SID, aby zobaczyć, jak różne projekty muszą zostać dostosowane, aby były zgodne z więcej niż jedną usługą. W ten sposób można zbadać granice stopnia elastyczności rozwiązań

specyficznych dla danej usługi. Na przykład projekt kształtu fali i ramy dla MMC zostanie dostosowany do MCC poprzez przeprojektowanie / rekonfigurację, która często jest wyborem pomiędzy kilkoma konfiguracjami. W ten sposób możliwe jest połączenie w jedno rozwiązanie interfejsu lotniczego, które jest w stanie dostosować się do wymagań więcej niż jednej usługi. Dodatkowo oceniany będzie wpływ multipleksowania różnych usług, z których każda będzie zoptymalizowana dla konkretnej usługi w zakresie częstotliwości i / lub czasu.

Poniżej znajduje się bardziej szczegółowy opis identyfikatorów SID.

### **2.5.2 Sterowniki integracji usług**

Pięć z sześciu identyfikatorów SID jest bezpośrednio związanych z wyżej wymienionymi usługami podstawowymi: MBB, MMC, MCC, BMS i V2X. Każda z tych pięciu identyfikatorów tożsamości opracowuje interfejs radiowy specyficzny dla danej usługi, mając na uwadze odpowiednie cechy i potrzeby związane z usługami. W ten sposób staje się dostępny projekt struktury interfejsu lotniczego (etap 1). Ta struktura obejmuje (1) funkcjonalne opisy elementów interfejsu radiowego wymaganych do implementacji interfejsu powietrznego odpowiedniej usługi (np. Niektóre usługi potrzebują środków do sondowania UL, podczas gdy inne nie, niektóre usługi pozwalają na retransmisje Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ), podczas gdy inne nie), (2) interfejsy między różnymi budynkami bloki (np. różne usługi będą wymagać różnych interakcji między warstwami) i (3) możliwość zastosowania do różnych ustawień wdrażania. W ramach każdego identyfikatora SID usługi podstawowej niektóre elementy będą (ponownie) zaprojektowane i zoptymalizowane dla tej usługi. Niektóre inne zostaną łatwo wykorzystane z istniejących technologii (pokazano ciemnoszare kule na rysunku 2.3). Następnie zostaną one wkomponowane w specyficzny dla usługi interfejs radiowy za pomocą struktury dla tej usługi (etap 2). Jeśli chodzi o szósty identyfikator SID, ma on na celu przeanalizowanie możliwości połączenia i harmonizacji rozwiązań specyficznych dla danej usługi w jeden interfejs powietrzny zapewniający wielousługowy interfejs powietrzny, który jednocześnie spełnia wymagania pięciu podstawowych usług. W tym celu szósty SID musi (1) zbadać zależności, (2) znaleźć synergie, (3) przeprowadzić analizę wrażliwości we współpracy z innymi identyfikatorami SID i (4) zapewnić ogólny projekt interfejsu lotniczego, spełniający wymagania wszystkie usługi pod uwagę. Szósty identyfikator SID jest jednym z kluczowych sposobów osiągnięcia pojedynczego wielousługowego interfejsu lotniczego. Rysunek 2.3 przedstawia rolę identyfikatorów SID w projekcie interfejsu lotniczego. Optymalnie, wynik tego działania jest bardzo elastyczny, wszechstronny i skalowalny interfejs interfejsu lotniczego umożliwiający obsługę wszystkich przewidzianych (a nawet jeszcze nie przewidziano) usługi z epoki 5G o najwyższej wydajności (pod względem widma i widma energii). Nawet jeśli pojedynczy interfejs multi-service air okaże się nieefektywny, zestaw Zoptymalizowane projekty interfejsów powietrza, z których każdy obejmuje podzbiór wyżej wymienionych usług, mogą być dostarczane dzięki identyfikatorom SID.

### **2.5.3 Wyzwania na poziomie łącza**

Projekt łącza obejmuje kilka elementów technicznych, takich jak modulacja i kodowanie, kształtu fali, ramki i kanału kontrolnego, procedury warstwy fizycznej itp. różnorodne i często sprzeczne ze sobą wymagania 5G, projekt linków opiera się na dwóch ogólnych pytaniach: (i) W jaki sposób nowe funkcje / usługi mogą być dodawane w późniejszych wersjach bez nakładania ciężkich ograniczeń i bez przeszkadzania starszym urządzeniom? oraz (ii) Jaka jest najlepsza równowaga między elastycznością a ustaloną wcześniejszą konfiguracją? Ze względu na szeroki zakres usług 5G, a także ważny cel umożliwienia przyszłej weryfikacji, projekt 5G od samego początku powinien cechować się wysokim stopniem elastyczności. Aby złagodzić obciążenia związane z kompatybilnością wsteczną, należy zaprojektować system z minimalną ilością stałych i predefiniowanych elementów. Dla najwyższej

elastyczności jedynym statycznym / predefiniowanym elementem jest Initial Access Channel (IAC). Każda kolejna pozycja powinna być otwarta na konfigurację między urządzeniem a siecią zgodnie z rzeczywistymi potrzebami, tym samym opierając się na danym zestawie opcji. W ten sposób nowe funkcje i usługi mogą zostać wdrożone w późniejszych wersjach bez wpływu na urządzenia starszego typu. Ponadto drugie pytanie stanowi wyzwanie dla obecnych systemów mobilnych, w których stosuje się raczej konfiguracje stałe (lub nieadaptujące się sam / adaptacyjne). Taka nieelastyczna koncepcja nie może w skuteczny sposób wspierać wielousługowego 5G, ponieważ może stanowić jedynie kompromis w zaspokajaniu potrzeb wszystkich przewidywanych usług. Tak więc opracowywane komponenty technologiczne wymagają elastycznych możliwości adaptacyjnych. Następujące komponenty techniczne mają kluczowe znaczenie z perspektywy poziomu łącza:

- Projektowanie kształtu fali: przebiegi z wieloma nośnymi z funkcjami filtrowania są uważane za kluczowe elementy zapewniające elastyczny projekt PHY wielousługowego interfejsu powietrznego, ponieważ pozwalają na podzielenie pasma systemu na osobne podpasma, których parametry PHY mogą być indywidualnie konfigurowane zgodnie z wymaganiami usługi. Kształty kandydatów można podzielić na dwie kategorie, a mianowicie

- \* filtrowany wielokamerowy podnośny, zawierający FBMC z sygnalizacją QAM / OQAM, OFDM (P-OFDM) w kształcie pulsu [13] i elastycznie skonfigurowany OFDM (FC-OFDM) i

- \* filtrowany wielokierunkowo pod pasmem, zawierający UF-OFDM i F-OFDM

Filtry wielokomorowe pod kontrolą inżynierską wykorzystują filtry prototypowe ze stromym zsuwaniem mocy w dziedzinie częstotliwości do kształtowania impulsów sygnałów podnośnych. Natomiast systemy filtrów wielokierunkowych z podziałem pod względem pasma (UF-OFDM i f-OFDM) wykorzystują filtrowanie FIR na grupę podnośnych po klasycznej modulacji OFDM, która koncepcyjnie zapewnia bliskie podobieństwo (w rzeczywistości rzeczywiste implementacje mogą zastosować funkcję filtrowania przed transformacją do dziedziny czasu w celu zmniejszenia złożoności).

- Procedury PHY związane z konkretnymi usługami: Aby zapewnić uzasadnione obciążenie dla 5G obsługującego jednocześnie wiele usług, w szczególności usługę MBB i usługę MMC z masowym dostępem, niezbędna jest również elastyczność w procedurach losowego dostępu. Istnieje wiele propozycji przebudowy procedury dostępu dla MMC. Jednym z przykładów jest dostęp oparty na rywalizacji, wykorzystujący atestowane lub dwustopniowe formaty transmisji. Ten pierwszy jest zgodny z zasadą (zakodowanego) szczelinowego ALOHA (tj. Urządzenie bezpośrednio transmituje swoje dane w połączeniu z odpowiednią preambułą określającą używane zasoby), a zatem wymaga bardzo szczupłej kontroli, podczas gdy druga pozwala stacji bazowej w pewnym stopniu kontrolować transmisję (tj. urządzenie mające dane do przesłania inicjuje żądanie usługi w postaci preambuły UL) i wprowadza dłuższe opóźnienia, ale jest bardziej zasobooszczędne. Procedura jednorazowa ma następującą charakterystykę:

- \* Szybciej, jeśli się powiedzie, znacznie mniej sprzężeń DL

- \* Wysokie prawdopodobieństwo kolizji zmniejsza przepustowość

- \* Kodowany losowy dostęp w celu zwiększenia skalowalności

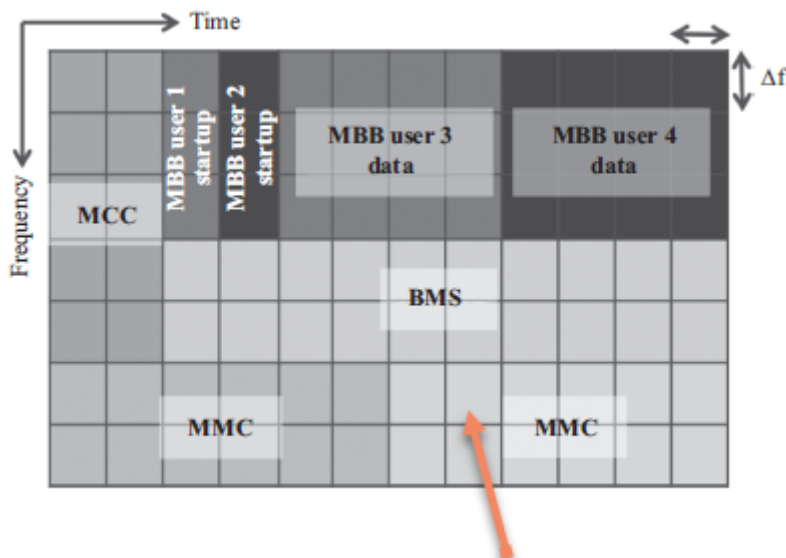
- \* Przewidywane rozwiązanie dla bardzo małych pakietów i małego obciążenia ruchem

- \* Wyjątkowe detektory przetwarzania sygnałów

Z drugiej strony mają dwa protokoły

- \* Dodatkowe opóźnienie
- \* W zależności od konfiguracji wymagana jest pewna ilość sprzężenia zwrotnego DL
- \* Zmniejszone prawdopodobieństwo kolizji dzięki nadprzykładowi obsłudze zleceń zwiększa przepustowość
- \* Przewidywane rozwiązanie dla większych pakietów i większego obciążenia ruchem
- Elastyczna konstrukcja ramy: Rama jest kluczowym elementem do agregowania specyficznej dla użytkownika tryby transmisji w jedno holistyczne rozwiązanie i jego dynamiczna rekonfiguracja jest kluczem do 5G. Konfiguracje te mogą się różnić pod względem np. Charakterystyk kształtu fali (zastosowany filtr, odstęp podnośnej), długości czasu transmisji (TTI) i innych elementów konstrukcji ramek, takich jak gęstość sygnału pilota i podział zasobów:
- \* MMC: umiarkowana przepustowość z dłuższymi TTI zoptymalizowanymi pod kątem niskich kosztów i lepszego zasięgu
- \* MCC: wyższa przepustowość i krótsze TTI zoptymalizowane pod kątem niskich opóźnień i rozsądnych kosztów ogólnych
- \* MBB: krótkie TTI, aby szybko rozpocząć sesję TCP, a następnie średni TTI dla zminimalizowanego narzutu
- \* BMS: długie TTI, aby zmaksymalizować zyski FEC z różnorodności czasowej

Zunifikowana koncepcja ramki została przedstawiona tu



#### 2.5.4 Wyzwania na poziomie systemu

Z perspektywy projektowania systemu i sieci, spełnienie wymagań różnych opisanych powyżej przypadków użycia stanowi wyzwanie dla następujących aspektów:

- Zarządzanie zasobami radiowymi (RRM): Efektywne planowanie rozważanych usług wymaga obsługi formatów planowania z różnymi TTI. Na przykład użytkownicy o ograniczonych opóźnieniach (np. MCC) wymagają krótkich TTI, natomiast użytkownicy MMC zaplanowani na wąską przepustowość są najskuteczniej obsługiwani z dłuższymi TTI.

- Zaawansowane opcje łączności: Aby spełnić rygorystyczne wymagania usług podstawowych 5G, należy wziąć pod uwagę zaawansowane opcje łączności, takie jak bezpośredni D2D [17], masowy dostęp i transmisję broadcast / multicast.

- Możliwości poprawy wydajności spektralnej: W przypadku usługi MBB wysokie oczekiwania na transmisję danych wymagają opracowania mechanizmów umożliwiających zwiększenie wydajności widmowej, takich jak zaawansowane odbiorniki, na przykład w przypadku nieortogonalnego dostępu wielokrotnego (NOMA) i zaawansowanych technik MIMO z lub bez współpracy między różne stacje bazowe [18]. Otwiera to cały szereg aspektów badawczych, aby rozwiązać problemy, kiedy próbuje wykorzystać potencjał dużej liczby strumieni i powiązanych pilotów i odbiorników. Inne aspekty, które wymagają rozwiązania, obejmują sprzężenie zwrotne stanu kanału i narzuty sygnalizacyjne dla właściwego wykorzystania MIMO.

Warto zauważyć, że istnieją inne wyzwania dla projektu systemu integrującego widmo poniżej 6 GHz z pasmami mmWave.

## **2.6 Ocena komponentów technicznych na poziomie systemu**

Aby osiągnąć ambitne cele, należy opracować wiele kluczowych komponentów technologii. Aby ocenić projekty, należy przeprowadzić symulacje na poziomie łącza i systemu Wybrane scenariusze i przypadki użycia dyktują modele środowiskowe i cele KPI. Komponenty technologii (procedury), które są opracowywane i wskazują obiecujące wzrosty wydajności, muszą zostać wdrożone za pośrednictwem określonych funkcji systemu. W pierwszej fazie podczas opracowywania komponentów technologicznych wykonywane są pierwsze oceny za pomocą symulacji na poziomie systemu. Wyniki te zostaną wykorzystane do dopracowania pojęć. Wreszcie, w drugiej fazie zostaną przeprowadzone kompleksowe symulacje na poziomie systemu wykorzystywane do analizy wykonalności projektów w osiąganiu celów i wskaźników KPI. Symulatory na poziomie systemu muszą mieć możliwość modelowania i symulacji pięciu podstawowych usług projektu. Pod tym względem architektura wysokiego poziomu uwzględnia:

- Modele środowiskowe
- Funkcje systemu
- Analiza

Odnosnie modeli środowiskowych wpływ ruchu, mobilności i warunków radiowych należy uwzględnić w symulatorach na poziomie systemu. W szczególności powinien być możliwe generowanie w symulatorach 1000 x więcej ruchu (np. w porównaniu do wersji bazowej 3GPP Release 12), użycie ogromnej liczby urządzeń, ultra-gęste infrastrukturę, komunikację D2D, wysoką mobilność itp. Pewne elementy muszą być rozwinięty, który kontroluje konfigurację topologii sieci, dystrybucję ruchu do komórek, dystrybucji komórek i użytkowników w kosmosie, dystrybucji ruchu w przestrzeni i czasie itd. Zgodność z testami porównawczymi i standardami 3GPP (Wydanie 12 oraz wybrane odpowiednie funkcje z wydania 13) ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia prawidłowych porównań i ocen osiągnięć. Jeśli chodzi o cechy systemu, uwzględnia się wykorzystanie widma, np. W pasmach częstotliwości poniżej 6 GHz, wraz z zagęszczeniem sieci, wpływem modulacji, kodowaniem, MIMO itp. Ponadto odpowiednie abstrakcje warstw PHY i MAC w celu zdefiniowania systemu modele zachowania i aspekty złożoności ograniczonej złożoności muszą być wzięte pod uwagę. Na przykład aspekty warstwy PHY można modelować za pomocą narzędzi symulacyjnych, wykorzystując wstępnie obliczone krzywe odwzorowania e. Skuteczność widmowa w porównaniu ze wskaźnikami jakości sygnału, współczynnik błędów blokowych w funkcji stosunku sygnału do szumu i interferencji, fizyczna

szybkość transmisji danych w funkcji stosunku sygnału do szumu i interferencji, i tak dalej. Te tabele wyszukiwania są wypełniane wartościami uzyskanymi z wyników symulacji na poziomie łącza. Ponadto narzędzia symulacyjne zapewniają środki do analizy i dostarczania wyników związanych z docelowymi wskaźnikami KPI, w tym przepustowością, opóźnieniami, stratami pakietów, bitową stopą błędów, niskim zużyciem energii itp. Na koniec należy wspomnieć, że dobrze ugruntowane standardy i referencje są należy wziąć pod uwagę przy definiowaniu niezbędnych wymagań, modeli i technologii, które należy wykorzystać do pomyślnej realizacji i oceny bardzo elastycznego, wszechstronnego i skalowalnego interfejsu powietrznego dla przewidywanej wielości klas usług i typów urządzeń o rozszadnej złożoności i najwyższej wydajności dla pasm częstotliwości poniżej 6 GHz.

## **2.7 Wnioski**

W niniejszej części rozdziału przedstawiono bieżący krajobraz usług i przypadków użycia dla sieci 5G. Dokonuje również wyboru między tymi przypadkami użycia, aby można było wykonać elastyczną konstrukcję interfejsu dla widma poniżej 6 GHz. Wyzwania dotyczące tego projektu na łączach i poziomach systemu są następnie krótko omawiane wraz z ich tematami badawczymi i metodologią oceny dla odpowiednich elementów technicznych. W końcu zauważamy, że projekt nowego interfejsu lotniczego składa się w dużej mierze z tematów wymagających standaryzacji, np. Kształtu fali i ramki, procedur warstwy PHY, przetwarzania transceivera (zarządzanie zakłóceniami, odbiór wielu użytkowników itp.), Kodowania kanałów, kodowania adaptacyjnego i modulacji itp. Są to wszystkie tematy, które implikują interfejsy, komunikaty, sygnalizację, protokoły (wszystkie są standaryzowane w 3GPP) zamiast zastrzeżonych rozwiązań algorytmicznych, a ważnym wyzwaniem dla badaczy jest umożliwienie interakcji z organami normalizacyjnymi, w szczególności 3GPP, w odpowiednim czasie.