

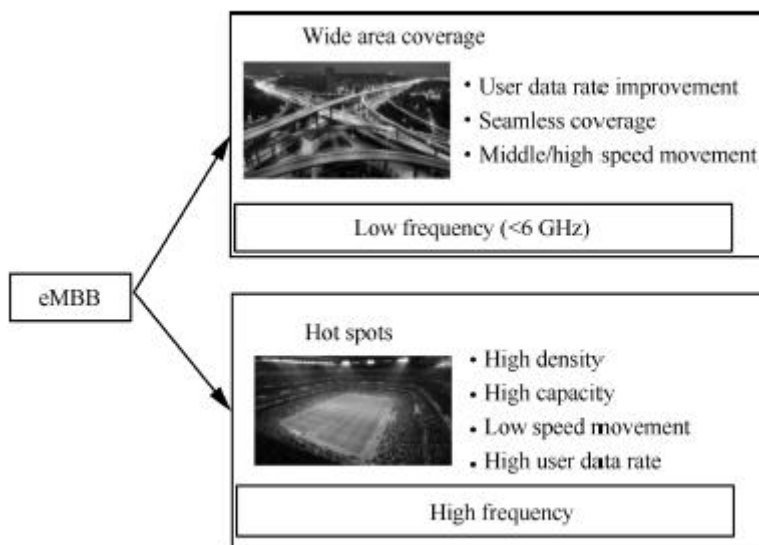
## Zastosowanie technologii NMA w 5G

Technologia NMA może spełnić różne wymagania wielu przyszłych scenariuszy 5G (w tym eMBB, URLLC i mMTC). Główne wymagania scenariusza eMBB to: większa pojemność systemu, wyższa szybkość transmisji danych oraz wyższa wydajność widma. W tym scenariuszu docelowa szczytowa przepustowość usługi danych w łączy w dół wynosi 20 Gbit/s, podczas gdy docelowa szczytowa przepustowość w łączy w górę wynosi 10 Gbit/s; wydajność widma łączy w dół wynosi 30 bitów/s-Hz-1, podczas gdy wydajność widma łączy w górę wynosi 15 bitów/s-Hz-1. W LTE, aby osiągnąć wyższą wydajność widma, stosuje się mechanizm szeregowania i kontroli, który wykorzystuje dużą ilość sygnalizacji. W łączy w dół eMBB technologia NMA obsługuje transmisję wielu strumieni danych w każdym zasobie czasowo-częstotliwościowym, co może poprawić wydajność systemu i wydajność widma użytkowników na krawędzi komórki. W łączy wysyłania eMBB, podobnie jak ortogonalny dostęp wielokrotny w LTE, technologia NMA wymaga również mechanizmu planowania i kontroli. Główne wymagania URLLC to niskie opóźnienia i wysoka niezawodność. Niezawodność można ocenić na podstawie współczynnika powodzenia transmisji X bajtów danych w ciągu 1 ms, czyli czasu transmisji małego pakietu z warstwy protokołu bezprzewodowego L2/L3 nadajnika do warstwy protokołu bezprzewodowego L2/L3 odbiornika z określonym kanałem jakości. W tym scenariuszu celem niezawodności jest osiągnięcie wskaźnika powodzenia transmisji na poziomie 99,999% w ciągu 1 ms. W URLLC opóźnienie jest związane z prawdopodobieństwem błędu i odpowiadającym mu HARQ. Docelowe opóźnienie płaszczyzny użytkownika zarówno w łączy w górę, jak i w łączy w dół wynosi 0,5 ms. Eliminacja zakłóceń ma kluczowe znaczenie dla ultraniezawodnego systemu. Ortogonalne schematy wielokrotnego dostępu wykorzystują ortogonalny podkanał do transmisji danych bez zakłóceń; Schematy NMA mogą przesyłać więcej danych tym samym zasobem w ciągu jednej jednostki czasu, aby poprawić wydajność systemu, jednak w tej sytuacji występują zakłócenia, dlatego w odbiorniku potrzebne są zaawansowane technologie eliminacji zakłóceń, aby zapewnić wysoką niezawodność informacji. W scenariuszu mMTC komunikacja między maszynami zajmuje dużo miejsca danych, których łączna liczba połączeń osiągnie 100 miliardów. W przypadku transmisji łączy zwrotnego podstawowym wymaganiem mMTC jest obsługa dużej liczby okazjonalnych usług małych pakietów, a każda usługa małych pakietów ma cechy niskiego kosztu i wysokiej wydajności energetycznej, co sprzyja wdrożeniu na dużą skalę. W scenariuszu mMTC docelowa gęstość połączeń urządzeń dostępowych w środowisku miejskim sięga 106/km<sup>2</sup>, a żywotność baterii terminali sięga 15 lat.

### Wsparcie dla scenariusza eMBB

#### Przegląd scenariusza eMBB

Celem eMBB jest dalsza poprawa wydajności i doświadczenia użytkownika w oparciu o obecny MBB. Jego scenariusz można podzielić na niską częstotliwość i wysoką częstotliwość. Zasoby o niskiej częstotliwości poniżej 6 GHz są bardzo ważne dla zwiększenia zasięgu w scenariuszu o dużej przepustowości i dużej szybkości w eMBB; Wysoka częstotliwość i szerokie pasmo to skuteczne sposoby na zwiększenie wydajności systemu w miejscach o dużym natężeniu ruchu. Współpraca wysoko- i niskoczęstotliwościowa jest podstawową metodą spełnienia wymagań eMBB. Te dwa przypadki odpowiadają dwóm zastosowaniom w eMBB, które obejmują odpowiednio zasięg rozległy i lokalny hotspot, jak pokazano na rysunku.

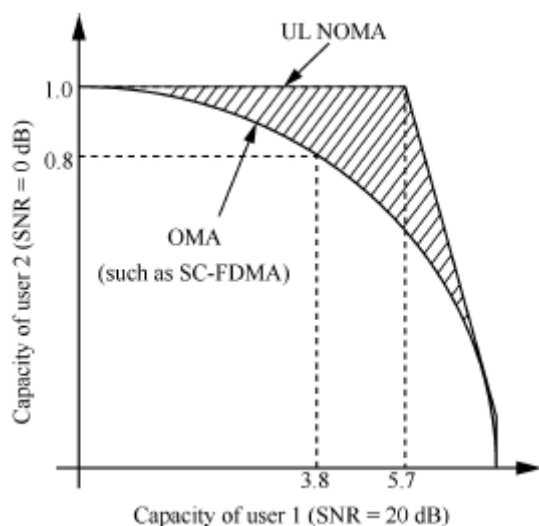


Lokalny hotspot musi obsługiwać nie tylko większą gęstość użytkowników, ale także wyższą przepustowość użytkowników w gorących obszarach. W porównaniu z zasięgiem rozległym, chociaż wymagania dotyczące mobilności użytkowników są niskie w lokalnym hotspotcie, szybkość transmisji użytkowników jest wysoka. Zasięg rozległy musi zapewniać bezproblemowe pokrycie sieci bezprzewodowych i zadowalać użytkowników, gdy prędkość poruszania się jest wysoka. Jednak wymagania dotyczące szybkości transmisji są niższe niż w przypadku lokalnego hotspotu. Wysoka przepustowość sieci: w porównaniu z wielodostępem ortogonalnym w LTE, NOMA wymaga mniejszej ortogonalności. Ponadto NOMA może przesyłać więcej danych z tym samym zasobem częstotliwości i czasu zarówno w łączu w górę, jak i w łączu w dół. Wysoka gęstość użytkowników: zakłócenia między użytkownikami mogą być skutecznie obsługiwane, co oznacza, że można osiągnąć większą gęstość użytkowników i większe obciążenie ruchem. Ujednolicone doświadczenie użytkownika: użytkownicy brzegowi komórki i użytkownicy centrum komórkowego mają ujednolicone wrażenia użytkownika i mogą być obsługiwane wysokie prędkości użytkownika. Transmisja typu usługi mieszanej: transmisja różnych typów usług jest skutecznie zrównoważona, co sprawia, że transmisja danych jest bardziej wydajna. Na przykład zrównoważona transmisja usługi wideo dużych pakietów z dużą ilością danych i usługa małych pakietów z wymaganiami dotyczącymi małych opóźnień. Przykłady zastosowań eMBB obejmują strumień wideo, telefon wideo i tak dalej. W przypadku udoskonalonych usług multimedialnych transmisja dużych pakietów odbywa się głównie w łączu w dół, podczas gdy niektóre przesyłanie małych pakietów jest wykorzystywane głównie do interakcji informacyjnej lub sterowania wideo w łączu w górę.

### Zastosowania NMA w scenariuszu eMBB

Celem nowych systemów dostępu bezprzewodowego jest obsługa scenariuszy obejmujących rozległy obszar, w pomieszczeniach i hotspotach. Hotspoty obejmują kort zewnętrzny, stadion kryty, centrum handlowe, audytorium, plac zewnętrzny i tak dalej. W takich obszarach jest duża liczba użytkowników o wysokich wymaganiach dotyczących stawek. Ze względu na ograniczenia zasobów czasowych/częstotliwościowych/przestrzennych, OMA ma trudności z obsługą tak wielu użytkowników z dużą szybkością. Na spotkaniu 3GPP RAN WG1 #84bis wszyscy uczestnicy zgodzili się, że schematy NMA mogą być stosowane w zróżnicowanych scenariuszach zastosowań i przypadkach w NR. Jednym z najważniejszych wymagań eMBB jest uzyskanie większego przyrostu przepustowości

zarówno łączy w górę, jak i łączy w dół oraz wyższej wydajności widma. Aby spełnić wymagania, w tym masowe połączenie, dużą pojemność, małe opóźnienia w aplikacjach 5G, pilnie potrzebna jest technologia NMA, a technologia NOMA staje się ważną technologią kandydującą. W eMBB potrzebne są odpowiednie schematy NOMA. Wśród tych technologii, MUSA i BDM, są używane głównie w łączy eMBB. SCMA ma zalety dużej pojemności, masowych połączeń, niskiego narzutu i tak dalej. Rzadkość domeny kodu w SCMA może zmniejszyć zakłócenia między warstwami, prawdopodobieństwo kolizji przesyłanych symboli i zmniejszyć złożoność odbiornika. Poza tym, ponieważ SCMA stosuje książki kodowe o zmniejszonym rzędzie ze zredukowanymi konstelacjami, liczba punktów projekcji w książce kodowej jest zmniejszona, co sprawia, że transmisja modulacji wielowymiarowej jest bardziej wydajna, a złożoność jest mniejsza. W scenariuszach z jedną lub wieloma komórkami SCMA może zapewnić multipleksowanie w pętli otwartej dla wielu użytkowników, ujednolicone wrażenia użytkownika i zwiększyć wydajność systemu. Ponadto SCMA ma dużą odporność na zakłócenia [8]; dlatego nadaje się do scenariusza eMBB. PDMA wykorzystuje domenę czasu, domenę częstotliwości, domenę przestrzeni i domenę mocy lub kombinację powyższych zasobów. W porównaniu z OMA, PDMA może uzyskać większą pojemność kanału i wyższą wydajność widma; dlatego jest bardziej odpowiedni dla eMBB. Literatura [6] opisuje wdrożenie systemu PDMA z intensywnymi użytkownikami uplinku w scenariuszu eMBB, takim jak Mistrzostwa Świata z gęstą populacją, która ma wysokie wymagania co do przepustowości. W porównaniu z OMA, PDMA może realizować multipleksowane transmisje większej liczby użytkowników na tym samym zasobie bezprzewodowym i połączeniach użytkowników o dużej gęstości, co przynosi korzyści większej liczbie osób. Dzięki nakładaniu sygnałów w domenie mocy, ten sam zasób czasowo-częstotliwościowy może być współużytkowany przez wielu użytkowników w NOMA, poprawia się wydajność i przepustowość systemu. Rysunek przedstawia porównanie regionów przepustowości OMA i NOMA w łączy w górę, gdy różnica SNR między parami użytkowników osiąga 20 dB, gdzie przyrost przepustowości ilustruje zacieniony obszar.



Z rysunku widać, że w porównaniu z OMA, NOMA poprawia obszar pojemności systemu, dzięki czemu może spełnić wymagania dotyczące dużej pojemności w eMBB. Poza tym NOMA nie opiera się na CSI selektywnego zanikania częstotliwości. W ten sposób prędkość UE i opóźnienie sprzężenia zwrotnego CSI nie wpłynie na wydajność systemu w rzeczywistych aplikacjach pokrycia rozległego obszaru, co oznacza, że system NOMA ma dużą odporność. Powyższe cechy NOMA odpowiadają potrzebom scenariusza eMBB. MUSA przydziela różne sekwencje kodu różnym użytkownikom, co w istocie jest równoznaczne z rozkładaniem, na przykład rozkładaniem każdego bitu na 3 bity. Sekwencja kodu MUSA jest w rzeczywistości wielowymiarowym kodem krótkiej sekwencji o niskiej korelacji, złożonym

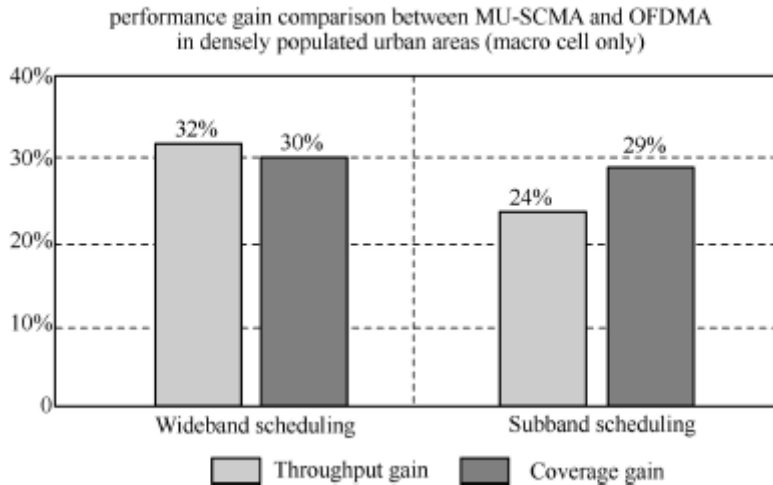
polu i konstelacji. Gdy warunki kanału użytkownika są różne, sekwencję kodu można określić we względnie swobodnym środowisku, co gwarantuje wysoką wydajność systemu i uczciwość wśród użytkowników. MUSA może obsługiwać wysoce niezawodny numer dostępu, który jest kilkakrotnie większy od numeru dostępu OMA w zasobie o tej samej częstotliwości i czasie, co może uprościć planowanie zasobów i skrócić czas dostępu w przypadku dostępu masowego. MUSA charakteryzuje się niskimi trudnościami we wdrożeniu i kontrolowaną złożonością systemu, może obsługiwać dużą liczbę użytkowników dostępu, zasadniczo nie wymaga synchronizacji i może wydłużyć żywotność baterii terminala, z których wszystkie są odpowiednie do zastosowania IoT. W NOMA oparte na konkurencji schematy bez grantów mogą poprawić wydajność połączenia, zmniejszyć obciążenie sygnalizacji i zmniejszyć opóźnienia dostępu, co ma zastosowanie nie tylko dla mMTC, URLLC, ale także dla eMBB. Schematy transmisji bez grantów sprzyjają transmisji małych pakietów danych łączy w górę, podczas gdy transmisje dużych pakietów danych bez grantów będą powodować dużą złożoność systemu. Połączenie nieortogonalnego wielodostępu i OMA może rozwiązać ten problem. Literatura proponuje oparty na grantach schemat transmisji łączy zwrotnego w eMBB poprzez połączenie OMA i NOMA. Poniżej przedstawiono schemat transmisji w łączy w górę poprzez połączenie OMA i NOMA.

- 1) UE jest uprawniona do przesyłania danych w schematach NOMA bez dotacji;
- 2) UE przesyła małe pakiety danych, takie jak TCP, ACK itd., używając bloków zasobów NOMA;
- 3) Gdy UE ma duże pakiety danych do przesłania, UE wysyła status bufora do BS;
- 4) BS przypisuje zasób OMA do wyznaczonego UE, takiego jak grupa PRB i tak dalej;
- 5) UE przesyła duże pakiety danych zasobem OMA.

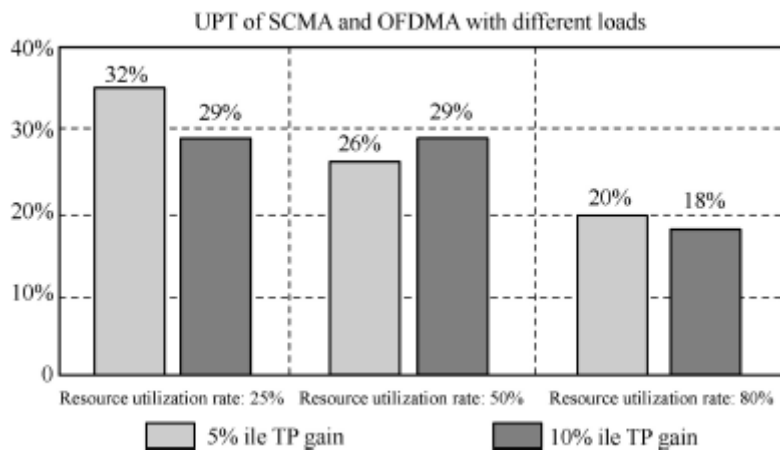
### **Ocena wydajności NMA w scenariuszu eMBB**

Symulacja SCMA na poziomie systemu łączy w dół w scenariuszu eMBB jest przeprowadzana w odniesieniu. W symulacji występują dwa modele biznesowe: bufor pełny i bufor niepełny. W modelu z pełnym buforem używana jest otwarta pętla MIMO i generowane jest wzmocnienie przepustowości SCMA w porównaniu z OFDMA; podczas gdy w modelu z niepełnym buforem podkreśla się wpływ interferencji wybielającej, gdzie interferencja wybielająca jest wytwarzana w transmisji małych pakietów danych SCMA łączy w dół.

W transmisjach z pełnym buforem MU-SCMA wykorzystuje algorytmy oparte na parowaniu domen kodu lub parowaniu domen mocy, co jest tym samym, co schemat MUST. Celem jest maksymalizacja ogólnej stawki ważonej. Dla każdego RBG można sparować dwa UE z maksymalną ważoną szybkością całkowitą. UE blisko BS eliminuje zakłócenia z UE daleko od BS poprzez zastosowanie idealnego odbioru z anulowaniem zakłóceń na poziomie słowa kodowego i uzyskuje potrzebne informacje przez dalsze dekodowanie; UE daleko od BS przetwarza sygnał użytkownika blisko stacji bazowej jako zakłócenia. W transmisjach z niepełnym buforem nie można wykorzystać przestarzałych informacji pomiarowych, ponieważ niektóre TP nie zawsze nadają na tych samych zasobach częstotliwości, dlatego potrzebne są wyniki pomiarów sprzężenia zwrotnego w czasie rzeczywistym, aby poprawić dokładność sprzężenia zwrotnego. Odniesienie zawiera analizę symulacyjną systemów pełnego bufora i niepełnego bufora w gęstym obszarze miejskim. W sytuacjach, gdy bufor nie jest pełny, przepustowość systemu wynosi 10 MHz, a pakiet danych 6 Kbit. Niektóre inne specyficzne parametry symulacji są określone w odnośnikach. Rysunek przedstawia porównanie przyrostu wydajności między MU-SCMA i OFDMA w sytuacjach pełnego bufora .



Z rysunku widać, że SCMA ma bardziej oczywiste wzmocnienie niż OFDMA w sytuacjach pełnego bufora. Z rysunku widać, że SCMA ma bardziej oczywisty wzrost przepustowości postrzeganej przez użytkownika (UPT) niż OFDMA w sytuacjach, gdy bufor nie jest pełny.



Z porównania wydajności między NOMA i SC-FDMA można zauważyć, że NOMA ma lepszą przepustowość komórki uplink niż SC-FDMA. Na tej podstawie FFR może lepiej koordynować zakłócenia między komórkami i osiągać lepszą wydajność. Literatura [13] podaje wyniki oceny wydajności widma, gdy NOMA jest używana w scenariuszu eMBB. Z pomocą NOMA wydajność widma łączy w górę poprawia się o ponad 30% w porównaniu z OMA, podczas gdy wydajność widma łączy w dół poprawia się o ponad 100%. Ogromny wzrost wydajności widmowej NOMA wskazuje, że można ją zastosować w scenariuszu eMBB.

### Obsługa scenariusza URLLC

#### Przegląd scenariuszy URLLC

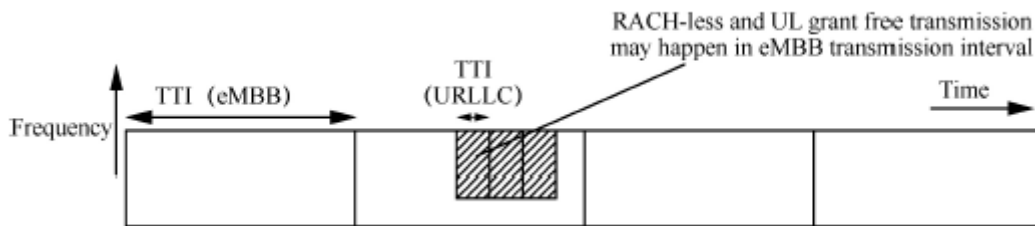
Jako jeden z ważnych scenariuszy aplikacji w 5G, URLLC ma wysokie wymagania dotyczące przepustowości systemu, opóźnień i niezawodności. W URLLC opóźnienie transmisji radiowej, opóźnienie przesyłania sieciowego i prawdopodobieństwo retransmisji powinno być maksymalnie zmniejszone, aby spełnić wymagania ultraniezawodnych i małych opóźnień. Z punktu widzenia redukcji opóźnień, stosowana przez system struktura krótkich ramek może pomóc w spełnieniu wymogu

opóźnienia transmisji poniżej 1 ms przy jednej retransmisji; Tymczasem, aby osiągnąć niezawodność systemu na poziomie 99,999%, w terminalu można zainstalować wiele anten, aby zwiększyć różnorodność. Przypadki zastosowań URLLC obejmują bezprzewodowe sterowanie produkcją przemysłową, zdalną chirurgię medyczną, bezpieczeństwo transportu i tak dalej. W URLLC różne przypadki aplikacji mają różne wymagania. Odnośniki wyszczególniają specyficzne wymagania niektórych typowych przypadków zastosowań, jak podano w Tabeli 1. Dzięki wprowadzeniu technologii, w tym NMA bez dotacji w URLLC, można zmniejszyć narzut sygnalizacyjny i przekazywanie danych. Jeśli zastosuje się bardziej zaawansowane kodowanie modulacji i technologię MIMO, można jeszcze bardziej poprawić niezawodność transmisji.

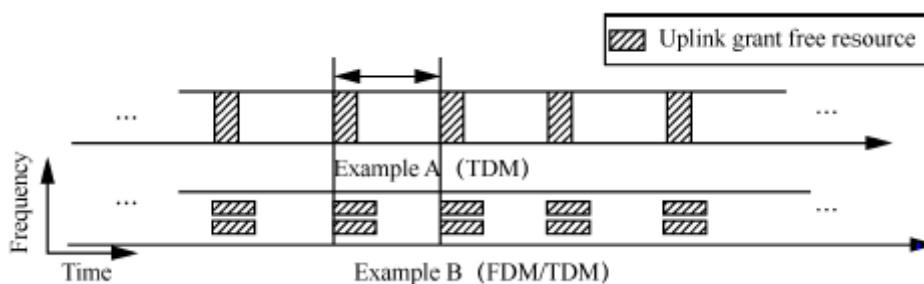
Typical use case	Deployment scenario	Service characteristic	Latency requirement	Reliability requirement
eV2X	Dense urban / Uma / Rma	CAM/DENM/security intelligence	<10 ms	<10e-5
Augmented Reality	Indoor / Dense urban / Uma / Rma	8 K stereo video stream	<10–20 ms	/
Extreme Industrial Control	Indoor hotspot	High-fidelity control and interaction, periodic and event-triggered, small/medium packet	<1–10 ms	<10e-9
eHealth	Deep Indoor	High-fidelity control and interaction, periodic and event-triggered, small/medium packet	<1–10 ms	<10e-5
Smart Grid	Uma/Rma	Monitor and dynamic power control	<1 ms	<10e-5

### Zastosowania NMA w scenariuszu URLLC

Dwa główne wskaźniki wydajności URLLC to opóźnienie i niezawodność. 5G NR obsługuje ultraniezawodny scenariusz z niskimi opóźnieniami, który musi uwzględniać strukturę ramek, HARQ, dostęp do łącza w górę, kodowanie kanałów i stopień różnorodności. URLLC zmniejsza głównie opóźnienia poprzez skrócenie TTI i poprawia niezawodność poprzez zmniejszenie zakłóceń między użytkownikami. W URLLC wymaganie dotyczące opóźnienia płaszczyzny użytkownika powinno wynosić 0,5 ms zarówno dla łącza w górę, jak i łącza w dół. Aby temu sprostać, wprowadzono konstrukcję ramową krótkiego TTI. Istnieją dwa schematy multipleksowania pojedynczej ramki usługi pionowej: jeden stosuje różne długości TTI dla różnych usług pionowych; druga definiuje krótki TTI, a wszystkie usługi używają zestawu tego TTI. Ponieważ kanał kontrolny jest bardziej niezawodny niż kanał danych, nowe kanały kontrolne muszą zostać zaprojektowane w URLLC. Na spotkaniu 3GPP RAN1 #86 przedstawiono projekt struktury ramowej i multipleksowanie usług pionowych. Aby współistnieć z innymi usługami wertykalnymi i zredukować koszty ogólne, URLLC musi dalej wykorzystywać mechanizm HARQ. Technologia NMA może realizować transmisję sygnału dla wielu użytkowników na tym samym zasobie i uzyskiwać wyższą wydajność widma systemu. Odporność systemu można poprawić, gdy dochodzi do kolizji dostępu, wprowadzając schematy transmisji NOMA bez dotacji, których wydajność zależy od różnorodności projektu schematu NOMA, takiego jak wybór MCS, działanie HARQ i tak dalej. Gdy pilny pakiet danych jest wysyłany przez użytkownika, rozpoczyna się schemat transmisji uplink URLLC, jak pokazano na rysunku.



W odróżnieniu od mMTC, URLLC nie może ustawić ruchu, a zarezerwowany zasób UL jest ograniczony. Gdy nie ma zarezerwowanego bezpłatnego zasobu transmisji UL dla kanału o swobodnym dostępie, użytkownik łączy w górę będzie kolidował z innymi użytkownikami, wtedy potrzebny jest wielokrotny dostęp do obsługi konfliktu zasobów UL. Jak pokazano na rysunku, transmisja łączy w górę bez grantu wymaga skonfigurowanego ruchu między użytkownikiem a stacją bazową BS.



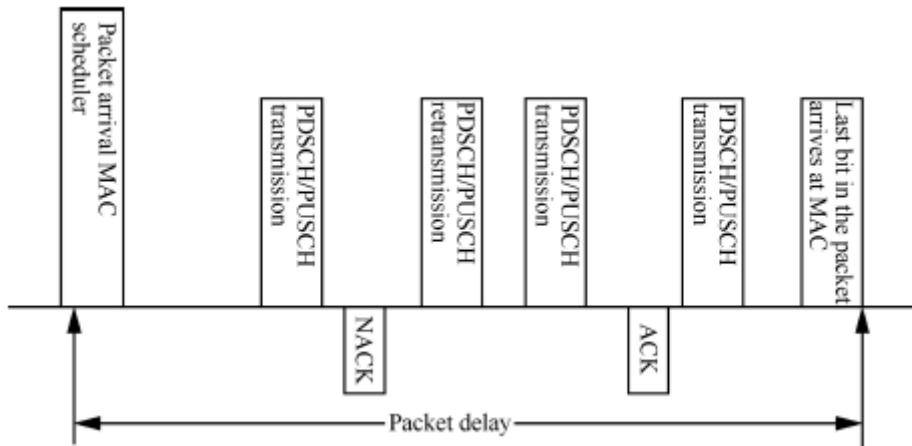
Referencje nadal wprowadza transmisję danych o niskim opóźnieniu w kanałach kontrolnych i konstrukcją opartą na widmie rozproszonym z wieloma nośnymi. Ogólny projekt systemu URLLC ma osiągnąć niezawodność na poziomie 99,999% przy opóźnieniu 1 ms. Opóźnienie każdego pakietu powinno obejmować kanał kontrolny, transmisję danych, przetwarzanie, retransmisję i opóźnienie kolejkowania. W związku z tym opóźnienie można zdefiniować jako czas trwania od momentu dotarcia pakietu do programu planującego MAC do czasu, gdy wszystkie bity pakietu zostaną pomyślnie zdekodowane w MAC. W przypadku transmisji łączy w dół opóźnienie powinno obejmować następujące składowe:

$$L = L_q + L_{Tx} + L_{RxProc} + (N - 1) \times T_{HARQ\_RTT}$$

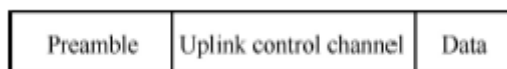
gdzie  $L_q$  jest opóźnieniem kolejkowania przed zaplanowaniem pakietu;  $L_{Tx}$  to czas 0;  $L_{RxProc}$  to czas przetwarzania przez odbiornik w celu zdekodowania pakietu;  $N$  to całkowita liczba danych transmisji;  $T_{HARQ\_RTT}$  to czas podróży w obie strony HARQ. W przypadku transmisji łączy zwrotnego to opóźnienie powinno obejmować następujące składniki:

$$L = L_{sr} + L_{sr\_proc} + L_q + L_{grant} + L_{grant\_proc} + L_{Tx} + L_{RxProc} + (N - 1) \times T_{HARQ\_RTT}$$

gdzie  $L_{sr}$  jest kolejkowaniem żądań szeregowania i czasem transmisji;  $L_{sr\_proc}$  to czas przetwarzania żądania planowania przez stację bazową;  $L_{grant}$  to czas transmisji grantu łączy zwrotnego;  $L_{grant\_proc}$  to czas przetwarzania grantu łączy w górę. Rysunek przedstawia proces analizy opóźnienia pakietu.



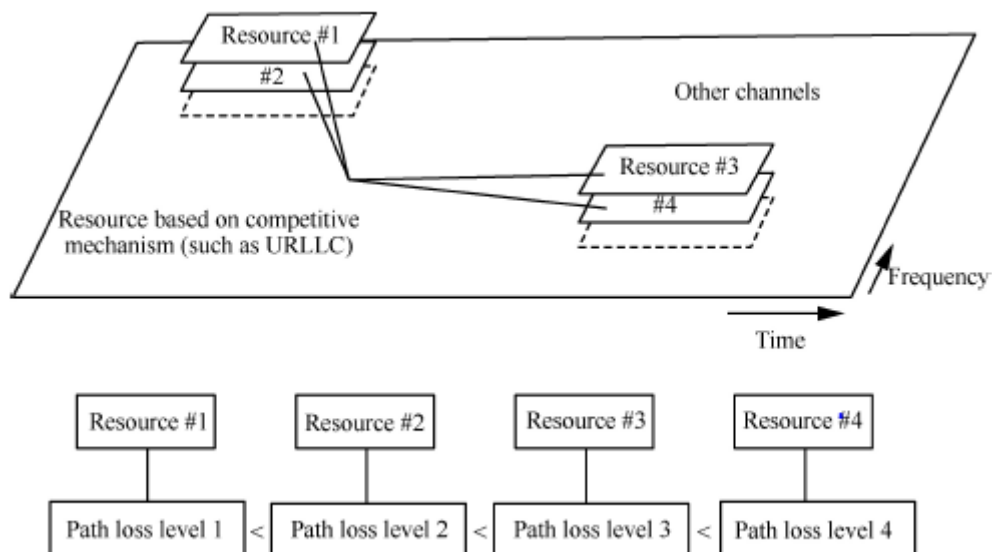
Aby urzeczywistnić transmisję łącza zwrotnego bez dotacji, kluczowy jest odpowiedni format i procedury transmisji łącza zwrotnego. Dla formatu transmisji zestaw preamble, kanał kontrolny łącza zwrotnego i transmisje danych przedstawiono na rysunku .



- Preambuła: używana dla BS do wykrywania transmisji sygnału uplink.
- Kanał kontrolny łącza w górę: używany do przenoszenia identyfikatora w celu identyfikacji UE, raportu o stanie bufora, informacji kontrolnych łącza w górę i tak dalej.
- Transmisja danych: do przenoszenia danych URLLC i małych pakietów.

Rozważ przypadek aplikacji NOMA w URLLC. W celu obsługi transmisji NOMA, zasoby łącza w górę dla dostępu losowego muszą być zachowane statycznie, a zasoby transmisji łącza w górę bez grantu muszą być zachowane półstatycznie. Transmisja asynchroniczna łącza w górę bez dotacji jest wykonywana w ramach tych zachowanych zasobów. Odnośnik szczegółowo opisuje proces kolizji pakietów w tej sytuacji. NOMA ma trudności z obsługą takich kolizji. Jednym z możliwych sposobów jest zdefiniowanie grupy zasobów z tym samym czasem i częstotliwością, a każda grupa zasobów odpowiada określonemu poziomowi pokrycia. Każde UE wybiera zasoby UL na podstawie oddzielnych wyników pomiarów, takich jak RSRP i utrata ścieżki, jak pokazano na rysunku.

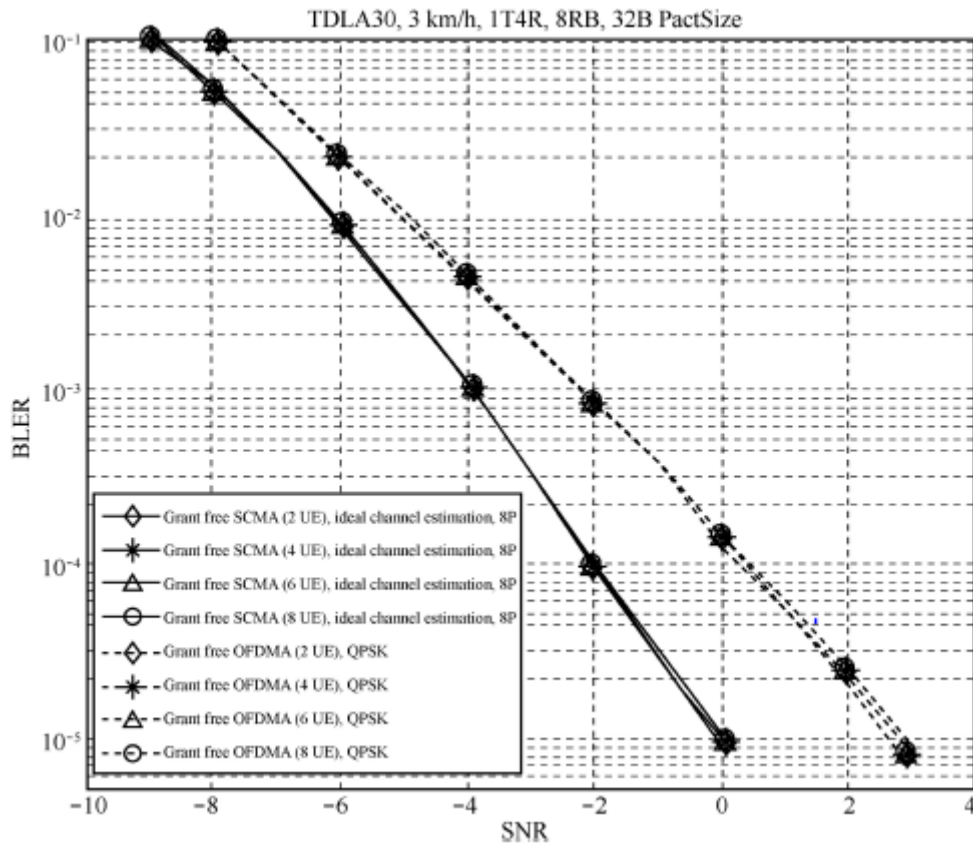




Gdy konieczne jest przesłanie pilnych danych łącza zwrotnego, UE natychmiast rozpoczyna transmisję łącza zwrotnego bez planowania żądania. W przypadku wielodostępu ortogonalnego bez dotacji kolizja ma miejsce, gdy użytkownicy wybierają zasoby o tej samej częstotliwości i czasie. Retransmisje spowodowane kolizjami zwiększą opóźnienia i doprowadzą do awarii transmisji w przypadku poważnych kolizji. Dlatego kolizja jest niezgodna z wymaganiami URLLC. W przypadku NOMA bez dotacji mogą wystąpić kolizje, gdy użytkownicy wybiorą ten sam zasób czasowo-częstotliwościowy lub koder/sekwencję/układ przeplotu, ale niezawodność systemu można nadal zagwarantować dzięki zaawansowanym odbiornikom.

### Ocena wydajności NMA w scenariuszu URLLC

Transmisja nieortogonalna bez grantu poprawia niezawodność i zmniejsza opóźnienia poprzez zmniejszenie prawdopodobieństwa kolizji. Odniesienie bierze SCMA jako przykład i podaje analizę symulacji na poziomie łącza do niezawodności transmisji w URLLC. Symulacja porównuje wydajność BLER dla OFDMA i SCMA bez dotacji. Rysunek przedstawia porównanie wydajności na poziomie łącza BLER i SNR między OFDMA i SCMA bez dotacji.



Z rysunku widać, że SCMA ma oczywisty wzrost wydajności niż OFDMA, ponieważ SCMA może uzyskać większy stopień różnorodności, a pewne korzyści przynosi kodowanie w projekcie książki kodowej SCMA. Tabela 2 przedstawia wzrost wydajności SNR dla SCMA bez dotacji w porównaniu z OFDMA, gdy wymóg niezawodności wynosi 99,999%.

2 UE	3.0 dB
4 UE	2.9 dB
6 UE	2.9 dB
8 UE	2.7 dB

W przypadku braku grantu SCMA może uzyskać większy wzrost wydajności SNR niż OFDMA, dlatego BLER jest niższy przy danym SNR, co dodatkowo wskazuje, że SCMA oparty na grantach jest bardziej odpowiedni dla scenariusza URLLC.

### Wsparcie dla scenariusza mMTC

#### Przegląd scenariusza mMTC

mMTC to typowy scenariusz aplikacji w 5G, który jest zorientowany na IoT i aplikacje branżowe, obsługuje masowe połączenia i może naprawdę realizować wzajemne połączenia wszystkich rzeczy. W porównaniu z tradycyjnym scenariuszem eMBB i scenariuszem URLLC, mMTC ma swoje własne cechy, które obejmują głównie następujące aspekty.

(1) Wysoka gęstość połączeń

mMTC jest przeznaczony do IoT i różnych zastosowań przemysłowych, a terminal to sprzęt MTC. IoT obejmuje wiele usług, takich jak inteligentny odczyt liczników, inteligentne noszenie, śledzenie logistyki, opieka zdrowotna, inteligentne miasto i tak dalej. W porównaniu z tradycyjną komunikacją między ludźmi, terminale w IoT to znacznie więcej. Ponadto, wraz z rozwojem IoT i pojawieniem się nowych usług, liczba urządzeń IoT gwałtownie wzrośnie.

## (2) Głębokie pokrycie

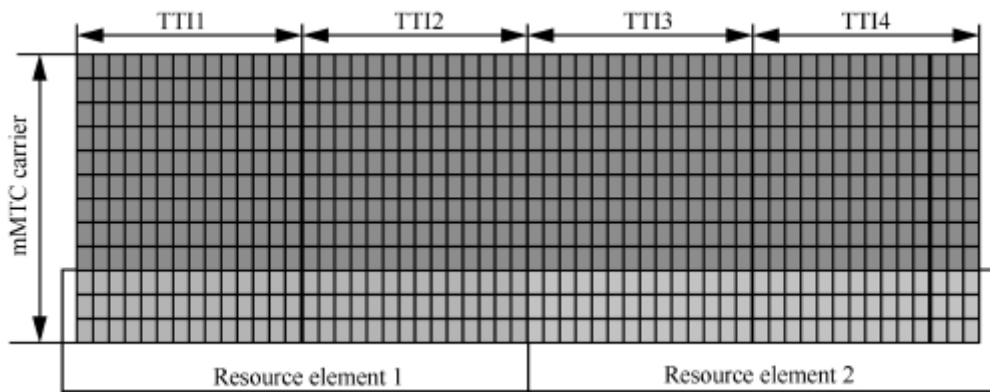
W przypadku systemu IoT ze stałymi pozycjami terminali, takimi jak inteligentny odczyt liczników itp., niektóre urządzenia MTC mogą być instalowane w piwnicy i innych miejscach o złych warunkach kanału, przez co kanał między terminalem a BS ma duże zanikanie. Aby pokryć takie terminale, mMTC musi wspierać rozszerzenie zasięgu w celu obsługi terminali o różnych pozycjach.

## (3) Niskie zużycie energii

Chociaż różne aplikacje IoT mają różne wymagania dotyczące zużycia energii terminala/żywności baterii, ogólnie oczekuje się zmniejszenia zużycia energii terminala w celu przedłużenia czasu czuwania sprzętu tak długo, jak to możliwe. Na przykład w przypadku niektórych usług monitorowania środowiska, ponieważ niektórych terminali nie można naładować, żywotność baterii określa żywotność sprzętu MTC. W przypadku inteligentnych usług ubieralnych wymagania dotyczące zużycia energii nie są tak surowe, ale nadal konieczne jest maksymalne zmniejszenie zużycia energii przez terminal, aby poprawić wrażenia użytkownika.

## (4) Niska szybkość transmisji danych

Różne usługi aplikacyjne w IoT mają różne cechy. Jednak ogólnie rzecz biorąc, cechy usług mMTC to niska szybkość transmisji danych, silny impuls i duży interwał transmisji. Takich jak inteligentny odczyt liczników, śledzenie logistyki, opieka zdrowotna i tak dalej. Specyficzny kluczowy wskaźnik wydajności (KPI) zaproponowany przez 5G dla scenariusza mMTC jest następujący: gęstość połączeń wynosi 1 000 000/km<sup>2</sup>, maksymalna strata sprzężenia obsługiwana przez zasięg wynosi 164 dB, żywotność baterii urządzeń typu maszynowego wynosi do 15 lat, oraz złożoność implementacji sprzętu jest niska. W mMTC konkurencyjnym użytkownikom opartym na dostępie można skonfigurować jedną lub wiele pul zasobów. Różni użytkownicy odpowiadają różnym pulom zasobów. Jedna pula zasobów zawiera pewną liczbę symboli OFDM w dziedzinie czasu i podnośnych częstotliwości. W mMTC jedna pula zasobów obejmuje kilka podnośnych częstotliwości i dużą ilość TTI w dziedzinie czasu. Zasadniczo pula zasobów zawiera jeden lub wiele elementów zasobów. mMTC nie musi definiować typu elementu zasobu w oparciu o konkurencyjną transmisję, ale ponownie wykorzystuje typ zasobu w oparciu o planowanie transmisji. Różne przypadki scenariuszy odpowiadają różnym rozmiarom zasobów. Rysunek przedstawia strukturę puli zasobów w scenariuszu mMTC, gdzie pula zasobów zawiera dwa elementy zasobów.



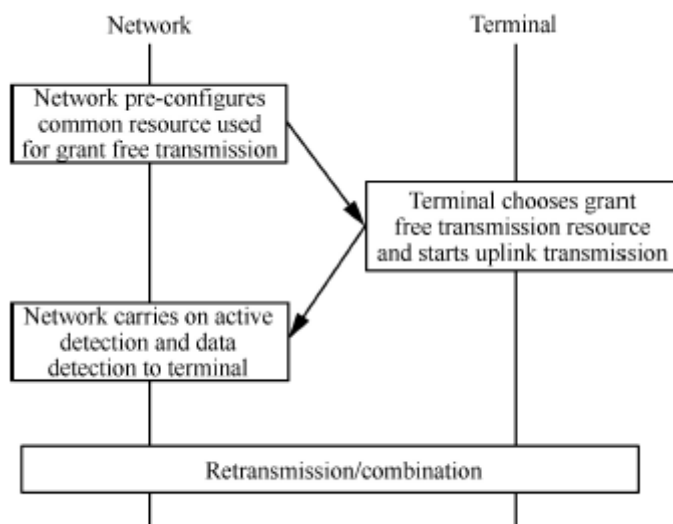
Aby osiągnąć wskaźnik wydajności mMTC, technologia NMA daje pierwszeństwo programom bez grantów, charakteryzującym się niskimi kosztami i niskim zużyciem energii. Schemat bez dotacji ma zalety niskiego narzutu sygnalizacji, małych opóźnień i tak dalej. W obliczu pilnych wymagań i szerokich perspektyw rynkowych IoT, istnieją pewne technologie IoT. W zależności od autoryzowanego lub nieautoryzowanego zastosowania widma, technologie te można podzielić na dwie kategorie. Pierwszą z nich są technologie stosowane w przypadku nieautoryzowanego widma, takie jak Long Range (LoRa), SigFox (jedna technologia UNB o bardzo wąskim paśmie) i tak dalej; Drugi to technologie stosowane w autoryzowanym spektrum, w tym znormalizowany rozszerzony zasięg GSM (EC-GSM) 3GPP, komunikacja typu maszynowego (MTC) w wersji Rel-12, ulepszona komunikacja typu maszynowego (eMTC) w wersji Rel-13 oraz Internet wąskopasmowy sieci Rzeczy (NB-IoT) w Rel-13. Obecnie standaryzowane technologie IoT to dodatkowo udoskonalony MTC (FeMTC) i udoskonalony NodeB-IoT (eNodeB-IoT). EC-GSM to dalsza ewolucja oparta na GSM, która może wspierać zwiększenie zasięgu. W Rel-12 MTC wprowadzono nowy typ UE, którym jest UE Kategorii 0. W porównaniu z tradycyjnym UE LTE, UE Kategorii 0 może zmniejszyć złożoność/koszt UE poprzez zmniejszenie obsługiwanej szybkości łącza w górę i łącza w dół oraz uproszczenie odbierania przez UE numeru częstotliwości radiowej. W Rel-13 eMTC wprowadzono nowy typ UE, Kategoria M1 UE. W porównaniu z UE Kategorii 0, Kategorii M1 UE dodatkowo zmniejsza złożoność/koszt UE poprzez zmniejszenie przepustowości obsługiwanej przez UE. Ponadto obsługiwane jest zwiększanie zasięgu. Rel-12 MTC i Rel-13 eMTC mają świetne dziedziczenie po LTE i obsługują pracę tylko w paśmie LTE. Nowym typem UE wprowadzonym w Rel-13 NodeB-IoT jest Kategoria NodeB1, której przepustowość i szybkość obsługiwanej częstotliwości radiowej łącza w górę i w dół są jeszcze bardziej zmniejszone. Oprócz pracy w paśmie LTE, kategoria NodeB1 obsługuje również pracę w paśmie ochronnym LTE lub samodzielną pracę. Choć 3GPP przeprowadziło odpowiednie badania techniczne i standaryzację w celu zastosowania IoT, wciąż istnieje miejsce na optymalizację wymagań i KPI 5G mMTC. Transmisja danych w łączu w górę i w łączu w dół obecnych mMTC i NodeB-IoT jest nadal oparta na szeregowaniu BS, co oznacza, że zasoby czasowo-częstotliwościowe wykorzystywane do transmisji w łączu w górę i w łączu w dół są przydzielane do UE półstatycznie lub dynamicznie. Alokacja półstatyczna oznacza Semi-Persistent Scheduling (SPS), w którym BS wstępnie konfiguruje UE okresowe zasoby czasowo-częstotliwościowe, a następnie aktywuje transmisję na wstępnie skonfigurowanych zasobach przez fizyczny kanał kontrolny; w dynamicznej alokacji BS przydziela zasoby czasowo-częstotliwościowe dynamicznie przez fizyczny kanał sterujący.

Schematy transmisji oparte na szeregowaniu BS są korzystne dla zarządzania zasobami radiowymi sieci, co jest odpowiednie dla tradycyjnych usług MBB. Jednak usługi mMTC charakteryzują się dużą liczbą

połączeń, małym rozmiarem pakietu i silnym pakietem. W przypadku stosowania schematów transmisji opartych na szeregowaniu wystąpią następujące problemy.

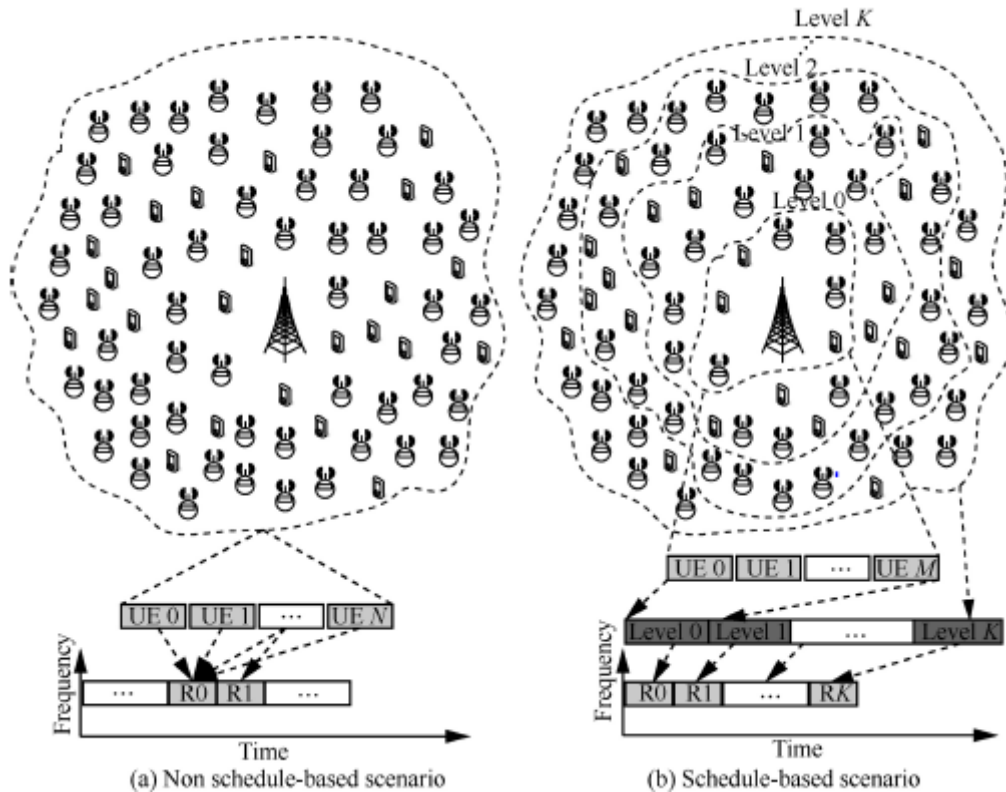
- 1) SPS ma zastosowanie do usług okresowych i nie ma zastosowania do usług aperiodycznych MTC typu burst;
- 2) Masowe połączenia MTC spowodują ograniczenie kanału kontrolnego, a tym samym ograniczenie zaplanowanej liczby użytkowników;
- 3) W przypadku transmisji małych pakietów MTC narzut kanału kontrolnego jest zbyt duży;
- 4) W schematach transmisji opartych na harmonogramowaniu, terminale MTC muszą najpierw ubiegać się o zasoby z sieci. Ponieważ większość usług MTC charakteryzuje się dużą nagłością i dużym interwałem transmisji, spowoduje to dalsze obciążenie zasobów.

Biorąc pod uwagę cechy MTC, takie jak małe pakiety i silne impulsy, schemat transmisji bez grantów w łączu w górę jest ważnym kierunkiem badań 5G. Na spotkaniu 3GPP RAN1 #86 osiągnięte są następujące porozumienia. NR powinien wspierać schemat/mechanizm bezpłatnego łącza w górę przynajmniej w scenariuszu mMTC, szczegóły wymagają dalszych badań. Rysunek przedstawia schemat transmisji bez dotacji odpowiedni dla scenariusza mMTC.



Po pierwsze, sieć konfiguruje wspólne zasoby dla transmisji bez dotacji, które są współdzielone przez UE w komórce. Gdy nadchodzi dane łącza zwrotnego, UE wybiera zasób ze wspólnych zasobów dla transmisji bez grantu skonfigurowanych przez sieć i rozpoczyna transmisję łącza zwrotnego. Istnieją dwie metody wybierania zasobów dla UE: jedna polega na tym, że UE wybiera losowo zasoby transmisji wolne od grantu; drugim jest użycie wstępnie skonfigurowanych lub wstępnie zdefiniowanych zasobów przez sieć. Ponieważ sieć nie jest w stanie z góry przewidzieć, czy istnieje UE i które UE rozpoczyna transmisję łącza zwrotnego na wspólnych zasobach wykorzystywanych do transmisji bez przyznania grantu, potrzebne jest wykrywanie aktywacji i wykrywanie sygnału UE. Poza tym, ponieważ po stronie UE wybierany jest zasób transmisji bez grantu, sieć musi obsłużyć przypadek kolizji, w którym wiele UE wybiera ten sam zasób. Dzięki retransmisji lub HARQ niezawodność transmisji może być dalej udoskonalony. Z formularza TR 38.913 wiadomo, że w środowisku miejskim występują masowe urządzenia mMTC. Masywna transmisja spowoduje problem z wydajnością łącza. Podczas gdy ograniczone zasoby spowodują niską wydajność połączenia, co oznacza, że w scenariuszu mMTC potrzeba więcej zasobów czasowo-częstotliwościowych. Schemat szeregowania pakietów dzieli

użytkowników na kilka pakietów według tego samego standardu. Jeśli oryginalnym numerem użytkownika jest  $N$ , użytkownicy mogą być pogrupowani według określonych wskaźników, którymi mogą być jakość kanału, czas transmisji i SINR. Jak pokazano na rysunku, użytkownicy między dwiema przerywanymi liniami oznaczają, że mają takie same warunki transmisji.



Rysunek (a) przedstawia przypadek bez szeregowania pakietów, natomiast rysunek (b) przedstawia przypadek z szeregowaniem pakietów. Poza tym użytkownicy w tej samej grupie zajmują ten sam zasób czasowo-częstotliwościowy przez SPS i są przypisani do jednego lub kilku bloków zasobów, aby zmniejszyć przeciążenie i kolizje. BS nie musi wysyłać przydziału planowania łącza w górę do UE. Liczba użytkowników dostępu zmniejsza się od  $N$  do  $K$ . Wydajność dostępu jest najbardziej znacząca, jeśli  $K = \log N$ . Użytkownicy w każdej warstwie stosują schematy bez dotacji oparte na wielokrotnym dostępie. Możliwy proces dostępu wygląda następująco.

### 1) UE->WęzełB

UE wysyła informacje do eNodeB przez kanał kontrolny łącza zwrotnego, takie jak informacje o kanale, czas transmisji, moc i tak dalej.

### 2) eNodeB->UE

eNodeB dzieli UE na kilka grup według określonych kryteriów i wysyła informacje referencyjne do określonych ID UE i TTI. Następnie eNodeB przydziela zasoby czasowo-częstotliwościowe na tym samym poziomie.

### 3) UE->NodeB

Najpierw UE dekoduje sygnał odniesienia przez określony kanał kontrolny mMTC, następnie UE w tej samej grupie w różnych TTI transmituje dane w określonym gnieździe. Mogłoby to uniknąć planowania stacji bazowej i zmniejszyć obciążenie kanału kontrolnego. Transmisje danych uplink i downlink w

obecnej technologii MTC i NodeB-IoT oparte są na wielodostępie ortogonalnym, w którym różni użytkownicy przesyłają na ortogonalnych zasobach czasowo-częstotliwościowych. Ponieważ ortogonalna technologia wielodostępu nie może obsługiwać wielu UE współdzielących te same zasoby czasowo-częstotliwościowe, liczba obsługiwanych użytkowników w pewnych zasobach czasowo-częstotliwościowych jest ograniczona. Ponadto, jeśli rozważana jest kombinacja z transmisją bez dotacji dla łącza w górę i obsługiwany jest tylko wielokrotny dostęp ortogonalny, ponieważ czas transmisji łącza w górę w UE jest losowy, aby zagwarantować, że ten sam zasób częstotliwości czasowej nie zostanie wybrany przez wiele UE, sieć musi wstępnie skonfigurować dedykowane zasoby czasowo-częstotliwościowe dla UE. Usługi MTC charakteryzują się dużą częstotliwością i długim interwałem transmisji, sposób wstępnej konfiguracji dedykowanych zasobów spowoduje znaczne marnowanie zasobów sieci bezprzewodowej i nie spełni wymagań KPI dotyczących gęstości połączeń 5G. Aby przezwyciężyć powyższe ograniczenia ortogonalnego wielodostępu w mMTC, 5G będzie obsługiwać NOMA. Dzięki superpozycji transmisji informacji dla wielu użytkowników, zdolność połączenia systemu może zostać podwojona. Ponadto ogólne zużycie energii i zużycie energii przez terminale można skutecznie zmniejszyć dzięki transmisji bez grantów.

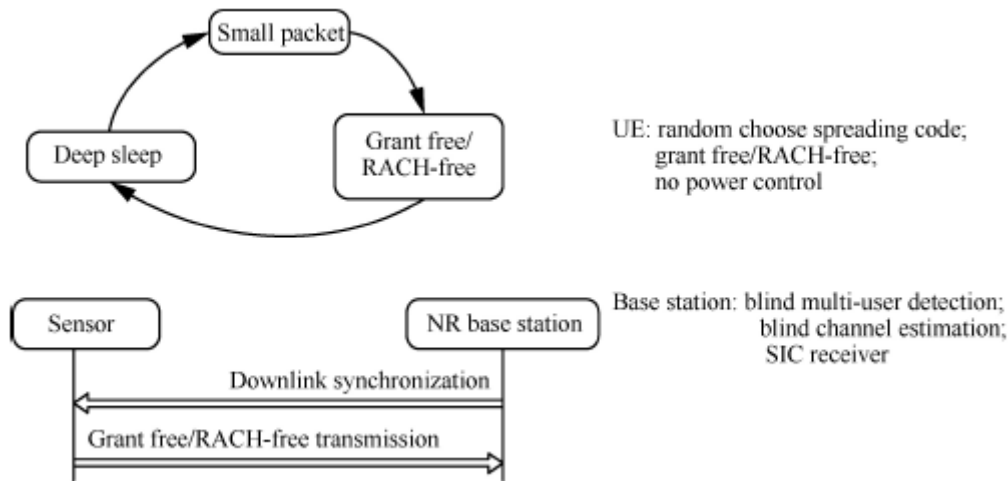
### **Zastosowania NMA w scenariuszu mMTC**

Najważniejszym KPI w scenariuszu mMTC jest obsługa masywnych połączeń. Na spotkaniach 3GPP RAN1 zaproponowano kilka schematów NMA do obsługi dużej liczby urządzeń, w tym MUSA, RSMA, SCMA, PDMA, IDMA, IGMA i tak dalej. Program/mechanizm bez dotacji to najlepszy wybór, aby spełnić wymagania mMTC, takie jak niski koszt, niskie zużycie energii i tak dalej. Technologie NOMA oparte na autonomii/programie/mechanizmie bez dotacji/konkurencji muszą spełniać następujące dwa punkty.

1) Transmisja UE nie wymaga dynamicznego i jawnego przydzielania harmonogramów sieci. Na przykład dostęp wolny od SPS, RACH i oparty na konkurencji.

2) Wielu użytkowników może dzielić te same zasoby czasowo-częstotliwościowe.

W dostępie opartym na SPS użytkownicy transmisji uplink przydzielają zasoby PRB. Charakterystyka SPS to redukcja sygnalizacji kontrolnej i obsługa alokacji zasobów dla małych pakietów, takich jak VoIP. Jednak w scenariuszu mMTC większość komunikacji jest nieciągła, co oznacza, że jest niewiele pakietów o długotrwałym działaniu. Większość danych komunikacyjnych to małe pakiety o niskiej szybkości. Aby obsługiwać masowe połączenia, każdy UE musi zwolnić połączenie. Gdy UE zakończy transmisję danych, system przechodzi w stan uśpienia. Rzeczywista transmisja bez grantu powinna być wolna od RACH, co oznacza, że transmisja pakietowa UE jest dozwolona w dowolnym momencie. W kandydujących schematach wielokrotnego dostępu NR nieortogonalność opiera się głównie na technologii rozprzestrzeniania domeny kodowej lub technologii różnorodności krzyżowej. Literatura [30] proponuje MUSA bez dotacji, jak pokazano na rysunku.



UE wybiera sekwencję kodowania losowo ze wstępnie skonfigurowanej puli zasobów. Gdy transmisja małych pakietów zakończy się pomyślnie, UE przechodzi w stan uśpienia i nie potrzebuje RACH ani sterowania mocą w zamkniętej pętli. W stacji bazowej nie jest potrzebne dynamiczne przydzielanie harmonogramów, stacja bazowa nie zna aktywnego numeru użytkownika, kodu rozprzestrzeniania każdego użytkownika ani informacji o kanale.

W scenariuszu 5G mMTC MUSA bez grantów jest bardzo pożądana. Jeśli chodzi o oszczędzanie energii, UE może wysłać pakiet danych w dowolnym momencie i natychmiast powrócić do stanu głębokiego uśpienia, gdy nie ma transmisji pakietu danych; tani projekt po stronie UE, BS musi tylko wziąć pod uwagę złożoność odbioru; brak planowania, zmniejszenie narzutu sygnalizacji i opóźnień transmisji. W mMTC schematy wielokrotnego dostępu łączą w górę są stosowane głównie w systemach o niskim SNR i niskiej wydajności widma. Jeśli chodzi o wydajność widma, użytkownicy o wysokiej wydajności widma nie potrzebują mMTC. Projekt systemu jest ważny. Opracowując typowe wyposażenie ruchu mMTC, osiąga się maksymalną efektywność wykorzystania zasobów systemowych. Dobry schemat projektowania NOMA może poprawić przyrost przepustowości transmisji użytkowników nieortogonalnych. W radzeniu sobie z dużą liczbą wymagań dotyczących połączeń, kluczem projektu NOMA jest analiza estymacji kanału i dekodowania grup danych oraz ponowne ładowanie zasobów fizycznych. Pokrycie dużego obszaru i głęboka obsługa to wymagania przypadków zastosowań scenariuszy mMTC, które odzwierciedlają solidność NOMA w zakresie dokładności estymacji kanału, przesunięcia czasowego i przesunięcia częstotliwości. Jeśli w sprzęcie mMTC stosowane są komponenty niskiej jakości, może to mieć wpływ na wydajność systemu. Na przykład tani oscylator może powodować dodatkowe przesunięcie częstotliwości i słabą zdolność śledzenia UE. W systemach NR schematy wielodostępu muszą spełniać zmieniające się wymagania w różnych scenariuszach aplikacji. W scenariuszu mMTC może kontrolować narzut sygnalizacyjny, magazynowanie energii użytkownika mMTC i gęstość połączeń. W szczególności pakiet danych w mMTC jest mały, dlatego w porównaniu z innymi scenariuszami kluczowym problemem jest sygnalizacja kontroli narzutu. W powyższych celach użytkownicy mMTC próbują korzystać z transmisji UL opartej na rywalizacji. UE współdzieli grupę wspólnych zasobów NOMA i losowo wybierają jeden zasób do transmisji UL. Następnie eNodeB zmniejsza zakłócenia między użytkownikami powodowane przez zaawansowane odbiorniki.

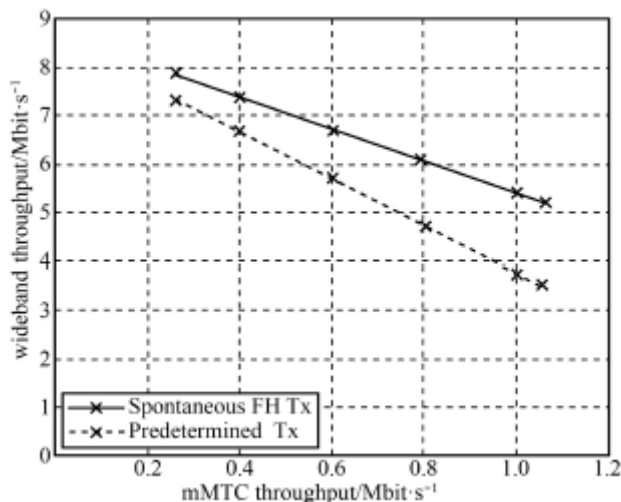
### Ocena wydajności NMA w scenariuszu mMTC



W scenariuszu mMTC, aby obsłużyć duży ruch MTC, należy zastosować wielodostęp oparty na konkurencji. Oparty na konkurencji dostęp wielokrotny oznacza, że planowanie nie jest potrzebne dla żadnej początkowej transmisji pakietu danych lub następującej po niej retransmisji. Rozważ scenariusze wdrożenia 5G, operatorzy dysponują pasmem 10 MHz do obsługi usług szerokopasmowych i usług mMTC. Zakłada się, że obciążenie mMTC jest statystycznie równoważne każdej komórce (takie jak  $\lambda$  przybycia/s Poissona). Część widma wykorzystywana jest na potrzeby usługi mMTC, czyli taki sam obszar w każdej komórce, a pozostała część jest przeznaczona na ruch w sieci szerokopasmowej. Dlatego, wraz ze wzrostem obciążenia ruchem mMTC, mMTC potrzebuje więcej widma. Odniesienie zawiera analizę opartych na konkurencji technologii łącza zwrotnego NOMA w mMTC i ocenia metryki przepustowości w scenariuszu mMTC. Parametry symulacji zestawiono w Tabeli 3.

Parameter	Value
Carrier frequency	2 GHz
Bandwidth of each PRB	180 kHz
TTI	1 ms
Topology	19 sites, 3cells per site, ISD = 1,732 m
Channel coding	Turbo coding
Channel model	TU
UE speed	3 km/h
HARQ	yes
MCS	QPSK, 1/2
UE maximum power	mMTC: 13 dBm, broadband: 23 dBm
Open loop power control	mMTC: $\alpha = 1$ , optimal $P_0$ ; broadband: $\alpha = 1$ , optimal $P_0$

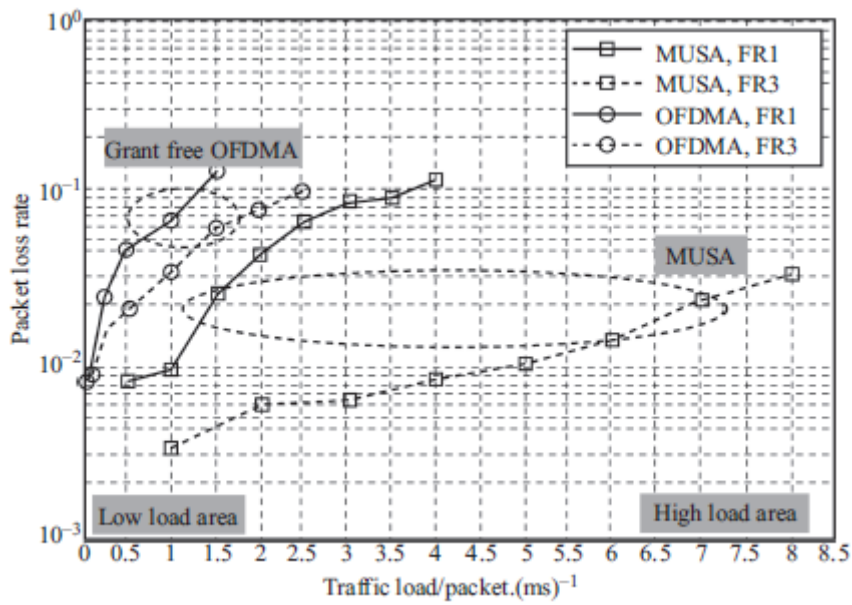
W przypadku tego modelu na rysunku przedstawiono zmiany przepustowości łączy szerokopasmowych i mMTC w różnych szerokościach pasma obciążenia mMTC, gdy odległość między stacjami wynosi 1732 m.



Wyniki wskazują, że przepustowość łączy szerokopasmowych jest wysoka, a duże obciążenie mMTC ma znaczący wpływ na przepustowość systemu, co wymaga wyższej wydajności widma. W raporcie technicznym IMT-2020 dotyczącym wielokrotnego dostępu zaproponowano ocenę na poziomie systemu MUSA opartego na grantach w scenariuszu mMTC. Parametry symulacji zestawiono w Tabeli 4

Parameter	Value
Layout	Hexagonal cell, 19 cells with 3 sectors per cell, ISD = 500 m
Channel scenario	ITU UMa
Carrier frequency	2 GHz
Occupied bandwidth	4 PRB (720 kHz)
UE number in each cell	Small packet, inter-arrival time is a Poisson distribution
Proportion of indoor users	0%
UE speed	3 km/h
UE power control	Open loop power control, $\alpha = 1$ , $P_0 = -95$ dBm, maximum transmit power 23 dBm
Antenna number	1T2R
Antenna configuration	UE: vertical polarization. eNodeB: $\pm 45^\circ$ cross-polarization
Antenna mode	3D, same as TR 36.814
Antenna height	eNodeB: 25 m. UE: 1.5 m
Antenna gain and link loss	17 dBi
UE antenna gain	0 dBi
eNodeB antenna tilt	ITU UMa: $12^\circ$
Minimum horizontal distance between UE and eNodeB	ITU UMa: 35 m
Cell selection criteria	RSRP
Handover margin	0 dB
Network synchronization	Synchronous
Channel estimation	Ideal
MCS mechanism	Fixed MCS, grant free
Maximum HARQ number	No
Traffic model	FTP1 (refer to TR 36.814), packet size 144 bit
Performance measurement	Supported load with 1% packet loss rate

Odniesienie opisuje konkretną metodę oceny. W symulacji założono, że UE przyjmuje schematy transmisji bez grantów. Gdy różne UE zajmują ten sam RE lub wzorzec, dochodzi do kolizji. W przypadku OFDMA zderzające się sygnały są uważane za wzajemne zakłócenia. W przypadku MUSA BS prowadzi wykrywanie kolizji za pomocą zaawansowanych odbiorników. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku.



Nieortogonalny MUSA ma znaczną poprawę wydajności w zakresie współczynnika utraty pakietów w porównaniu z OFDMA.