

# Odłączony dostęp do łącza uplink i downlink w heterogenicznych sieciach

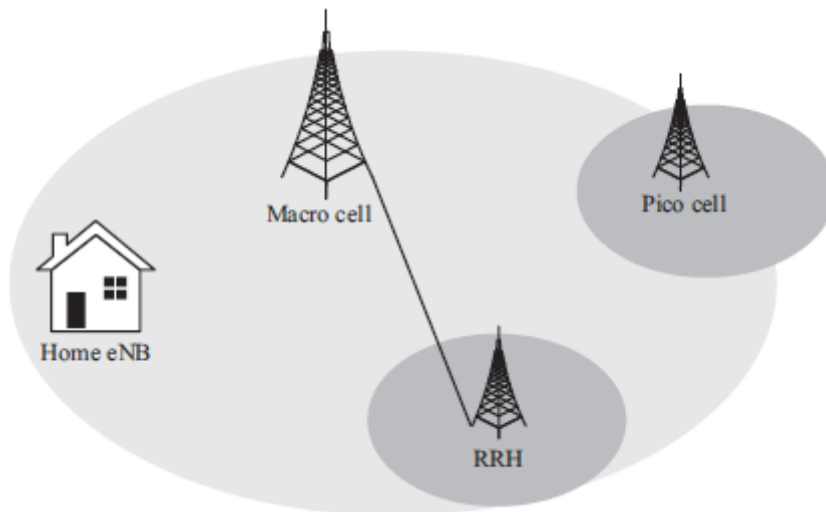
## 9.1 Wprowadzenie

Koncentracja danych UE nie tylko wymagają większej przepustowości od sieci bezprzewodowych, ale także zorientowanej na usługi jakości usług (QoS) i porównywalnej jakości doświadczenia (QoE) zarówno w łączu w dół (DL), jak i w łączu w górę (UL). Wraz z wprowadzeniem Internet of Things (IoT), komunikacji między maszynami, usługami w chmurze i powszechnie używanymi mediami społecznościowymi, UE i urządzenia są generalnie coraz bardziej generatorami treści niż przedtem. W konsekwencji nowe generacje komunikacji mobilnej muszą opracować strategie, które poprawią ogólne wrażenia urządzenia. Dodanie inteligencji do warstw Media Access Control (MAC) i Radio Resource Control (RRC) wykazało znaczną poprawę pod względem szybkości transmisji danych i uczciwości. Jednak niestała QoE UE w obszarze komórki motywuje do zwiększenia liczby obsługujących eNB przez dodanie komórek o krótszym zasięgu, zbliżając sieć do UE. Ta zmiana w rozmieszczeniu pozwala na dalszą poprawę pojemności sieci, umożliwiając lepsze równoważenie obciążenia między komórkami i eliminując dziury zasięgu. Jednak ten nowy paradygmat projektowania systemu wiąże się z poważnymi wyzwaniami otwartymi, aby zapewnić poprawne działanie, takie jak: poprawa backhaul, mobilność i zarządzanie zakłóceniami, powiązanie z komórkami i relacja UL / DL. Jedną z kluczowych kwestii przy przechodzeniu w kierunku sieci użytkownika lub usługi jest zapewnienie sieci mobilnej wystarczającej elastyczności, aby wybrać komórkę obsługującą, która lepiej odpowiada wymaganiom urządzenia lub usługi. W tym kierunku, łączenie w dół i rozłączanie wstępujące (DUDe) idzie o krok dalej i pozwala użytkownikowi niezależnie przesyłać i odbierać do różnych stacji bazowych i odbierać z nich. Zasadniczo DUDe przełamuje twarde i klasyczne ograniczenia selekcji komórek w oparciu o moc odbieraną przez downlink i zapewnia sieci swobodę kojarzenia użytkowników z różnymi eNB w DL i UL. Ta część opisuje szczegółowo technikę DUDe. Po pierwsze, sekcja 9.2 omawia główne wyzwania, przed którymi stoi HetNets w zakresie planowania radiowego i zarządzania zakłóceniami, oraz dokonuje przeglądu potencjalnych rozwiązań, aby rozwiązać te problemy. Następnie odłączanie UL i DL jest uznawane za nową technikę, która może skutecznie poprawić wydajność HetNet, jak pokazano w części 9.4, a także może mieć pozytywny wpływ na wydajność innych technologii dostępu radiowego, takich jak Carrier Aggregation (CA), transmisja Coordinated Multipoint i odbiór (CoMP) lub falę milimetrową (sekcja 9.5). Umożliwione architektury sieci dostępu radiowego omówiono w Rozdziale 9.6, a możliwości i wyzwania wyższej warstwy omówiono w Rozdziale 9.7.

## 9.2 HetNets wyzwania w sieci 4G

LTE-A musi zmierzyć się ze zmienną QoE w komórkach z powodu różnicy w wydajności widmowej w zależności od pozycji UE. Dodawanie widma lub poprawa adaptacji łącza zapewnia szybszą łączność, jednak nie ma jednorodnej wydajności faktycznie spełnione. Jednym z wyzwań, z którym muszą się zmierzyć 4G i przyszłe technologie, takie jak nadchodzący 5G, są nowe wymagania dotyczące wydajności spektralnej obszaru i dystrybucji użytkowników. Dalsze ulepszenia w celu osiągnięcia uczciwego działania na użytkownika wzdłuż komórki są możliwe dzięki zwiększeniu gęstości rozmieszczenia węzłów eNB. Obecnie sieci komórkowe zmieniają się z jednopoziomowego, jednorodnego podejścia sieciowego do wielopoziomowego heterogenicznego, tak zwanego HetNets. W ostatnich latach stało się popularnym podejściem jako wydajne i skalowalne rozwiązanie poprawiające przepustowość sieci w newralgicznych punktach; jest to również realne rozwiązanie, które ma poprawić sprawiedliwość, ponieważ sieć zbliża się do UE. HetNet to wdrożenie sieciowe składające się z Macro Cells lub MCells i nałożonych węzłów niskiej mocy, takich jak komórki piko, femto, RRH lub przekaźniki, określane ogólnie jako małe komórki lub SCell. MCells to eNB o dużej mocy,

zwykle zlokalizowane wzdłuż obszaru geograficznego, z takimi celami jak maksymalizacja zasięgu lub redukcja zakłóceń. Pęcherzyki są odpowiedzialne za wyeliminowanie otworów ochronnych lub poprawę wydajności poprzez rozładowywanie MCells w obszarach o gorącym punkcie. Rysunek 9.1 pokazuje typowe wdrożenie HetNet.

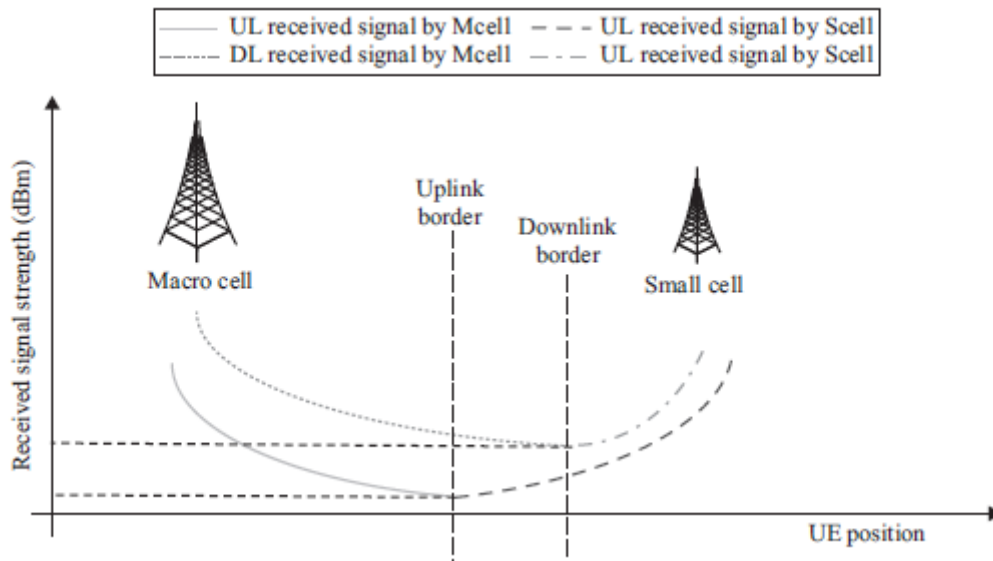


W oparciu o rozmieszczenie częstotliwości powstają dwa rozwiązania: współkanałowe rozmieszczenie, w którym zarówno MCells, jak i SCell mają wspólne pasmo częstotliwości; i dedykowane wdrożenie, w którym każdy typ komórek transmituje na różnych częstotliwościach. Podczas gdy pierwsza pozwala maksymalizować wykorzystanie i pojemność widma, zakłócenia mogą stać się głównym problemem w projektowaniu systemu. Z drugiej strony, dedykowane wdrożenia mogą rozwiązać problem interferencji, kosztem nadmiernego zaopatrywania SCell w zasoby częstotliwości. W tym sensie ten nowy paradygmat wdrażania sieci potencjalnie zwiększa wydajność widmową; jednakże wprowadzono znaczące wyzwania w celu zapewnienia prawidłowego działania HetNets.

### 9.2.1 Wyzwania związane z planowaniem radiowym w HetNecie

Tendencje hiperrozrostu komórek z wieloma poziomami wymagają różnych podejść w planowaniu i projektowaniu sieci, aby spełnić podstawowe cele maksymalizacji stopy użytkowników i wzmocnienia między innymi spektralnej efektywności uczciwego użytkownika. Oczwistym wyzwaniem w planowaniu sieci HetNets jest wdrożenie częstotliwości: jeśli maksymalizacja pojemności jest głównym czynnikiem napędowym lub dostęp do widma jest ograniczony, częstotliwości MCell powinny być ponownie wykorzystane przez inne poziomy. W rozmieszczeniach międzykanałowych interferencja między komórkami jest ważnym ograniczeniem. Zarówno w UL, jak i DL, występuje większa liczba węzłów zakłócających w porównaniu do klasycznych wdrożeń MCell; duża liczba ogniw SCell wykorzystujących te same nośniki może generować duże zakłócenia. W takich przypadkach należy rozważyć zaawansowane procedury zarządzania zasobami radiowymi, aby zminimalizować generowane zakłócenia. Z drugiej strony, dedykowane wdrożenia są atrakcyjne przy dużych przepustowościach, co pozwoli lepiej kontrolować zakłócenia. Z definicji ogniwa są węzłami małej mocy. Bardzo niska moc nadawania DL może powodować niski zasięg SCell, zapewniając bardzo niewielką migrację użytkownika z MCell. Z drugiej strony, wyższe moce nadawania zwiększają rozmiar SCell, co może zwiększać obciążenie SCell. Różnice w gęstości transmisji DL pomiędzy różnymi węzłami i wybór komórki w oparciu o moc odbieraną DL powodują problemy z niezbilansowaniem między połączeniami UL i DL. Problem braku równowagi DL / UL został rozpoznany przez 3GPP. Mówi się, że UE znajduje się w tej sytuacji, jeśli najlepsza obsługująca komórka z perspektywy mocy odbieranej przez UL i najlepsza komórka obsługująca DL są różne. Optymalne połączenie UE w UL jest z SCell,

ponieważ jest bliżej, ale w DL będzie podłączone do MCell. Klasyczne reguły asocjacji komórek mają ogromny wpływ na nierównowagę obciążenia i wydajność UL. Rysunek 9.2 pokazuje graficzny przykład problemu niezbilansowania HetNet.



Muszą być zapewnione SCell z energooszczędnym i niedrogim backhaułem, co dość często okazało się trudne w wdrożeniach SCells. Brak sprzężenia zwrotnego o dużej wydajności może ograniczyć dostępność SCell, co może osłabić potencjalne ulepszenia wynikające z zagęszczania komórek. W związku z tym procedury stowarzyszenia komórek powinny uwzględniać dostępność takich zasobów, które zapewniają użytkownikowi odpowiednią jakość doświadczenia.

### 9.2.2 Strategie usprawnień w HetNecie

Wybór komórki oparty na mocy odbieranej sygnалу odniesienia (RSRP) skutkuje problemami z niezbilansowaniem, ponieważ zasięg MCell MCell jest znacznie większy niż zasięg SCell. Jedną ze strategii, która może rozwiązać ten problem i przynieść trochę uczciwości do UL, jest rozszerzenie zakresu komórek (RE), które umożliwia UE skojarzenie z komórkami, które nie zapewniają najwyższego DL RSRP, zwiększając obszar pokrycia SCell. Zakres SCell jest rozszerzany przez dodanie przesunięcia wyboru komórki do RSRP mierzonego od SCell, a urządzenia użytkownika UE w zakresie rozszerzonego obszaru są powiązane z SCell zarówno w UL jak i DL. W tej sytuacji UL UE jest dość poprawione, podczas gdy DL jest powiązane w sposób nieoptymalny, ponieważ maksymalna otrzymana moc jest nadal zapewniona przez MCell. Chociaż rozszerzanie zakresu węzłów o małej mocy częściowo kompensuje problemy z zakłóceniami UL, interferencja DL na RE UE jest znacznie zwiększona. Badania wykazały, że stosowanie wysokich przesunięć (większych niż 3-6 dB) zwiększa poziom interferencji DL. Z tego powodu zbadano także mechanizmy eICIC w tym kontekście. Techniki te są w większości odmianami tego samego pomysłu: wyciszanie ramek i skoordynowane planowanie. Rzeczywiście, 3GPP wprowadziło możliwość użycia niemal pustych podramek (ABS) od czasu wydania LTE-A 10. W końcu technika rozciągania zasięgu jest ograniczona do umiarkowanych wartości przesunięcia i dostosowanie nie jest trywialne dla bardzo niejednorodnych śladów pokrycia, ponieważ wystąpi w ultra -dla wdrożeń. Ponadto obecne prace badawcze zakładają powolne aktualizacje (skala sekund) w celu koordynacji zakłóceń. Powodem jest zwiększenie RTT (z powodu opóźnień sygnalizacji X2), ale co ważniejsze, potrzeba zagwarantowania stabilności systemu. Jednym z głównych celów projektu HetNets jest wykorzystanie zasobów radiowych w sieciach MCells i SCell w celu uzyskania przepustowości na użytkownika i pojemności systemu podobnej do idealnych wdrożeń sieci dosyłowej. 3GPP wprowadził

koncepcję podwójnej łączności w Wydaniu 12, w którym użytkownik zużywa zasoby radiowe dostarczane przez co najmniej dwa różne punkty sieciowe. Podwójna łączność jest jednym z potencjalnych rozwiązań 3GPP, które poprawiają wydajność użytkownika, łącząc zalety zasięgu MCell i pojemności SCell. W scenariuszu DL, w którym MCells współużytkują zasoby z innymi komórkami, gdzie proponowane jest okno CA w celu określenia, czy urządzenia UE z obsługą CA powinny zostać włączone do ośrodka CA wewnątrz ośrodka. Rozważane jest dedykowane rozmieszczenie częstotliwości. Korzyści z agregowania zasobów z obu komórek są weryfikowane dla różnych wzorców ruchu, a także dla różnych sytuacji obciążenia. Poprawa wydajności w UE przy użyciu współdzielonych zasobów stanowi wyraźną wskazówkę, że techniki współpracy stają się obowiązkowe, aby zmaksymalizować wykorzystanie zasobów i sprostać wymaganiom stawianym innowacyjnym i bardziej wymagającym aplikacjom. Kolejnym krokiem w optymalizacji HetNet jest relacja między UL i DL oraz to, w jaki sposób zasady powiązania wpływają na wydajność obu łącz. Zarówno odłączenie mocy UL / DL, jak i obciążenie MCell / SCell i brak równowagi mocy powoduje rozłączenie obu ogniw, co jest szczególnie korzystne w heterogenicznych rozmieszczeniach w kanałach międzykanałowych. Podstawowy schemat odsprężenia pomiędzy SCell i MCell pokazano na rysunku 9.3. W wydaniu 12, 3GPP dostarczył wstępną ocenę wydajności HetNet, gdy zawiera podział UL i DL, wyniki pokazują poprawę szczególnie na krawędzi komórki dla scenariuszy niskiego i średniego obciążenia. W literaturze ostatnio zajęto się problemem nierównowagi sił i ładunków, a można zidentyfikować kilka istotnych odniesień. Wyniki pod względem zysku, jaki można uzyskać na podstawie przepustowości UL, są bardzo obiecujące. Wyniki pokazują ten sam trend między analizą geometrii stochastycznej a rzeczywistymi danymi eksperymentalnymi. Wreszcie, Singh przyczynia się do tematu z analizą UL SINR i rozkładów szybkości w zależności od zasad asocjacji, biorąc pod uwagę parametry projektu kontroli mocy UL. Wyniki pokazują, że minimalne powiązanie utraty ścieżki prowadzi do identycznego rozkładu obciążenia we wszystkich komórkach, co jest również optymalne pod względem szybkości, niezależnie od parametrów sterowania mocą. Gdy maksymalne pokrycie złącza UL i DL musi być zmaksymalizowane, optymalne rozwiązanie to odłączone połączenie. Jest to korzystne, ponieważ zmniejsza nierównowagę QoS między obydwoma linkami.

### 9.2.3 Oddzielenie jako rozwiązanie

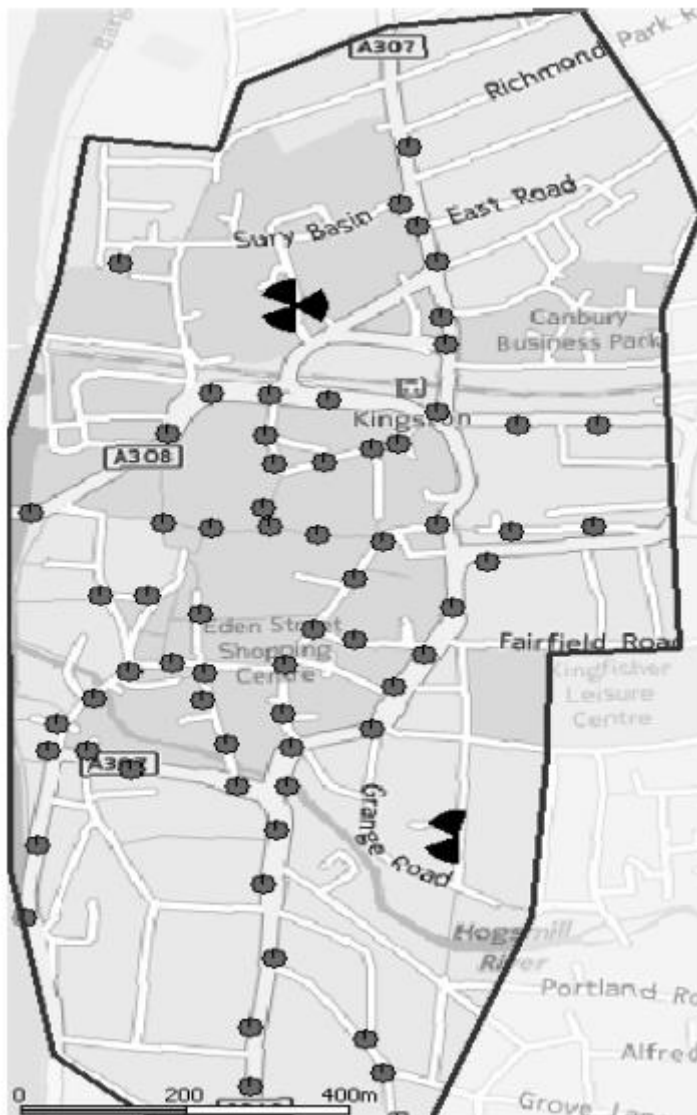
Obecne technologie, które odnoszą się do głównych wyzwań HetNet w kontekście planowania radiowego zarządzania zakłóceniami można podzielić na trzy główne grupy:

- Podwójna łączność. W literaturze zweryfikowano usprawnienia UL w dedykowanym wdrożeniu. Jednakże nie przeprowadzono jeszcze badań, które obejmowałyby podwójną łączność jako rozwiązanie problemu braku równowagi UL / DL, zasady asocjacji zaproponowane w stanie techniki są oparte na DL RSRP lub RSRQ.
- Komórka RE z funkcją EICIC. W literaturze zweryfikowano poprawę UL w rozmieszczeniach w kanałach. Strategia ta pomaga zmniejszyć nierównowagę UL / DL, podczas gdy poprawa UL jest zmaksymalizowana, zwiększa się również interferencja między komórkami DL. Dlatego technikom RE zawsze muszą towarzyszyć rozwiązania eICIC dla DL, takie jak ABS. Niemniej jednak technika RE jest ograniczona do umiarkowanych wartości przesunięcia ze względu na ostrą interferencję w DL. Reguły wyboru komórki są oparte na DL RSRP i RSRQ z dodanym offsetem RE.
- Odłączanie UL / DL. Istnieją zweryfikowane ulepszenia UL w rozmieszczeniach dwukanałowych za pomocą DUDe. Odłączone zasady powiązań w UL i DL mogą zaspokoić różne wymagania obu łącz i z kolei mogą skutecznie rozwiązać problem braku równowagi UL / DL pod względem zasięgu, obciążenia i zakłóceń.

W oparciu o to porównanie oczywiste jest, że DUDe zapewnia korzyści z posiadania bardzo wysokich przesunięć RE w UL bez efektów zakłóceń w DL, ponieważ oba łącza są rozdzielone i połączone z najlepszą obsługującą komórką.

### 9.3 Ustawienia symulacji

W tej sekcji przedstawiono konfigurację symulacyjną użytą w ocenie wydajności w rozdziale 9.4. Konfiguracja symulacji wynika w dużej mierze ze scenariusza symulacji opartego na sieci testowej Vodafone LTE SCell w obszarze Londyn pokazanym na rysunku 9.4.



Sieć testowa obejmuje obszar o długości około jednego kilometra kwadratowego i składa się z dwóch sektorowych miejsc Makroekonomicznych i sześćdziesięciu czterech Gwiazd SCell zobrazowanych odpowiednio czarnymi kształtami i małymi okręgami. Dystrybucja użytkowników opiera się na danych o ruchu wyodrębnionych z sieci testów na żywo. Dodatkowo wykorzystywany jest model przewidywania ścieżki śledzenia wysokiej rozdzielczości 3D, który uwzględnia dane dotyczące bałaganu, terenu i budynku. Gwarantuje to realistyczny i dokładny model propagacji. Kontrola mocy UL jest oparta na algorytmie frakcyjnej kompensacji stratkowej w otwartej pętli, określonej przez 3GPP.

## 9.4 Ocena wydajności

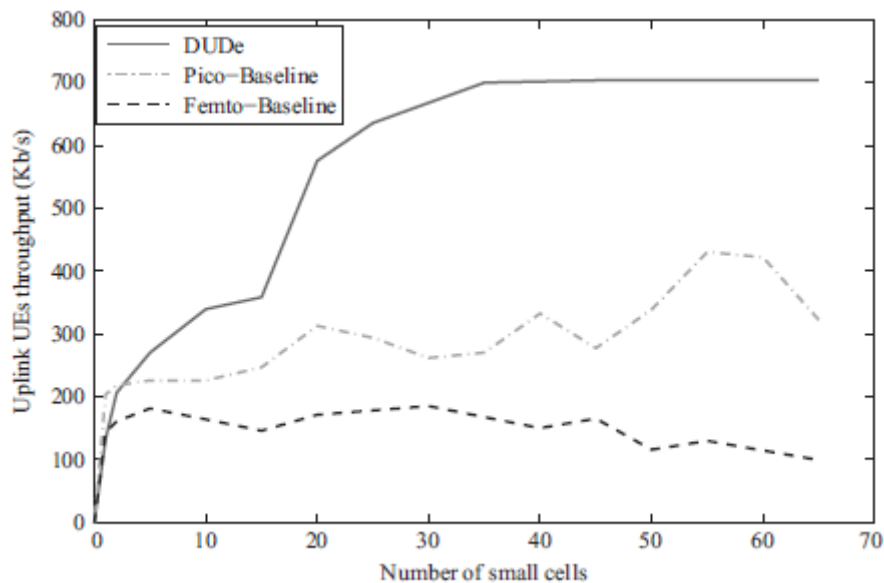
Jak wyjaśniono w Części 9.1, DUDe uważa się za ważną zmianę paradygmatu z podejścia skoncentrowanego na komórce używanego do tej pory w projektowaniu sieci komórkowych na bardziej elastyczne podejście zorientowane na urządzenie, które ma być jednym z głównych elementów składowych przyszłej sieci 5G. DUDe może zaoferować znaczne korzyści w zakresie UL pod względem zasięgu, przepustowości, niezawodności, równoważenie obciążenia i zachowanie interferencyjne. Poprawa wydajności UL stała się coraz ważniejsza ze względu na pojawienie się i wykładniczy wzrost IoT, gdzie ruch jest często skoncentrowany na UL, a także rosnąca popularność symetrycznych aplikacji ruchu, takich jak sieci społecznościowe, rozmowy wideo i gry wideo w czasie rzeczywistym. W tej sekcji wyniki symulacji, które potwierdzają korzyści pod względem wcześniej wymienionych kryteriów, zostaną przedstawione i szczegółowo omówione. Najprostsza forma DUDe jest rozważana w tej sekcji, w której powiązanie UL jest oparte na odebranej mocy UL, podczas gdy powiązanie DL jest oparte na mocy odebranej przez DL. DUDe jest porównywany z konwencjonalną operacją LTE, w której zarówno skojarzenia UL, jak i DL są sprzężone i oparte na mocy odbieranej przez DL. Rozważa się dwa przypadki bazowe LTE, w których SCell traktowane są jako komórki Pico i femtokomórki, a te dwa przypadki są określane odpowiednio jako Pico-Baseline i Femto-Baseline. Moc nadawania makro, Pico, femto wynosi odpowiednio 46, 30, 20 dBm. Następnie zostanie przedstawiony zestaw wyników ilustrujący wzrost wydajności DUDe.

### 9.4.1 Pokrycie i pojemność

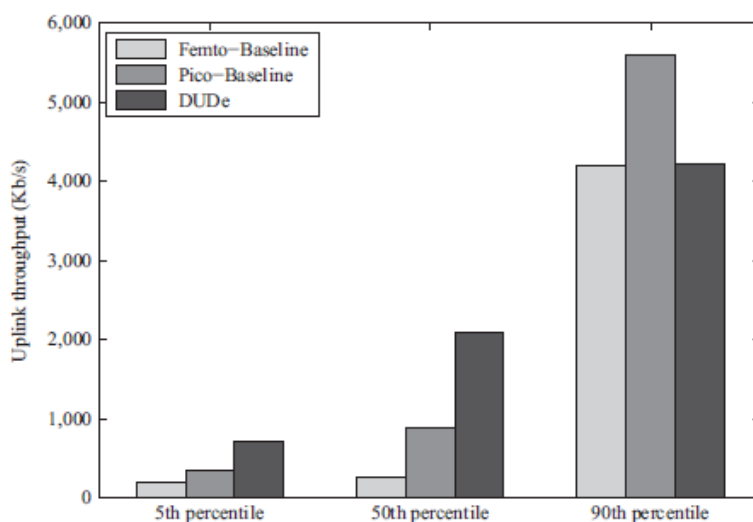
W sieci HetNet pokrycia UL i DL są całkiem różne, jak to omówiono w Części 9.2 i pokazano na rysunku 9.2, dlatego oparcie połączeń UL i DL na tym samym kryterium, które jest mocą odbieraną przez DL, jest wysoce nieoptymalne. W tej części zilustrowano ogromną różnicę między pokryciem UL w przypadkach bazowych LTE a DUDe, a wynikające z nich przyrosty wydajności są podświetlone. Rysunek 9.5 ilustruje pokrycie UL warstw Mcell i SCell dla trzech przypadków w porównaniu, w których pokrycie Mcell i SCell są wyświetlane odpowiednio w kolorze czarnym i szarym.



Wykazano, że zasięg UL Scells jest bardzo mały w przypadkach Femto-Baseline i Pico-Baseline. Jednak w przypadku DUDe Scells mają znacznie większy zasięg UL, który jest znacznie mniej zdominowany przez Mcells niż w przypadkach bazowych LTE. Efekt ten powoduje bardziej równomierną dystrybucję UE między węzłami, co z kolei prowadzi do znacznie bardziej efektywnego wykorzystania zasobów, co zostanie wykazane w następujących wynikach. Jednorodna pokrycia ma duży wpływ na przepustowość, a zwłaszcza przepustowość UE na krawędzi komórek, co jest reprezentowane przez przepustowość piątego percentyla. Rysunek 9.6 pokazuje wpływ zwiększenia liczby Scellów w symulowanym scenariuszu na przepustowość piątego percentyla.



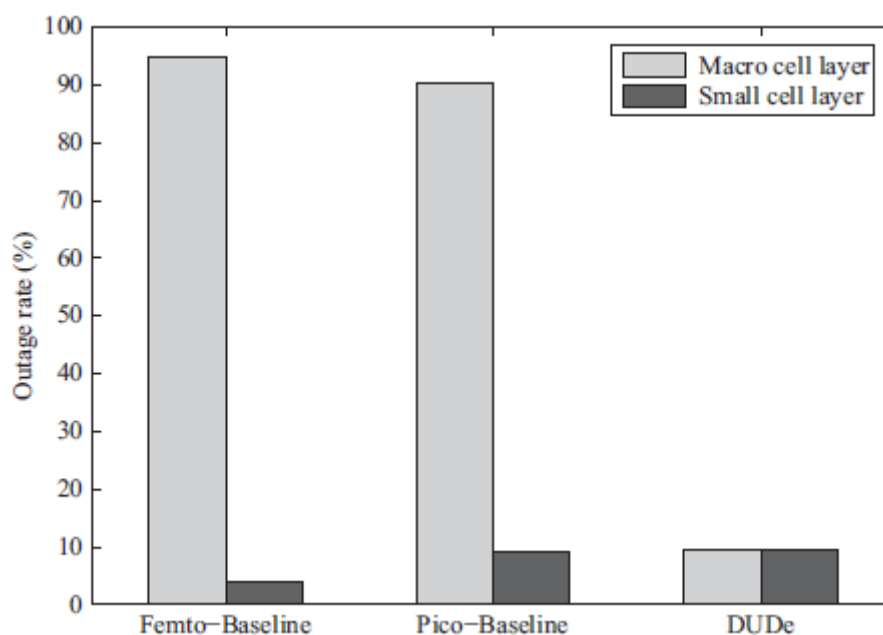
W przypadku DUDe można zauważyć, że przepustowość piątego centyla poprawia się szybko wraz z liczbą Scellów, jest to częściowo spowodowane zwiększonym zasięgiem UL Scells w DUDe, jak pokazano na rysunku 9.5. Gdy liczba Scellów wzrasta, przepustowość piątego percentyla UE zaczyna nasycać się, gdy te urządzenia użytkownika stają się ograniczone przez jakość kanału i moc nadawania, a zyski zaczynają być bardziej wyraźne w 50. i 90. percentylu. Patrząc na przypadki Femto-Baseline i Pico-Baseline, można zauważyć, że dodanie Scells ma niewielki wpływ na piątą percentylową przepustowość ze względu na bardzo ograniczony zasięg Scells w obu przypadkach, co czyni je bardziej efektywnymi dla 50. i 90. percentyla UEs. Ponadto w tych dwóch przypadkach przepustowość zmienia się wraz ze wzrostem liczby Scellów. Jest to spowodowane wysoką interferencją urządzenia z efektami Scells UE tworzą krawędzie UE komórek Mcell, ponieważ te UE są bliżej Scellów, więc cierpią na wysoki poziom interferencji. Efekt ten jest bardziej podkreślony w przypadku Femto-Baseline, ponieważ przepustowość piątego percentyla zaczyna maleć po pewnym punkcie, podczas gdy w przypadku DUDe przepustowość wzrasta w bardziej stabilny sposób, ponieważ UE zawsze łączą się z węzłem, do którego mają najlepsze UL kanał, który gwarantuje niższy poziom zakłóceń. Ten wpływ na interferencję zostanie omówiony w dalszej części. Rysunek 9.7 pokazuje wyniki przepustowości 5, 50 i 90 percentyla dla tych trzech przypadków.



piąty percentyl UL przepustowości w DUDe jest zwiększony o więcej niż 200% i 100% w porównaniu do odpowiednio linii bazowej Femto i Pico-Baseline. Podobnie, wydajność 50. percentyla jest poprawiona w przypadku DUDe o 600% i 100% w porównaniu do linii bazowej Femto i linii bazowej Pico. Zyski są wynikiem lepszego pokrycia Scells w przypadku DUDe, co skutkuje lepszą dystrybucją UE między węzłami, co daje bardziej efektywne wykorzystanie zasobów. Ponadto fakt, że UE łączy się z węzłem, do którego mają najlepszy kanał UL, skutkuje poprawą stosunku sygnału do zakłóceń i szumów (SINR), który pozwala UE na stosowanie wyższego schematu modulacji i kodowania, i z kolei uzyskanie lepszego wykorzystanie zasobów i większa przepustowość. Jeśli chodzi o przepustowość na poziomie 90. centymetra, DUDe nie osiąga najwyższej przepustowości, co ma sens, ponieważ DUDe ma na celu poprawę efektu równoważenia obciążenia, który w naturalny sposób spowoduje zmniejszenie szczytowej szybkości przesyłania danych. Dodatkowo można zauważyć, że Pico-Baseline osiąga najwyższą przepustowość na poziomie 90. percentyla, co wydaje się sprzeczne z intuicją, ponieważ można by oczekiwać, że linia bazowa femto byłaby tą, która osiąga najwyższą szybkość transmisji danych szczytowych. Jednakże, patrząc na 98. percentyl przepustowości, przepustowość osiąga 15 Mb / s i 10 Mb / s odpowiednio w przypadkach Femto-Baseline i Pico-Baseline. Pokazuje to, że wpływ Scells w przypadku Femto-Baseline jest ograniczony do małej liczby UE.

#### 9.4.2 Niezawodność i równoważenie obciążenia

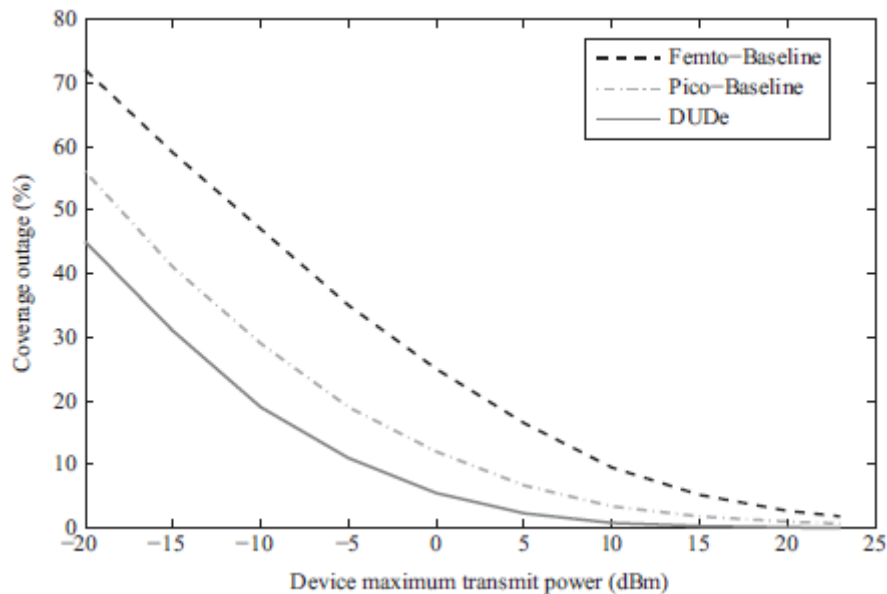
Niezawodność staje się jednym z najważniejszych wymagań przyszłych systemów komórkowych ze względu na rozprzestrzenianie się Internetu Rzeczy, która jest parasolem dla wielu aplikacji, takich jak sieci czujników, automatyzacja fabryki i wiele innych. Na niezawodność systemów bezprzewodowych może mieć wpływ kilka czynników, w tym przeciążenie i utrata zasięgu, w których urządzenie mogło zostać odłączone z powodu braku dostępnych zasobów lub z powodu bardzo niskiej jakości łącza, wynikającej z braku zasięgu lub podlegania wysoki poziom zakłóceń. DUDe odgrywa kluczową rolę w poprawianiu niezawodności UL poprzez redukcję wskaźnika awarii, co zostanie pokazane poniżej. Rysunek 9.8 ilustruje średnią awaryjność dla warstw Mcell i Scell dla trzech przypadków, w których symulowany jest scenariusz o dużym natężeniu ruchu poprzez ustawienie minimalnej żądanej przepustowości dla każdego UE na 1 Mb / s.



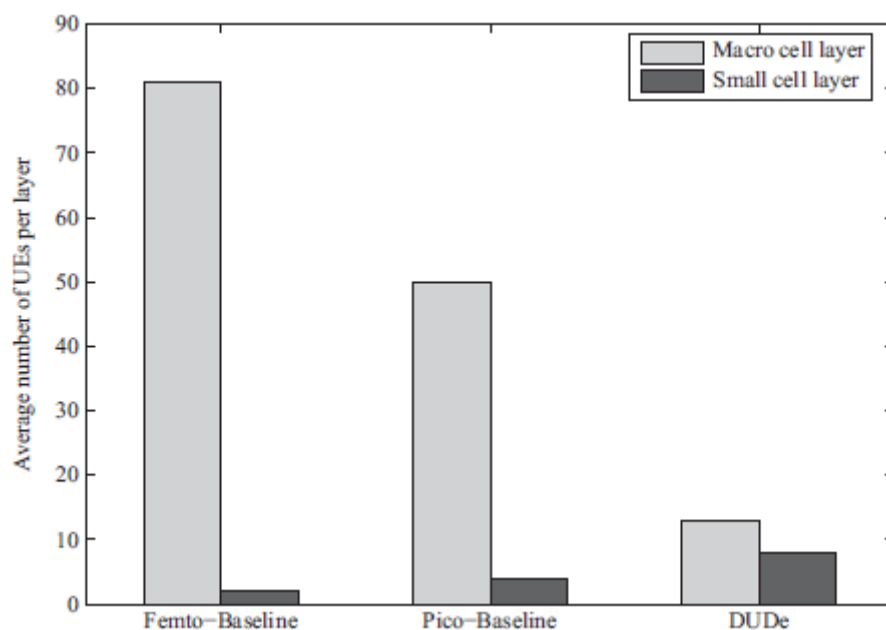
Przerwa definiowana jest jako procent urządzeń UE, które nie mogą osiągnąć przepustowości minimalnej 1 Mb / s. Ponieważ scenariusz ten uważa się za scenariusz dużego natężenia ruchu, wymaga



on bardzo wydajnego wykorzystania zasobów w celu spełnienia wymagań UE o wysokiej przepustowości. Jak można zauważyć na rysunku, warstwa Macro ma bardzo wysoką szybkość wyłączenia w przypadkach bazowych LTE, co tłumaczy się tym, że warstwa Macro jest bardzo przeciążona w UL i MCells nie mogą obsługiwać wszystkich UE z wymaganą przepustowością co skutkuje dużą liczbą porzuconych UE. Jednakże, w przypadku DUDe, urządzenia UE są rozmieszczone bardziej równomiernie wśród węzłów, tak więc szybkość wyłączenia może być drastycznie zmniejszona do mniej niż 10% na warstwach MCell i SCell. Innym trendem, który wpływa na niezawodność, jest przerwa spowodowana utratą zasięgu lub słabymi kanałami. Rysunek 9.9 pokazuje wskaźnik przestoju w stosunku do maksymalnej mocy transmisji UE.



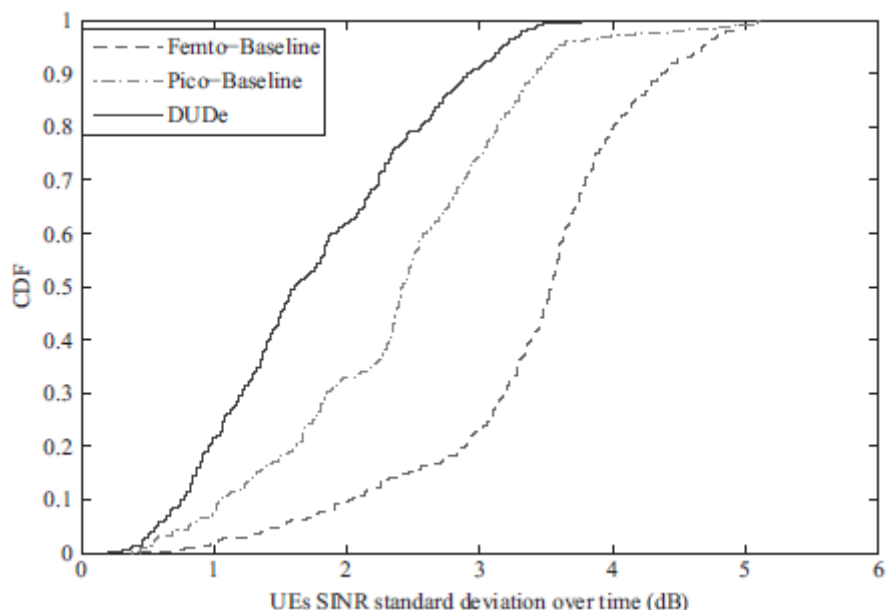
Przerwa w tym miejscu jest określona przez ułamek UE, którego jakość sygnału UL jest niższa niż wymagana do uzyskania najniższego modulacji i schematu kodowania (MCS) LTE, a zatem jest odrzucana. Wynik ten pokazuje, że dla tej samej maksymalnej mocy nadawczej UE DUDe może zmniejszyć częstotliwość wyłączenia UL nawet o 25% w porównaniu do linii bazowej LTE. Alternatywnie, przy tej samej szybkości wyłączenia, maksymalna moc nadawania może zostać zmniejszona o maksymalnie 10 dB za pomocą DUDe. Te wyniki są bardzo istotne dla aplikacji IoT, w których albo niezawodność łącza, albo żywotność baterii albo oba mają ogromne znaczenie i, jak widać na rysunku, można je drastycznie poprawić za pomocą DUDe. Obciążenie na danym BS w UL może być inne niż obciążenie w DL na tym samym BS. Oznacza to, że nie jest optymalne, jeśli chodzi o równoważenie obciążenia, aby ten sam zestaw urządzeń UE był połączony z tym samym BS w UL i DL. Ponadto, DUDe zostało pokazane w poprzednich wynikach, aby poprawić zasięg UL dla SCell, co skutkuje znacznie lepszą dystrybucją UE wśród różnych warstw sieci komórkowej. Ten efekt równoważenia obciążenia jest przedstawiony na rysunku 9.10, gdzie średnia liczba urządzeń UE na komórkę w każdej warstwie jest pokazana dla trzech porównywanych przypadków.



DUDe skutkuje znacznie bardziej równomiernym rozkładem UE między różnymi typami węzłów, co bezpośrednio przekłada się na radykalnie poprawioną wydajność widmową i redukcję przestojów, jak pokazano w poprzednich wynikach.

### 9.4.3 Zachowanie interferencyjne

Zakłócenia są jednym z głównych czynników ograniczających w sieciach komórkowych. DUDe ma zdolność do zmniejszenia zakłóceń UL z powodu wielu uzupełniających się efektów. Po pierwsze i w wyniku połączenia UL, które ma tendencję do łączenia UE w UL z ich najbliższym węzłem lub węzłem, do którego mają najlepszą moc odbieraną UL, może to być tłumaczone na zmniejszenie mocy transmisji UE, jak pokazano na rysunku 9.9. Ma to wpływ na zmniejszenie zakłóceń UL dla innych stacji bazowych, co jest dość znaczące, zwłaszcza dla urządzeń UE o niskim SINR UL. Po drugie, DUDe zapewnia możliwość niezależnego wyboru powiązania, które minimalizuje zakłócenia w UE, jak również BS. Interferencja UL zależy od położenia UE względem zakłócającego BS, zastosowanego algorytmu regulacji mocy UL i ciężaru wstępnego kodowania UL. Przeciwnie, zakłócenie DL w kierunku pewnego UE zależy od mocy nadawania BS, wiązki sygnału DL i odległości od różnych stacji BS. Ponadto, UL i DL mają różne zachowania związane z ruchem i szeregowaniem, które można uznać za prawie niezależne. Ze wszystkich powyższych powodów, odsprężone powiązanie UL i DL, które pozwala UE lub BS szukać najlepszego połączenia UL lub DL, które zmniejsza zakłócenia na odpowiednim łączu, ma wiele sensu i oczekuje się, że przewyższy konwencjonalne sprzężone skojarzenie. Oprócz zmniejszenia średniej interferencji, DUDe pozwala na zmniejszenie odchylenia standardowego SINR UL UE w czasie, jak pokazano na rysunku 9.11.



Zmniejszenie wariancji SINR oznacza, że kanał jest bardziej stabilny i przewidywalny, co ma znaczący wpływ na zmniejszenie złożoności funkcji zarządzania zasobami radiowymi (RRM) i samoorganizującej się sieci (SON).

## 9.5 Interoperacyjność DUDe z funkcjami 4G i 5G

Wdrożenie niezawodnej, wydajnej sieci o wysokiej prędkości spektralnej wymaga włączenia szeregu innowacyjnych funkcji, pod warunkiem, że rozwiązania na poziomie łącza ewoluowały w pobliżu mocy ograniczonej Shannon dzięki zaawansowanym programom modulacji i kodowania (MCS). Biorąc to pod uwagę, 4G i nadchodzące 5G muszą oferować pionierskie rozwiązania lub ulepszone wersje wcześniejszych wersji w zarządzaniu spektrum i komunikacji kooperatywnej. W szczególności interoperacyjność DUDe z innymi technologiami dostępu radiowego może doprowadzić do ogólnej poprawy tych funkcji. Zmniejszona zmienność interferencji, zwiększona elastyczność sieci lub zmniejszona moc nadawania to niektóre z zalet, które pomagają w pełni wykorzystać techniki zarządzania radiem.

### 9.5.1 Międzygrupowa agregacja nośna

CA zapewnia wielkie korzyści, gdy jest przeprowadzany w HetNets. W szczególności uwzględnienie CA w takim kontekście uznano za możliwy do zrealizowania sposób wielostanowiskowej funkcja alokacji zasobów radiowych, która została po raz pierwszy wprowadzona w wydaniu 11. Ponadto CA ogólnie (wiele lub ta sama agregacja lokacji) umożliwia zwiększenie przepustowości poprzez zwiększenie dostępnej przepustowości i obsługuje techniki zarządzania mobilnością i zakłóceniami. Kilka badań skupiło się szczególnie na implementacji CA w UL, gdzie możliwości energetyczne UE stanowią najbardziej ograniczające ograniczenie. Zauważono, że potencjalne zyski transmisji CA są silnie powiązane z wymaganą mocą, co w dużej mierze zależy od alokacji przepustowości i ścieżkę dostępu do UE. Powiązanie komórki określa, który eNB obsługuje UE. Węzeł eNB znajdujący się bliżej UE oznacza, że potrzeba mniej mocy do transmisji danych w przydzielonej przepustowości. Aby zapewnić poprawne działanie zagregowanych transmisji szerokości pasma w UL, istotne jest uwzględnienie maksymalnej mocy transmisji UE. W wdrożeniach tylko dla MCell, urządzenia UE krawędzi komórki są mniej prawdopodobne, aby transmitować w CA; jednak w heterogenicznych wdrożeniach odległość do węzła eNB jest krótsza, biorąc pod uwagę większą gęstość komórek. W takim kontekście, jeżeli UE są

powiązane w oparciu o DL RSRP, transmisja UL CA będzie wysoce ograniczona. Strategie odsprężania są bardziej łagodne w przyjmowaniu zagregowanych transmisji, głównie ze względu na poprawę dostępności energii UL przez stowarzyszenia niezwiązane z wielkością produkcji. Jest to ważne, ponieważ CA ma być stosowany zarówno w UL jak i DL, a przy tradycyjnych regułach mocy skojarzonej DL, zastosowanie CA w UL jest poważnie uwarunkowane brakiem dostępności mocy.

### 9.5.2 Kooperatywa wielopunktowa

Współpraca stacji bazowej, w postaci transmisji Coordinated Multi-Point (CoMP) lub odbiór zyskał popularność w kontekście HetNets jako środek do zwiększenia osiągalnej przepustowości UE. Węzły eNB w tym samym klastrze komunikują się za pośrednictwem łączy dosyłowych (to znaczy za pośrednictwem interfejsu X2) w celu minimalizacji zakłóceń międzykomórkowych i wykorzystania zalet rozproszonych systemów antenowych. W rzeczywistości interwencja w ramach klastra współpracy może zostać skutecznie anulowana. Ten poziom koordynacji i współpracy może być realizowany zarówno w UL jak i DL, a realizacja takiej koordynacji silnie zależy od dostępności wystarczającej przepustowości łącza dosyłowego, najpierw do obsługi UE w klastrze komórkowym, a po drugie do komunikacji z innymi komórkami w klastrze współpracy. Ta zależność wsteczna może być bardzo ograniczona w sytuacjach dużego obciążenia i ograniczonych przepustowości łącza. Zwiększona elastyczność zapewniana przez odłączone powiązania UL i DL zapewnia korzyści przy wyborze skoordynowanych transmisji UL lub DL. W szczególności, nie ma potrzeby jednoczesnego połączenia UL i DL z całym współpracującym zestawem stacji bazowych, a UE może mieć nierówne łącza aktywne UL i DL (jak w przypadku CA). To elastyczne powiązanie wewnątrz klastra i współdziałanie DUDe z CoMP idzie o krok dalej w sieci zorientowanej na urządzenie, ponieważ UE może niezależnie wybrać liczbę i pozycję komórek obsługujących DL i UL, zgodnie z kilkoma parametrami wejściowymi, jako backhaul. pojemność, ograniczenie mocy, maksymalizacja przepustowości, między innymi.

### 9.5.3 Fala milimetrowa

Rosnące zapotrzebowanie ruchu sieciowego doprowadziło do kilku trendów w sieciach komórkowych, w tym do zagęszczenia sieci i pojawienia się heterogenicznych sieci, w których SCell odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu przepustowości w hotspotach i gęstych obszarach miejskich. Innym podejściem było zbadanie nowych nieużywanych pasm częstotliwości, które pomogłyby zaspokoić prognozowane przyszłe potrzeby w zakresie ruchu. Popularne częstotliwości sub-6 GHz stają się coraz rzadsze i nie będą już w stanie radzić sobie z rosnącym ruchem sieciowym. Rozwiązaniem tego problemu jest uciekanie się do wyższych częstotliwości w pasmach fal milimetrowych (20 - 100 GHz), w których znaczna część widma jest niewykorzystana lub całkowicie niewykorzystana. Kilka GHz dostępnego widma obiecuje spektakularny wzrost wydajności, który kwalifikuje technologie fal milimetrowych jako jeden z głównych elementów przyszłych sieci 5G. W rzeczywistości pasma fal milimetrowych nie zastąpią pasm sub-6 GHz, przynajmniej początkowo, gdzie sub-6 GHz będzie nadal potrzebne do zapewnienia zasięgu i wszechobecnej obsługi, ponieważ częstotliwości fal milimetrowych mają słabe właściwości propagacyjne i są dość wrażliwe na blokady. Istnienie sieci fal milimetrowych jako nakładki na tradycyjne sieci sub-6 GHz wymagałoby zmiany w konwencjonalnych technikach łączenia komórek. DUDe ma odegrać kluczową rolę w sieciach fal milimetrowych z kilku powodów. Ostatnie badania dotyczące ekspozycji na pole elektromagnetyczne wykazały, że aby być w zgodzie z obowiązkowymi granicami ekspozycji na częstotliwościach powyżej 6 GHz, maksymalna moc nadawania urządzeń musiałaby zostać zmniejszona o kilka dB poniżej konwencjonalnych poziomów mocy w obecnych sieciach komórkowych. Ma to znaczący wpływ na UL; ponieważ zasięg UL zależy od mocy nadawczej urządzeń, a ponieważ mmWaves mają niekorzystne właściwości propagacyjne, zmniejszenie mocy transmisji urządzeń może spowodować poważne pogorszenie jakości łącza w UL. Możliwym rozwiązaniem tego problemu byłoby odseparowanie UL i DL, gdzie dla niektórych UE UL

będzie obsługiwany przez MCH UHF o lepszym budżecie łącza, podczas gdy DL będzie obsługiwany z SCells mmWave. To znaczy, podczas gdy poprzednio DUDe omawiano w kontekście łączenia UE z MCells w DL i SCells w UL, dla mWaves może okazać się użyta przeciwna strategia. Ponadto oczekuje się, że ogniwa mmWave mają bardzo ograniczony obszar pokrycia, w związku z czym konwencjonalne techniki łączenia oparte na mocy odbieranej przez DL pozostawiłyby ogniwa mmWave w niewielkim stopniu niewykorzystywane, biorąc pod uwagę ogromną ilość widma dostępnego w pasmach fal milimetrowych. Rozgałęzienie SCC lub rozszerzenie zakresu to technika wprowadzona w wydaniu 10 LTE, w której skutecznie stosuje się do SCells polaryzację selekcji komórek w celu zwiększenia zasięgu SCell i poprawy ich efektu rozładowania. Podobne podejście można zastosować w przypadku fal milimetrowych, aby rozwiązać wspomniany powyżej problem, stosując agresywne wartości rozszerzania zakresu w celu przyciągnięcia jak największej liczby UE, w celu wykorzystania dużych fragmentów widmowych dostępnych na częstotliwościach fal milimetrowych. DUDe będzie odgrywać ważną rolę w tej konfiguracji, ponieważ pozwoli ustawić różne wartości rozszerzenia zasięgu dla UL i DL, aby spełnić wymagania obu łączy. Na przykład, jeśli UL musi być wysoce niezawodny, podczas gdy DL może być mniej niezawodny, ale bardziej wymagający pod względem przepustowości, można zastosować wysoką wartość rozszerzenia DL SCell, nie stosując żadnego zakresu rozszerzenia w UL. Dlatego DUDe oferuje elastyczność, aby zaspokoić różne potrzeby UL i DL w scenariuszach fal milimetrowych.

#### **9.5.4 Różne techniki duplexowania**

DUDe może działać zarówno z FDD jak i TDD, z różnymi implikacjami od a poziom systemu i punkt widzenia widma. TDD zapewnia znacznie większą elastyczność w handlu zasobami DL i UL w porównaniu do FDD. W przypadku DUDe wykazano, że potrzeba mniej zasobów UL, aby uzyskać tę samą wartość UL w porównaniu z operacją sprzężoną. Może to prowadzić do tego, że DUDe ma pozytywny wpływ na wskaźnik DL, umożliwiając DL korzystanie z większej ilości zasobów za pośrednictwem dynamicznego TDD. Kolejną zaletą TDD jest możliwość estymacji kanału DL za pomocą sygnałów referencyjnych UL. Jest to bardzo ważne szczególnie dla kanałów o dużej wymiarowości, jak w przypadku masywnego MIMO. Jednakże, gdy stosuje się DUDe, ta wzajemność jest przerywana, ponieważ transmisje DL i UL pochodzą i kończą się na różnych BS. Znaczna część istniejącego widma to sparowane widmo FDD, dlatego z tych dwóch powodów masywny MIMO może wymagać wsparcia bez wzajemności kanału. W perspektywie średnio- i długoterminowej DUDe wraz z różnymi nowymi trendami technologicznymi może doprowadzić do ponownego przemyślenia tradycyjnych paradygmatów FDD / TDD. DUDe, hiper-zagęszczanie, wykorzystanie częstotliwości fal milimetrowych i wysoce kierunkowych anten, może pozwolić na dwustronne podejście do dziedziny przestrzeni. Na przykład, to samo pasmo może być używane dla dwóch różnych urządzeń zlokalizowanych w różnych lokalizacjach, jednego odbierania w DL od pewnego BS, a drugiego transmitującego w UL do innego BS. Przestrzenny skoordynowany mechanizm szeregowania UL / DL skutecznie umożliwiłby uzyskanie pełnego duplexu, bez skomplikowanych mechanizmów eliminacji interferencji w trybie pełnego duplexu. Ponadto, gdy analogowe / cyfrowe mechanizmy interferencyjne są realizowane w celu obsługi pełnego czasowego duplexu, DUDe może być korzystny, ponieważ umożliwia uogólniony odłączony dostęp, który umożliwiłby obsługę DL i niekoniecznie tego samego użytkownika UL w tym samym paśmie częstotliwości.

#### **9.6 Włączanie architektury sieci dostępu radiowego do oddzielenia**

Konfiguracja sieci dostępowej wiąże się z kilkoma problemami, umożliwiającymi korzystanie z odłączonych połączeń, przy zachowaniu zakłóceń i efektywności energetycznej na rozsądnych poziomach. Trzymanie więcej niż jednego połączenia UL jest mniej energooszczędne dla użytkowników, którzy są umieszczeni w pobliżu krawędzi komórki, które są bardziej prawdopodobne,

aby oddzielić; również użycie jednego nośnika do przesyłania wyłącznie sygnałów sterujących doprowadzi do słabej wydajności widmowej. W szczególności, najtrudniejszą częścią opracowywania architektur wspierających DUDe jest to, że zwiększona ilość informacji kontrolnych musi być zasygnalizowana z powrotem do odpowiedniej obsługującej komórki. 3GPP zaproponował kilka architektonicznych alternatyw dla podwójnej łączności DL, a architektura wymagana do obsługi agregacji U-Plane z różnych eNB powinna być bardzo podobna do architektury podwójnej łączności, w oparciu o koncepcję podziału na nośnik. Alternatywnie, te architektury, które umożliwiają całkowite odłączenie UL i DL, powinny wspierać możliwą współpracę między obydwojma obsługującymi komórkami, nie zagrażając jednocześnie poprawie UL pod względem niezawodności i wydajności. Aby to osiągnąć, konieczne jest zapewnienie dostarczania sygnałów kontrolnych warstwy 1 i 2 przy zachowaniu opóźnienia RAN .

### 9.6.1 Procedury sieciowe

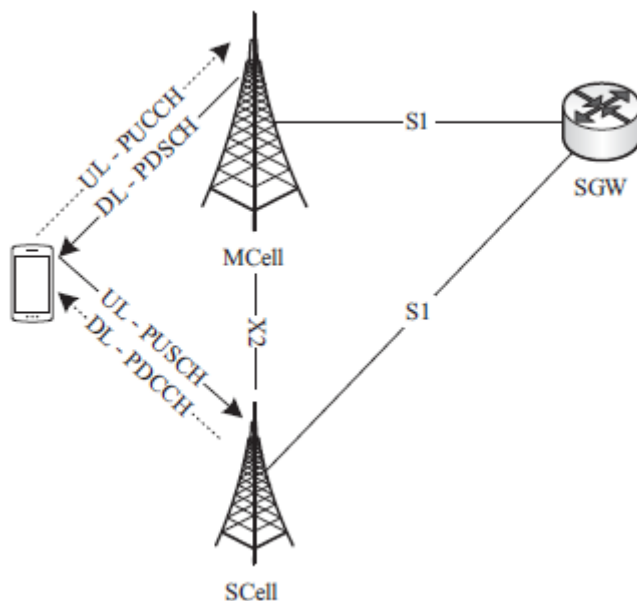
Gdy UE uzyskuje dostęp do systemu i łączy się z eNB, kontrola zasobów radiowych połączenie jest skonfigurowane. RRC jest protokołem, który obsługuje całą sygnalizację płaszczyzny sterowania warstwy 3 pomiędzy UE i EUTRAN. Wśród różnych zadań, RRC odpowiada za konfigurację połączenia, ustalanie i uwalnianie nośnika radiowego, procedury mobilności i konfigurację mechanizmów kontroli mocy. Ilość zasobów, które RRC zużywa dynamicznie zmienia się w zależności od typu ruchu komórkowego, liczby obsługiwanych UE i liczników czasu połączenia. Krótkie wartości licznika czasu generują wysoki koszt sygnalizacji RRC, podczas gdy wartości wysokokanałowe powodują złe korzystanie z trybu bezczynności. Kanały kontrolne warstwy 1 i warstwy 2 są kluczowe dla obsługi transmisji danych płaszczyzny użytkownika. Kanały kontroli fizycznej PDCCH i PUCCH są odpowiedzialne za dostarczanie informacji związanych z aktywną transmisją, jako decyzje planowania lub potwierdzenia przesyłanej informacji, oraz informacje o stanie kanału w celu dokonania dokładnej adaptacji łącza. W szczególności, sygnały sterujące RAN, które mają ogromne znaczenie dla obsługi planowania i innych procedur warstwy MAC, to:

- informacje sterujące przesyłane w PUCCH: DL CQI, raporty o stanie bufora, żądania planowania i raporty o zapasach mocy;
- informacje sterujące w łączy w dół (DCI) przesyłane w PDCCH odpowiedzialne za wskazywanie, między innymi, fizycznych bloków zasobów UL i DL transmisji (UL-SCH i DL-SCH), jak również formularzy adaptacyjnych łącza i mocy transmisji dla UL ;
- komunikaty potwierdzające HARQ w łączy w dół przesyłane w kanale wskaźnika Physical Hybrid-ARQ (PHICH); i
- Komunikaty RRC, które konfiguruje połączenie i zwolnienie UE, jak również
- Pozycja i zasoby PUCCH oraz SRS dla informacji o stanie konfiguracji kanału UL.

Wśród wszystkich tych informacji kontrolnych, najbardziej rygorystyczna pod względem opóźnienia wymaganiem jest HARQ RTT, który wynosi około 8 ms, biorąc pod uwagę informacje przetwarzania po obu stronach i transmisja ramek. HARQ w UL następuje po procesie synchronicznym: z periodycznością 8 podramek wykorzystywany jest ten sam proces identyfikacyjny HARQ i nie są wymieniane jawne informacje o identyfikatorze procesu. Oznacza to, że istnieje ścisła zależność między numerem podramki i identyfikatorem procesu HARQ, co powoduje znaczne opóźnienia, jeśli jedno z potwierdzeń nie może być wysłane w odpowiedniej podramce. Architektura, która umożliwia korzystanie z DUDe, będzie tą, która minimalizuje opóźnienie w procesie synchronizacji potwierdzenia i zapewnia utrzymanie RAN RTT.

### 9.6.2 DUDe z połączeniami pomocniczymi

Zastosowanie wspierających połączeń UL i DL w celu przesyłania sygnałów sterujących jest natychmiastowym rozwiązaniem umożliwiającym wdrożenie DUDe. Terminal jest podłączony do obu komórek i agreguje przepływy danych; w ten sposób cała warstwa sygnalizacyjna 1 / warstwa 2 i RRC może być obsługiwana lokalnie. Prosty sposób na obsługę tego jest użycie CA, gdzie każdy komponent nośny jest skonfigurowany osobno do przenoszenia współdzielonego i kontrolnego kanału. Ta konfiguracja jest pokazana na rysunku 9.12.



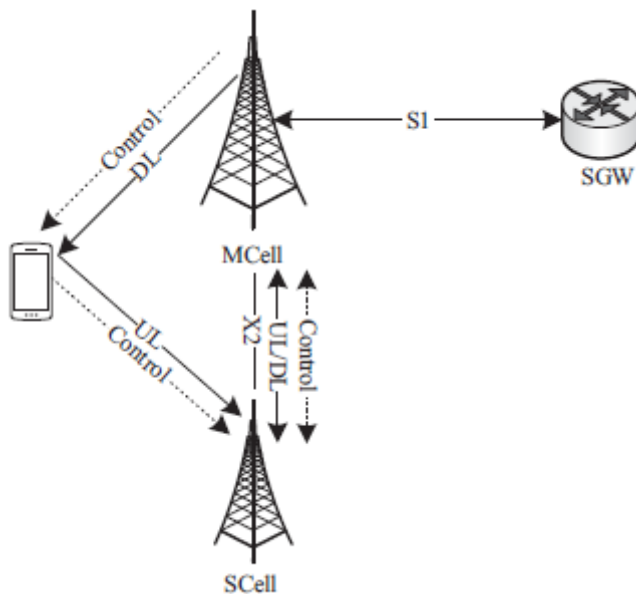
To rozwiązanie pozwala utrzymać opóźnienie RAN na pożądanym poziomie, ponieważ nie wprowadza się sensownego opóźnienia. Jednak potencjalnymi wadami tej konfiguracji są: po pierwsze, posiadanie dwóch równoczesnych połączeń UL może poważnie zagrozić wydajności UL pod względem efektywności energetycznej w UE. Po drugie, ta konfiguracja nie maksymalizuje pojemności w dostępnym widmie, ponieważ nośnik jednego komponentu jest wykorzystywany wyłącznie do obsługi informacji sterujących.

### 9.6.3 Podział na użytkownika płaszczyzny dla DUDe

Najnowsze wydania LTE-A (wydania 12 i 13) rozważają nowe alternatywy dla architektury dla podwójnej łączności, wraz z wprowadzeniem nowej koncepcji podziału nośnika, alternatywy, która ułatwia posiadanie dwóch jednoczesnych transmisji w różnych eNB, na przykład MCell i SCell [ 4]. Z drugiej strony, możliwość UL przyjęcia podziału na okaziciela można argumentować w kategoriach zużycia energii, a dane UL powinny być albo przekazywane bezpośrednio do MCell, albo przesyłane do MCell przez SCell. W związku z tym, w kontekście DUDe, pomoc w połączeniach PUSCH lub PUCCH nie może być realizowana w MCell; a połączenia PDSCH i PDCCH nie mogą być wykonywane w SCell. Brak informacji o sterowaniu sygnalizowanych z powrotem do odpowiedniej komórki obsługującej za pośrednictwem interfejsu użytkownika (tj. Z wykorzystaniem obsługujących połączeń UL i DL), dostarczanie sygnalizacji warstwy 1 i warstwy 2 i RRC opiera się na nieidealnym połączeniu dosyłowym, interfejsie X2, między obydwojema obsługującymi komórkami. Zgodnie z architekturą LTE rozproszonych komórek i wykorzystaniem koncepcji podziału na okaziciela powstają dwa możliwe rozwiązania w celu rozłączenia:

1. Nośnik radiowy jest zarządzany w bramce obsługującej (SGW), a DL przepływa przez S1 z SGW do MCell, a UL przepływa przez S1 do SGW z SCell. Ta opcja zmniejszyła kontrolę przepływu między obsługującymi eNB, ponieważ tylko część sygnałów sterujących, na przykład potwierdzenia HARQ, musi być przekazywana przez X2. Architektura w dużej mierze jest zgodna z tą na rysunku 9.12, gdzie przepływ informacji dla DL i UL przebiega przez interfejs S1.

2. Nośnik radiowy jest zarządzany w MCell, więc konfiguracja jest MAC urządzenia master / slave dla sprzężenia zwrotnego sterowania UL i DL. Oznacza to, że jednostki MAC PDU w czasie rzeczywistym muszą być przekazywane do odpowiedniego eNB poprzez interfejs backhaul X2, z zachowaniem wymogu czasu w obie strony HARQ 8 ms. Konfiguracja master / slave dotyczy UL i DL, a przetwarzanie każdej jednostki MAC PDU odbywa się w odpowiedniej komórce. Rysunek 9.13 pokazuje schemat przepływu informacji dla DL i UL.



Obie konfiguracje pozwalają zmaksymalizować wykorzystanie widma, ponieważ wszystkie nośniki mogą być skonfigurowane do przesyłania informacji U-Plane. Obecne heterogeniczne sieci stanowią duże wyzwanie, aby sprostać RAN RTT ustalonemu w procesie HARQ, ponieważ spodziewane są opóźnienia w zakresie od 5 ms do 30 ms w interfejsie X2. Podobnie jak w przypadku płaszczyzny użytkownika, płaszczyzny kontrolnej, która umożliwia pełny DUDe jest analizowany na podstawie architektury protokołu RRC przedstawionej dla podwójnej łączności. Przedstawiono dwie alternatywy:

- Na podstawie wcześniejszych negocjacji parametrów pomiędzy SCell i MCell MCell generuje końcowy komunikat RRC. Ta alternatywa jest dobra, ponieważ tylko jedno połączenie RRC jest aktywne, ale wymaga wspomagającego połączenia UL z MCell.
- W tym przypadku komunikat RRC jest budowany przez SCell na podstawie parametrów wejściowych dostarczonych przez MCell. To rozwiązanie zwiększa złożoność po stronie UE, ponieważ wymaga obsługi równoległych procedur RRC

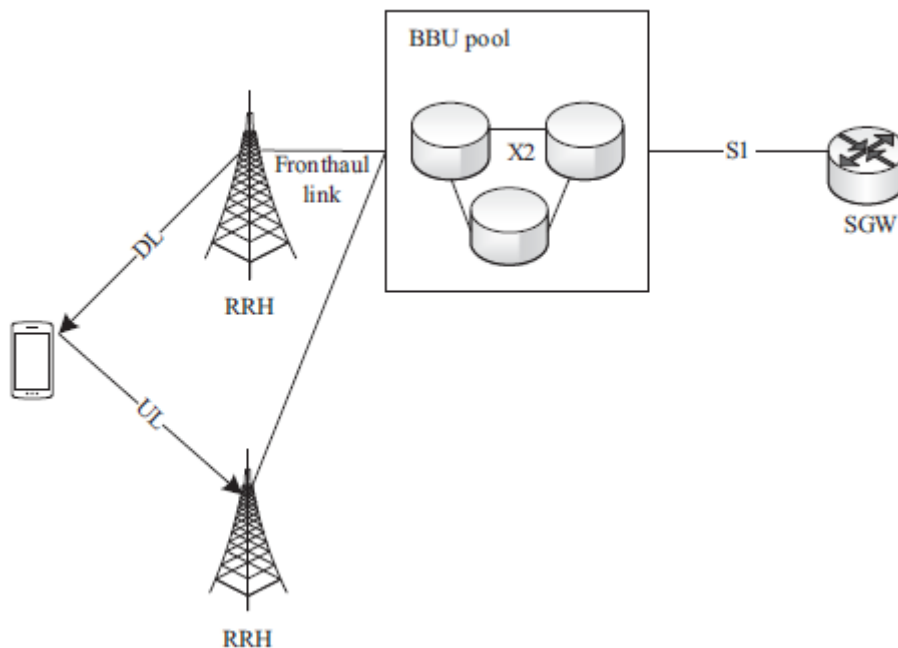
W świetle tego, całkowite oddzielenie UL i DL stanowi ogromny wysiłek w połączeniu RRC.

#### 9.6.4 Rozwiązanie scentralizowane

Poprzednie rozwiązania architektoniczne przedstawiają ograniczenia pod względem wykorzystania widma, wydajności energetycznej i wymagań dotyczących czasu oczekiwania. Jeśli oba eNB, MCell i



SCell, mogą współdzielić tę samą jednostkę BBU, wówczas można zakończyć obsługę DUE i zminimalizować większość dotychczasowych jej wad. Koncepcja pod wspólnym udostępnianiem BBU jest scentralizowaną architekturą, znaną również jako C-RAN, która przerywa statyczną relację między BBU i RRH, a każdy RRH nie musi być mapowany z jednym konkretnym BBU. W szczególności sygnały radiowe z / do RRH mogą być przetwarzane przez wirtualny eNB, co ułatwia między nimi wzmocnioną współpracę w czasie rzeczywistym. W związku z tym technologia wirtualizacji (wirtualizacja funkcji sieciowych, NFV) zmaksymalizuje elastyczność sieci RAN, umożliwiając różne poziomy skoordynowanych transmisji lub oddzielnych skojarzeń. Rysunek 9.14 pokazuje architekturę C-RAN dla DUE.



Architektura C-RAN musi wykorzystywać nowy interfejs fronthaul, który umożliwia komunikację między RRH i BBU, co może potencjalnie zwiększyć opóźnienie RAN. Można rozpoznać różne opcje podziału funkcjonalnego protokołu, które zmieniają wymagania dotyczące opóźnień i pojemności w interfejsie fronthaul. Korzyścią jest zlokalizowanie części funkcji przetwarzania sygnałów w pobliżu RRH, wymagania dotyczące przepustowości i opóźnienia są doprowadzane do poziomu, który może być spełniony przez opłacalne sieci transportowe (tj. Ciemne włókna, technologie bezprzewodowe lub inne) oraz w tym samym czasie umożliwiać stosowanie ulepszonych procedur zarządzania zasobami radiowymi w ramach współpracy. Realistyczne opóźnienia fronthaul mogą mieć zakres od 250 ms do 4 ms

Kiedy RRH obsługujący DL i RRH obsługujący UL mają tę samą BBU, utrzymywane jest jedno połączenie RRC. Aby przyjąć tę sytuację, BBU ma jeden pojedynczy identyfikator komórki fizycznej (PCI).

#### 9.6.5 Na drodze do architektur opartych na 5G

W następnych kilku latach nastąpi gwałtowny wzrost liczby badań i rozwoju

obszary 5G. ITU i 3GPP rozszerzają swoją działalność o wymagania i standaryzację 5G, która ma zostać wprowadzona na rynek na początku 2020 roku. Ponadto wzrasta zgodność co do głównych wymagań 5G dotyczących pojemności i opóźnień, a także kluczowych cech technicznych 5G, w tym zagęszczania

stacji bazowych, masywnego MIMO, częstotliwości fal milimetrowych i prawdopodobnie "bezkomórkowych". "architektura. Czy w tym widoku 5G nowy standard 5G musi zawierać dodatkowe funkcje, aby natywnie obsługiwać DUDe? Ważnym pytaniem, na które należy odpowiedzieć, jest to, czy prosta ewolucja obecnego projektu architektury 3GPP byłaby w stanie skutecznie wspierać DUDe w przyszłych heterogenicznych wdrożeniach 5G. W poprzednich podrozdziałach podjęto dyskusję, w jaki sposób architektura LTE-A obsługuje już implementację DUDe, gdy różne stacje BS są połączone za pośrednictwem światłowodu z tą samą jednostką pasma podstawowego. Omówiono także, w jaki sposób wsparcie DUDe w 4G może być ograniczone do różnych częstotliwości w przypadku agregacji nośnej lub podwójnej łączności. Intuicyjnie, wszelkie przyszłe wydania 5G w 3GPP powinny umożliwiać dwukierunkową łączność o tej samej częstotliwości, która, pomimo wpływu na zarządzanie zasobami i zakłóceniami, nie jest uważana za poważną aktualizację. Innym problemem, który należy rozwiązać, jest zapewnienie właściwego szyfrowania wszystkich danych i kanałów sterujących, zwłaszcza gdy komunikacja między interfejsami X odbywa się za pośrednictwem interfejsu X2. W LTE każda stacja bazowa może obsługiwać dziesiątki tuneli IP Security (IPSec). Jednak zarządzanie bezpieczeństwem za pośrednictwem protokołu IPSec jest tak problematyczne, że operatorzy zwykle wdrażają tylko kilka bramek IPSec w poszczególnych krajach, w których większość bramek jest rozmieszczonych w pobliżu SGW. Oznacza to, że ruch logicznie przebiegający przez X2 jest faktycznie kierowany przez SGW, co powoduje duże opóźnienie, które powoduje, że operacja DUDe jest raczej nieefektywna. Podczas gdy LTE-A ma więcej bramek IPSec rozmieszczonych bliżej krawędzi mobilnej, projekty architektury 5G muszą rozważyć wydajne szyfrowanie ruchu X2 w celu zmniejszenia dodatkowego opóźnienia w 4G. Ponadto niektóre prace integracyjne są potrzebne w przypadku niektórych nowych technik, które okazały się skuteczne w przypadku systemów sprzężonych. Integracja DUDe z odsprężonymi płaszczyznami sterowania / danych i dostępem wspomaganym licencją (LAA) będzie wymagać pewnych zmian w architekturze. Samoorganizujące się sieci (SON) będą również pomocne w zarządzaniu i koordynowaniu zwiększonej swobody wprowadzonej przez DUDe. Biorąc pod uwagę powyższą dyskusję, można stwierdzić, że natywne wsparcie DUDe nie wymaga dużych zmian konstrukcyjnych w 5G z perspektywy architektonicznej

### **9.7 Wyzwania DL / UL i możliwości dla wyższych warstw**

W tej sekcji główny nacisk położono na warstwę transportową, w szczególności na TCP, biorąc pod uwagę, że jest to powszechnie stosowany protokół warstwy transportowej w celu uzyskania niezawodnego transferu danych między końcami w sieciach opartych na protokole IP. Pomimo tego, że TCP został początkowo zaprojektowany dla aplikacji elastycznych, jest on obecnie powszechnie stosowany w różnych popularnych aplikacjach do przesyłania strumieniowego. Warto zauważyć, że Real Media i Windows Media, dwie dominujące aplikacje do przesyłania strumieniowego, oparte są na strumieniu TCP. Tutaj omawiamy wyzwania w wyższej warstwie i TCP w dwóch aspektach: Po pierwsze, wpływ kanału UL na wydajność TCP, a po drugie, wsparcie dostępne w TCP w celu umożliwienia dekompresji DL / UL. W tej sekcji obie strony argumentacji są szeroko opracowane, a na główne pytania odpowiedziano:

1. Jak asymetria DL / UL może wpływać na wydajność TCP?
2. Jakie są efekty alokacji wspólnych zasobów DL / UL na TCP?
3. Jakie są efekty DUDe na TCP?
4. Jak DUDe można włączyć za pomocą dostępnych mechanizmów w TCP?

#### **9.7.1 Wpływ UL na działanie wyższych warstw**

Połączenia TCP, jako z natury dwukierunkowe, wymagają od odbiornika potwierdzenia ACK w celu uzyskania niezawodnej komunikacji. Z jednej strony, powszechne założenie w sieciach centralnych danych polega na tym, że DL przenosi większe obciążenie danych, w ten sposób określona jest mniejsza szerokość pasma dla ścieżki UL. Z drugiej strony pomiary kanałów są przeprowadzane w oparciu o kanał DL. Co więcej, w wielu dzisiejszych aplikacjach, takich jak MTC, nadawca może być terminalem mobilnym, który różni się od tradycyjnych aplikacji, a zatem pojemność UL odgrywa ważną rolę. Wpływ asymetrii łącza na wydajność TCP jest szeroko badany w sieciach przewodowych. Ograniczona dostępna przepustowość i przeciążenie na ścieżce zwrotnej narusza zasadę taktowania ACK i może powodować wzrost częstotliwości RTT, co może zmniejszyć przepustowość TCP na ścieżce do przodu. Kilka prac badawczych bada te problemy i zaproponowano szereg rozwiązań. Niektóre z tych propozycji wymagają jednoznacznego wsparcia routerów lub pośrednich, podczas gdy inne są schematami od końca do końca. Na przykład próby kontroli przeciążenia ACK w celu zmniejszenia natężenia wysyłania ruchu ACK przy założeniu, że obniżenie stawki ACK może pomóc w zmniejszeniu samego przeciążenia. W zakresie komunikacji mobilnej i bezprzewodowej wiele pracy poświęcono optymalizacji działania w kanale DL sieci bezprzewodowych, takich jak na przykład doskonalenie mechanizmu świadomości o zatłoczeniu, tak aby minimalizować wpływ losowych strat bezprzewodowych i optymalizować osiągnięty poziom uczciwości end-to-end częstości TCP. Ograniczona ilość badań w rzeczywistości odnosi się do wpływu takiego braku równowagi na wydajność TCP. W związku z tym ograniczona pojemność lub niższa jakość kanału na ścieżce nie wpłynie negatywnie na wydajność od końca do końca. To rozwiązanie może być zaimplementowane przez dodanie jednego bitu w opcjonalnej części nagłówka TCP w celu wyjaśnienia stanu kontroli przeciążenia, w której działa TCP, tj. Unikania przeciążenia lub powolnego uruchamiania.

#### **9.7.1.1 Modyfikacje sterowania przeciążeniem TCP**

Rdzeniem algorytmu sterowania przeciążeniami TCP jest powolny start i przeciążenie faza unikania. W powolnym starcie przepustowość przepływu TCP zależy od rzeczywistej wartości CW i RTT. Z drugiej strony, przepustowość w fazie unikania przeciążenia może być wyrażona przez przepustowość TCP w stanie ustalonym. Wprowadzenie nowej flagi w nagłówku TCP, flaga SS / CA, może zilustrować aktualny stan TCP, tj. SS / CA równe zero reprezentuje bycie w Slow Start, a jedno jest w Unikaniu zatorów.

#### **9.7.1.2 Sterowanie korkiem TCP i przydział zasobów DL / UL**

Podczas gdy mechanizmy alokacji zasobów zwykle uwzględniają tylko DL, często przydatne jest rozważenie wspólnego problemu przydziału DL / UL. Takie techniki przydzielania mogą zapewnić dynamiczną granicę między pojemnością łącza DL a przepustowością UL, w celu wydajniejszej alokacji całkowitej ilości zasobów. Ta proporcja może być definiowana dynamicznie w oparciu o różne ograniczenia systemowe, aby zagwarantować wymaganą QoS. Aby w pełni zilustrować wspólną alokację zasobów, tutaj szczegółowo opisano problem alokacji zasobów OFDMA, który jest również ograniczony wymaganiami dwukierunkowego połączenia TCP, tak, że zapewnione jest dostarczanie pakietów TCP ACK dla określonej przydzielonej przepustowości do DL. . Problem alokacji zasobów DL per se może mieć na celu maksymalizację sumy uzależnionej od zużycia energii, minimalizację całkowitego zużycia energii przy jednoczesnym spełnieniu wymagań minimalnej stawki, rozważenie pewnego stopnia QoS lub uczciwości. Tutaj omawiany jest wspólny przydział zasobów DL / UL, aby zapewnić maksymalną przepustowość w DL, a także zagwarantować dostarczanie pakietów DL z odpowiednią szybkością transmisji danych na UL. Cel schematu alokacji DL przedstawiono w dwóch wariantach. Pierwszy zdefiniowany problem, tj. (P1), ma na celu maksymalizację szybkości sumowania, ograniczonej do proporcjonalnej szybkości przesyłania danych w każdym pojedynczym strumieniu TCP. Współczynnik proporcjonalności jest ważony teoretyczną przepustowością TCP, która jest przepustowością, którą może osiągnąć przepływ TCP, w zależności od końcowego RTT i PER

odpowiedniego przepływu - tę przepustowość można uznać za rzeczywistą przepustowość ścieżka od końca do końca. W drugim problemie, tj. (P2), badana jest różnica między przydzielonym łączem bezprzewodowym a teoretyczną przepustowością TCP. (P2) ma na celu zmaksymalizowanie stawki sumy przy jednoczesnej minimalizacji luki między przydzieloną szybkością transmisji danych a każdym przepływem i teoretyczną przepustowością, którą można uzyskać dzięki przepływowi TCP.

### 9.7.1.3 Formułowanie przydziału zasobów OFDMA - (P1)

Sformułowany problem optymalizacji (P1) ma na celu zmaksymalizowanie stopy sumy wskaźnika DL, podczas gdy uczciwość TCP jest zapewniona przez nałożenie zestawu nieliniowych ograniczeń na problem. Innymi słowy, proporcjonalna stawka DL wśród użytkowników w odniesieniu do teoretycznej przepustowości TCP podlega ograniczeniom. W UL, zakładając odbiornik TCP potwierdza każdy pojedynczy pakiet, minimalna wymagana szybkość transmisji danych byłaby proporcją szybkości transmisji danych DL dla każdego określonego przepływu TCP w zależności od rozmiaru pakietu ACK, który można zwiększyć na przykład przy użyciu opcji SACK,

$$R_{u_i} \geq \rho R_{d_i}, \text{ i.e., } 0 < \rho < 1.$$

$$(P1) : \text{Maximize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} w \log_2 \left( 1 + \frac{P_{ij} G_{ij}}{\sigma^2 c_3} \right),$$

$$\text{subject to : } \sum_{i=1}^n a_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} p_{ij} \leq P_T, \quad (9.2)$$

$$\sum_{j=1}^m (1 - c_j) a_{ij} p_{ij} \leq P_t, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (9.3)$$

$$\frac{R_{d_i}}{B_i} = \frac{R_{d_1}}{B_1}, \quad \forall i \in \{2, \dots, n\} \quad (9.4)$$

$$R_{u_i} \geq \rho R_{d_i}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (9.5)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j \leq m_d, \quad m_d \in \{1, \dots, m\}, \quad (9.6)$$

$$p_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.7)$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.8)$$

$$c_j \in \{0, 1\}. \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.9)$$

W (P1), pomimo klasycznych podejść w maksymalizacji przepustowości, podnośne  $a_{ij}$  i moc nad każdą podnośną ( $p_{ij}$ ) są przydzielane w taki sposób, aby pewne metryki wydajności TCP są gwarantowane. Te wskaźniki wydajności są dostarczane za pośrednictwem ograniczeń opisanych poniżej. Ograniczenia (9.1) zapewniają, że każdy podnośnik jest przypisany tylko jednemu użytkownikowi. Zakładamy, że  $c_j$  reprezentuje przydział podnośnej  $j$  do DL ( $c_j = 1$ ) lub UL ( $c_j = 0$ ). W ten sposób ograniczenia (9.2) i (9.3) ograniczają całkowitą dostępną moc w stacji bazowej,  $P_T$  i przy każdym użytkowniku mobilnym,  $P_t$ . Co więcej, ograniczenie (9.4) zapewnia sprawiedliwość wśród przepływów TCP z zachowaniem proporcjonalnej szybkości w odniesieniu do przepustowości TCP dla każdego użytkownika. Ograniczenie (9.5) zapewnia wymaganą szybkość transmisji danych dla UL, aby zagwarantować

dostarczenie przydzielonych zasobów DL, a na koniec ograniczenie (9.6) ogranicza liczbę podnośnych DL do md. Zauważ, że optymalną wartość md można znaleźć rozwiązując problem (P1) iteracyjnie dla różnych wartości md.

#### 9.7.1.4 Sformułowanie przydziału zasobów OFDMA - (P2)

Podobny do (P1), (P2) ma na celu maksymalizację stopy sumy DL, ale chwilowy przydział szybkości jest ograniczany przez teoretyczną przepustowość TCP. Różnica między przydzieloną stopą DL dla ego użytkownika a teoretyczną przepustowością TCP przepływu i jest oznaczona przez  $D_i$ :

$$D_i = |\alpha B_i - R_{d_i}|. \quad (9.10)$$

W (9.10),  $\alpha$  reprezentuje narzut nagłówka TCP / IP. Problem przydziału zasobów w tym przypadku próbuje zminimalizować  $D$  przy maksymalizacji stopy sumy. Dlatego (P2) można zdefiniować jako problem optymalizacji wielu celów. Tam są różne podejścia do sformułowania takiego problemu o wielu celach; używamy dobrze zbadanego podejście, które łączy wiele celów w jeden cel funkcja, której rozwiązanie jest optymalne dla Pareto:

$$(P2) : \text{Maximize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} w \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij} G_{ij}}{\sigma^2 c_3} \right) - \mu \sum_{i=1}^n D_i.$$

$$\text{subject to: } \sum_{i=1}^n a_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} p_{ij} \leq P_T, \quad (9.12)$$

$$\sum_{j=1}^m (1 - c_j) a_{ij} p_{ij} \leq P_i, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (9.13)$$

$$R_{u_i} \geq \rho R_{d_i}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (9.14)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j \leq m_d, \quad m_d \in \{1, \dots, m\}, \quad (9.15)$$

$$p_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.16)$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.17)$$

$$c_j \in \{0, 1\}. \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (9.18)$$

Ograniczenia (9.11) - (9.18) są takie same jak (9.1) - (9.3) i (9.5) - (9.9). Jak wspomniano powyżej, problem (P2) ma optymalne rozwiązanie Pareto; dlatego rozwiązanie nie jest unikalne i zależy od wartości  $\mu$ , która równoważy oba cele. W powyższym problemie, zwiększenie wartości  $\mu$  przesunie salda alokacji w kierunku przepustowości TCP, przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości  $\mu$  przesunie równowagę w kierunku problemu maksymalizacji szybkości danych.

#### 9.7.1.5 Wyszukiwanie rozwiązań dla (P1) i (P2)

Dobrze stosowaną metodą rozwiązywania problemów z optymalizacją wielu zmiennych jest odseparowanie problemu, tj. przydzielenie  $a_{ij}$  i  $p_{ij}$  osobno. W przydzielaniu nośnej, zakłada się, że moc jest równo rozłożona na wszystkich podnośnych, dlatego rozwiązanie jest nieoptymalne. Następnie do

pewnej alokacji podnośnej można przeformułować problem optymalizacyjny w stosunku do zmiennej ciągłej  $p_{ij}$ . Tak więc, stosując metodę napełniania wodą, moc będzie rozkładana optymalnie. Zasada działania algorytmu DL polega na alokacji podnośnej o najwyższym dostępnym kanale dostępnym dla każdego użytkownika. Ponadto, w pierwszej rundzie przydzielania, użytkownicy o najwyższej teoretycznej przepustowości TCP (największej wartości  $B_i$ ) są pierwszymi, którzy wybierają podnośną. Następnie, w każdej rundzie alokacji, przy rozwiązywaniu problemu (P1) użytkownicy o najniższej proporcjonalnej szybkości mają pierwszeństwo wyboru najlepszej dostępnej podnośnej. Ten etap wykonuje inny problem (P2), tj. Użytkownik z najmniejszą funkcją celu wybiera następną podnośną. Przydzielanie podsioci w UL w obu problemach ma na celu spełnienie wymagań minimalnej stawki UL. Początkowa wartość  $m_d$  utrzymuje proporcję  $\rho$  między liczbą podnośnych DL i UL -  $m_d = m \cdot 1/1 + \rho$ . Następnie, w kilku powtórzeniach, zostanie znaleziona największa wartość  $m_d$ , która spełnia ograniczenia (9.4); wyraźnie ta wartość maksymalizuje funkcję celu. Powyższa procedura dla problemu (P1) jest wyszczególniona w algorytmie 1, w którym  $\Omega$  jest zbiorem przydzielonych podnośnych dla użytkownika  $i$  w DL, a  $\Psi_i$  jest zestawem alokowanych podnośnych dla tego użytkownika w UL. Algorytm 2 opisuje problem rozwiązywania przydziału podnośnych (P2), w którym etapy (a), (b), (d) i (e) są podobne do algorytmu 1, i tylko etap (c) jest przekształcany. Problemem alokacji mocy z predefiniowanym przydziałem podnośnych jest w oparciu o przeformułowanie (P1) na problem maksymalizacji w odniesieniu do zmiennej ciągłej  $p_{ij}$  (podobnie dla (P2)).

#### Algorytm 1 Algorytm alokacji podnośnej dla problemu optymalizacji (P1)

(a) Inicjalizacja

1.  $m_d = 1 / (1 + \rho \cdot m)$
2. Ustawiamy  $R_{di} = 0$  i  $\Omega_i = \emptyset$  dla  $i = 1$  do  $n$  i  $C_d = \{1 \dots m_d\}$
3. Ustawiamy  $R_{ui} = 0$  i  $\Psi_i = \emptyset$  dla  $i = 1$  do  $n$  i  $C_u = \{m_d + 1 \dots m_d\}$
4. sortujemy indeks użytkownika w porządku malejącym  $B_i$ .

(b) dla  $i = 1$  do  $n$

1. Znajdź podnośne  $k$  spełniające  $|G_{ik}| > |G_{ij}|$  dla wszystkich  $j \in C_d$ .
2. Niech  $\Omega_i = \Omega_i \cup \{k\}$  a  $C_d = C_d - \{k\}$
3. Aktualizujemy  $R_{di}$ .

(c) podczas gdy  $C_d \neq \emptyset$

1. Znajdź użytkownika  $l$  spełniającego  $R_{dl}/B_l < R_{di}/B_i$  dla wszystkich  $i \in \{1, \dots, n\}$
2. Dla użytkownika  $l$ , znajdź podnośną  $k$  spełniającą  $|G_{lk}| > |G_{lj}|$  dla wszystkich  $j \in C_d$
3. Niech  $\Omega_l = \Omega_l \cup \{k\}$  a  $C_d = C_d - \{k\}$
4. Aktualizujemy  $R_{dl}$ .

(d) dla  $i =$  do  $n$

1. Znajdź podnośną  $k$  spełniającą  $|G_{ik}| > |G_{ij}|$  dla wszystkich  $j \in C_u$
2. Niech  $\Psi_i = \Psi_i \cup \{k\}$  a  $C_u = C_u - \{k\}$
3. Aktualizujemy  $R_{ui}$

(e) podczas gdy  $C_u \neq \emptyset$

1. Znajdź użytkownika  $l$  spełniającego  $(R_{ui} - \rho R_{di}) < (R_{ui} - \rho R_{di})$  dla wszystkich  $1 \in \{1, \dots, n\}$
2. Dla użytkownika  $l$ , znajdź podnośną  $k$  spełniającą  $|G_{ik}| > |G_{ij}|$  dla wszystkich  $j \in C_u$
3.  $\Psi_l = \Psi_l \cup \{k\}$  a  $C_u = C_u - \{k\}$
4. Aktualizujemy  $R_{ui}$

(f) Jeśli  $\sum_{i=1}^n R_{ui} \geq \rho \cdot \sum_{i=1}^n R_{di}$ .

1. Znajdź największe  $m_d \in \{m_{d1}, \dots, m\}$  takie, że (9.5) jest spełnione
2. W przeciwnym razie znajdź największy  $m_d \in \{1, \dots, m_{d1}\}$ , takie, że (9.5) jest spełnione

#### Algorytm 2 Algorytm alokacji podnośnej dla problemu optymalizacji (P2)

(c) podczas gdy  $C_d \neq \emptyset$

1. Znajdź użytkownika  $l$  spełniającego  $R_{dl} - \mu D_l < R_{dl} - \mu D_l$  dla wszystkich  $i \in \{1, \dots, n\}$
2. Dla użytkownika  $l$ , znajdź podnośną  $k$  spełniającą  $|G_{ik}| > |G_{ij}|$  dla wszystkich  $j \in C_u$
3. Niech  $\Omega_l = \Omega_l \cup \{k\}$  a  $C_d = C_d - \{k\}$
4. Aktualizujemy  $R_d$

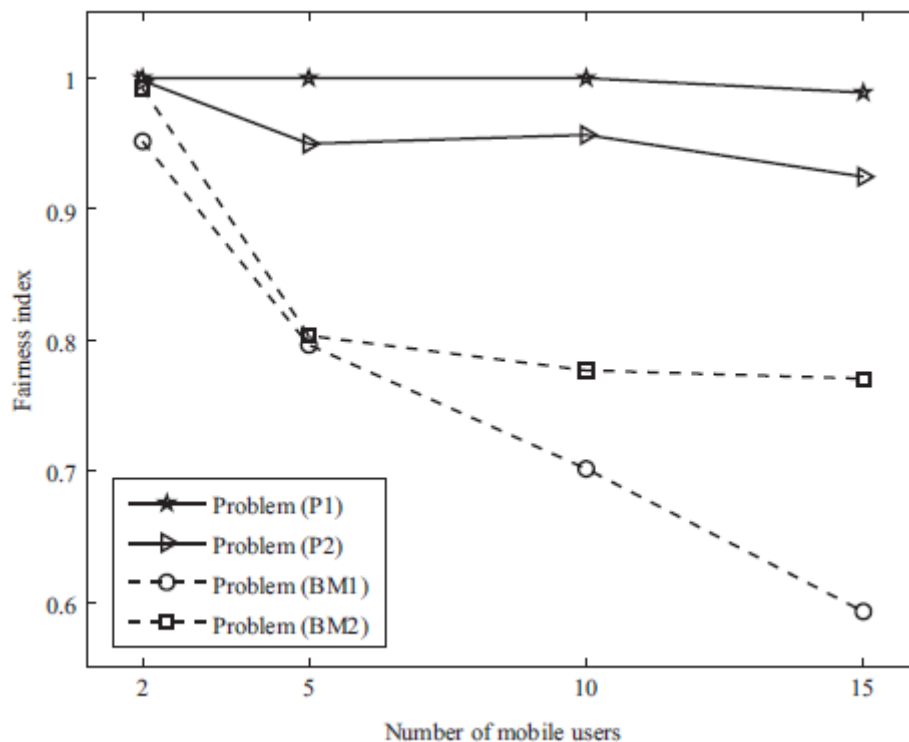
W algorytmach 1 i 2  $\Omega_{i1}$  i  $\Omega_{i2}$  wzajemnie się wykluczają, jeśli  $i_1 \neq i_2$ ; to samo założenie jest również ważne dla  $\Psi_i$ . Problem (P2) można również przepisać jako (P2') nad zmienną ciągłą  $p_{ij}$ .

#### **9.7.1.6 Zmniejszenie efektu UL na wydajność TCP**

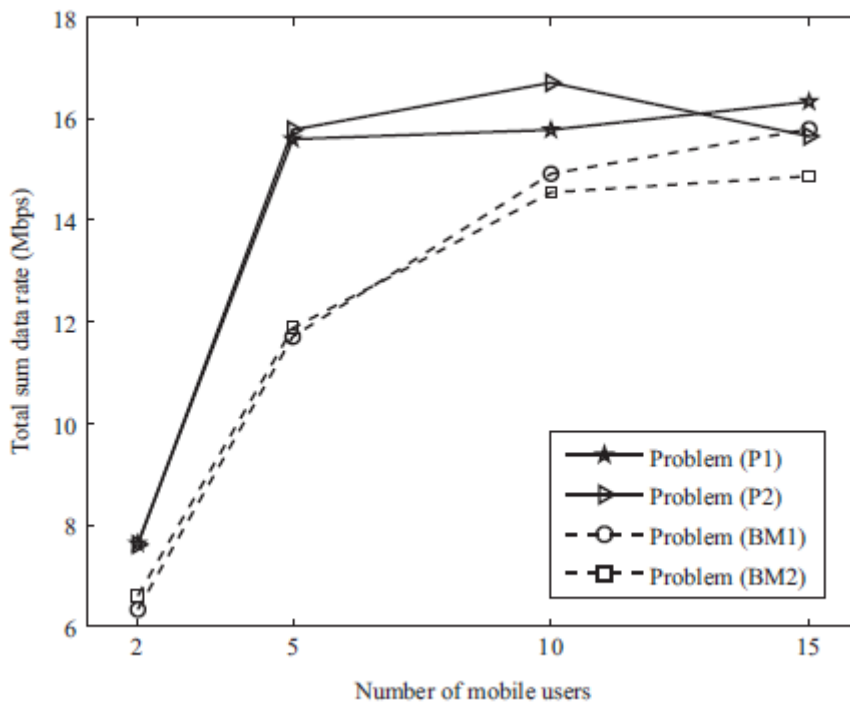
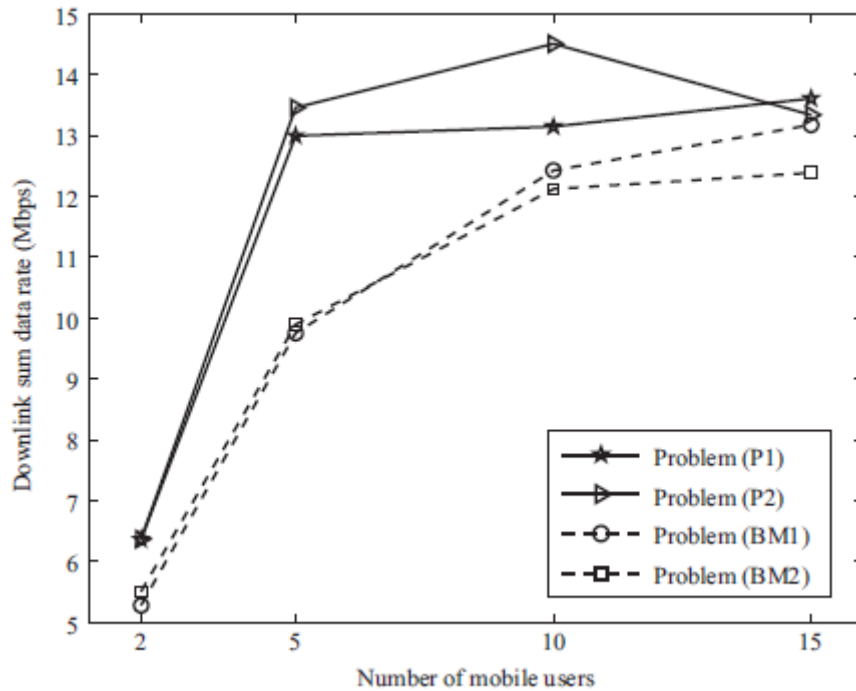
Oceny numeryczne przeprowadzane są za pomocą parametrów wymienionych w tabeli 9.1, w celu wykazania zmniejszonego wpływu nierównowagi UL na ogólne KPI systemu. Benchmarkami są problem z maksymalizacją stopy sum, oznaczony przez (BM1):

Pasmo	5 MHz
Całkowita liczba podnośnych OFDMA	52
Maksymalna moc na stacji bazowej	43 dBm
Maksymalna moc na urządzeniu mobilnym	23 dBm
Moc szumu cieplnego (hałas Johnson-Nyquist)	107 dBm
Docelowy BER	10E4
Średnia wartość SNR kanału bezprzewodowego	15 dB
Model kanału bezprzewodowego	pieszy model ITU
Maksymalny rozmiar segmentu TCP	1460 bajtów
Typ przepływu TCP	Długo trwający z SS / CA = 1
Liczba użytkowników mobilnych	1-15 użytkowników
Kompleksowy RTT	w [10 ms, 200 ms]

a także maksymalizacja szybkości sumowania z ograniczeniem o równej stopie, oznaczonym przez (BM2).  $m_d$  jest inicjowane z 32 podnośnymi dla DL, podczas gdy  $\rho = 0.2$ . Następnie w kroku (f) algorytmu 1 optymalna wartość  $m_d$  jest obliczana w kilku iteracjach. Dwa problemy z benchmarkami (BM1) i (BM2) działają przy  $m_d = 32$ ; w związku z tym porównanie wyników w tym przypadku głównie pokazuje, w jaki sposób osiąga się wydajność od końca do końca, ustawiając granicę między DL i UL dostosowującą się do aktualnego obciążenia systemu. Dwa badane wskaźniki KPI to przepustowość DL TCP, która również odzwierciedla przepustowość łącza UL i sprawiedliwość wśród przepływów TCP. Uczciwość jest określana ilościowo w oparciu o wskaźnik uczciwości Jaina, który jest dobrze wykorzystanym wskaźnikiem w sieciach komputerowych i komunikacyjnych. Prezentowane liczby na rysunkach 9.15- 9.17 są wartościami średnimi pobranymi ze 150 symulacji Monte Carlo. Z wykresu 9.15 można zaobserwować, że osiągnięty wskaźnik uczciwości z podziałem na zasoby (P1) wzrasta średnio o około 30% w porównaniu z wynikami schematu przydziału (BM1). Ponadto, na Rysunku 9.15 pokazano, że wraz ze wzrostem liczby użytkowników mobilnych konkurujących za pośrednictwem łącza bezprzewodowego, dystrybucja zasobów w uczciwy sposób jest trudniejsza. Największy wzrost wskaźnika rzetelności występuje w przypadku 15 użytkowników, gdzie (P1) jest o 70% lepszy od benchmarków. Co więcej, na rysunkach 9.16 i 9.17 pokazano, że wspólny przydział DL i UL poprawia całkowitą łączną przepustowość, a także zagregowaną przepustowość DL o około 15%.







### 9.7.2 DL i UL, połączone i niezwiązane

Włączenie DUE znacznie przyczynia się do sukcesu przydzielania zasobów DL / UL TCP-ware, a wspólne przydzielanie zasobów poprawia wydajność komunikacji UL i DL. Po pierwsze, wspólny przydział zasobów umożliwi UL posiadanie wystarczającej pojemności do przenoszenia TCP ACK dla DL i na odwrót. Dlatego przydzielone zasoby w sieci RAN będą efektywnie wykorzystywane przez połączenie typu koniec-koniec. Po drugie, niezwiązane z wielkością produkcji DL / UL zapewni dodatkową elastyczność w zakresie wspólnego przydzielania zasobów. W związku z tym rozdzielone

DL / UL, podczas gdy zasoby dla obu są przydzielane w koordynacji ze sobą, a w świadomości z wyższych warstw mogą zapewniać znaczącą dodatkową efektywność komunikacji między punktami końcowymi, zarówno pod względem opóźnienia, jak i szybkości transmisji danych.

### **9.7.2 DL i UL, połączone i niezwiązane**

Włączenie DUDe znacznie przyczynia się do sukcesu przydzielania zasobów DL / UL TCP-ware, a wspólne przydzielanie zasobów poprawia wydajność komunikacji UL i DL. Po pierwsze, wspólny przydział zasobów umożliwi UL posiadanie wystarczającej pojemności do przenoszenia TCP ACK dla DL i na odwrót. Dlatego przydzielone zasoby w sieci RAN będą efektywnie wykorzystywane przez połączenie typu koniec-koniec. Po drugie, niezwiązane z wielkością produkcji DL / UL zapewni dodatkową elastyczność w zakresie wspólnego przydzielania zasobów. W związku z tym rozdzielone DL / UL, podczas gdy zasoby dla tych dwóch są przydzielane w koordynacji ze sobą, a w świadomości z wyższych warstw mogą zapewniać znaczącą dodatkową skuteczność komunikacji między punktami końcowymi, zarówno pod względem opóźnienia, jak i szybkości transmisji danych.

#### **9.7.2.1 Włączanie DUDe przez wiele strumieni TCP**

Jednym z wyzwań stojących przed architekturą DUDe jest możliwość posiadania wielu przepływów TCP, które mogą obsługiwać oddzielne połączenia DL i UL. Jednym z głównych istniejących wysiłków w Internecie jest MultiPath TCP (MPTCP) . Protokół MPTCP umożliwia TCP prezentowanie standardowego interfejsu TCP dla aplikacji, podczas gdy kilka interfejsów IP jest używanych jednocześnie. Innymi słowy, komunikacja danych przepływu jest rozłożona na wiele pod-strumieni. Połączenia MPTCP rozpoczynają się regularnie, a jeśli są dostępne dodatkowe ścieżki, na tych ścieżkach tworzone są dodatkowe sesje TCP, określane jako podprzepływy, i są łączone z istniejącą sesją, która nadal pojawia się jako pojedyncze połączenie z aplikacjami na obu końcach. W związku z tym MPTCP umożliwi przełączanie DL / UL sprzężonego i niezwiązanego z siecią dla różnych strumieni ruchu. Podczas gdy MPTCP może być świetnym narzędziem dla architektury DUDe, wyzwaniem jest tutaj dostępność dwóch różnych adresów IP. Innymi słowy, MPTCP może być używany tylko do obsługi DL i UL, jeśli UE jest wieloadresowy. Przykładem innych działań związanych z uruchamianiem wielu i równoległych przepływów TCP jest MulTCP , który zachowuje się tak, jakby był zbiorem wielu wirtualnych połączeń TCP. Taka inicjatywa w domenie internetowej jest często podejmowana w celu zwiększenia szybkości transmisji danych i lepszego wykorzystania przepustowości od końca do końca.

## **9.8 Wnioski**

Od początku istnienia sieci komórkowych połączenie UL było zawsze powiązane z tą samą stacją bazową, która została wybrana do odbioru DL. W tej części postulat ten został ponownie przeanalizowany i wprowadzono funkcję rozłączania zstępującego / łącza uplink (DUDe). DUDe to nowy architektoniczny paradygmat, w którym UL i DL nie są ograniczone do kojarzenia z tą samą stacją bazową i są skutecznie traktowane jako oddzielne sieci. Ta koncepcja staje się bardzo istotna przy oczekiwanych zagęszczaniu w przyszłych sieciach komórkowych, gdzie każdy terminal będzie miał wiele punktów dostępowych w pobliżu i umożliwiając terminalowi wybranie najlepszego połączenia UL i DL, spowoduje znacznie bardziej wydajne działanie sieci komórkowych . W tym rozdziale zidentyfikowano główne wyzwania stojące przed heterogenicznymi sieciami oraz sposób, w jaki DUDe może być rozwiązaniem niektórych z tych wyzwań. Wzrost wydajności DUDe wykazano również pod względem przepustowości UL, zasięgu, równoważenia obciążenia i niezawodności. Podkreślono współdziałanie DUDe z różnymi nowymi trendami w sieciach komórkowych. W końcu, dokładnie przeanalizowano realizację DUDe w zakresie architektury, w której zilustrowano różne opcje implementacji DUDe w LTE, z możliwością zobaczenia, co jest potrzebne w sieciach 5G, aby DUDe był natywnie wspierany, a także efekty DUDe na wyższych warstwach.