

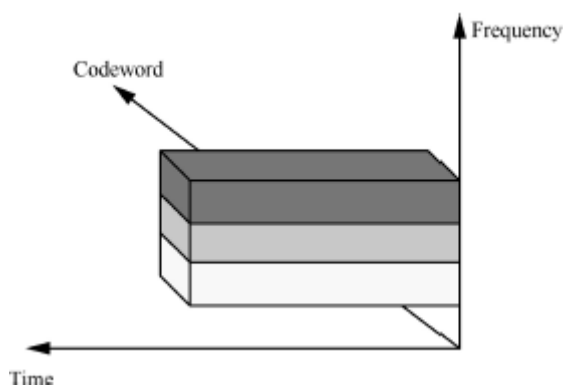
Zarys technologii wielokrotnego dostępu

Historia technologii wielokrotnego dostępu

Wielokrotny dostęp to technika implementacji komunikacji z wieloma użytkownikami poprzez umożliwienie wielu użytkownikom współużytkowania jednego wspólnego kanału i jest to jedna z podstawowych technik warstwy fizycznej w komunikacji bezprzewodowej. Ortogonalna metoda alokacji zasobów jest zawsze stosowana w technikach wielodostępu, takich jak wielodostęp z podziałem częstotliwości (FDMA) w systemach komunikacyjnych pierwszej generacji (1G), wielodostęp z podziałem czasu (TDMA) w systemach komunikacyjnych drugiej generacji (2G), dostęp wielokrotny z podziałem kodowym (CDMA) w systemach komunikacyjnych trzeciej generacji (3G) oraz dostęp wielokrotny z ortogonalnym podziałem częstotliwości (OFDMA) w systemach komunikacyjnych czwartej generacji (4G). Jednak w obliczu roku 2020 i przyszłości, oprócz poprawy wydajności częstotliwości systemu, systemy komunikacyjne piątej generacji (5G) muszą również obsługiwać masowe połączenia sprzętu użytkownika. Oznacza to, że należy rozważyć bardziej inteligentne i bardziej wydajne techniki alokacji zasobów, a zatem proponuje się nową technikę wielodostępu (NMA).

Wielokrotny dostęp z podziałem częstotliwości

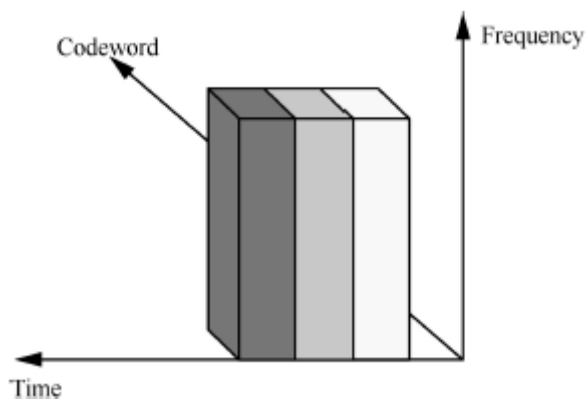
W latach 80. analogowa komórkowa sieć łączności komórkowej 1G osiągnęła zastosowanie na skalę komercyjną. Typowe systemy w 1G to Advanced Mobile Phone System (AMPS) w USA, Total Access Communications System (TACS) w Anglii oraz Nordic Mobile Telephony System (NMTS) w północnej Europie. Pierwsza generacja (1G) wykorzystuje modulację analogową i FDMA jako główne techniki. Zasadę FDMA ilustruje rysunek.



Poprzez pocięcie całego kanału częstotliwości na kilka nieskorelowanych podkanałów i przydzielenie różnych podkanałów różnym użytkownikom, różnym użytkownikom można przydzielić w tej samej szczelinie różne częstotliwości. Pasma częstotliwości ochrony zwykle musi być skonfigurowane między podkanałami, aby oprzeć się nieidealnemu filtrowi, interferencji sąsiedniego kanału i rozprzestrzenianiu się częstotliwości spowodowanemu przesunięciem Dopplera. Ze względu na wady analogowych systemów komórkowych opartych na technologii FDMA, takie jak niska wydajność widmowa, zagrożenia bezpieczeństwa i słaba odporność na zakłócenia, zrezygnowano z niego w wyniku konkurencji rynkowej.

Wielokrotny dostęp z podziałem czasu

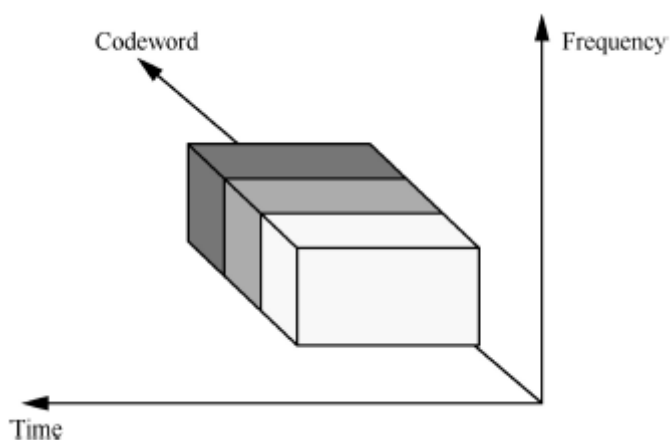
System 2G, wąskopasmowy cyfrowy system telefonii komórkowej, reprezentowany przez Digital AMPS (DAMPS) w USA i Globalny System Komunikacji Mobilnej (GSM) w Europie, jest szeroko stosowany w latach 90., który wykorzystuje TDMA i wąskopasmowe CDMA. Jak pokazano na rysunku,



czas transmisji jest podzielony na różne szczeliny w TDMA, transmisja/odbiór użytkownika zajmuje jedną odpowiednią szczelinę. Jednak różni użytkownicy nie mogą transmitować jednocześnie, innymi słowy, różni użytkownicy transmitują w ortogonalnych szczelinach. Głównym wyzwaniem dla TDMA jest wymóg synchronizacji pomiędzy różnymi użytkownikami. W łączu w dół wszystkie sygnały są generowane przez ten sam nadajnik i docierają do odbiornika po przejściu przez ten sam kanał. W przypadku kanałów z płaskim zanikiem, dopóki użytkownicy nadają w ortogonalnych szczelinach czasowych, sygnały w odbiorniku zachowują tę ortogonalność w czasie. Jednak w łączu w górę sygnały od różnych użytkowników mają różne kanały z różnymi opóźnieniami, wtedy TDMA w łączu w górę wymaga synchronizacji, aby zapewnić, że odbierane sygnały są ortogonalne w czasie. Synchronizacja zazwyczaj wymaga współpracy pomiędzy stacją bazową (BS) a punktem dostępowym (AP), co może powodować duże obciążenie. W rezultacie TDMA wprowadza pasmo ochronne między kanałami, aby skompensować wpływy spowodowane błędami wielościeżkowymi i synchronizacyjnymi

Wielokrotny dostęp z podziałem kodu

W 1996 roku Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) nazwał standard 3G IMT-2000. Główne typy 3G to CDMA2000, WCDMA i TD-SCDMA, z których CDMA jest podstawową techniką dla 3G. W CDMA do rozprzestrzeniania oryginalnego sygnału, który jest wysyłany po modulacji nośnej, wykorzystywana jest sekwencja pseudolosowa o szerokości pasma znacznie większej niż szerokość pasma sygnału. W odbiorniku, w celu odzyskania oryginalnego sygnału, ta sama sekwencja pseudolosowa jest używana do rozproszenia sygnału szerokopasmowego. Jak pokazano na rysunku

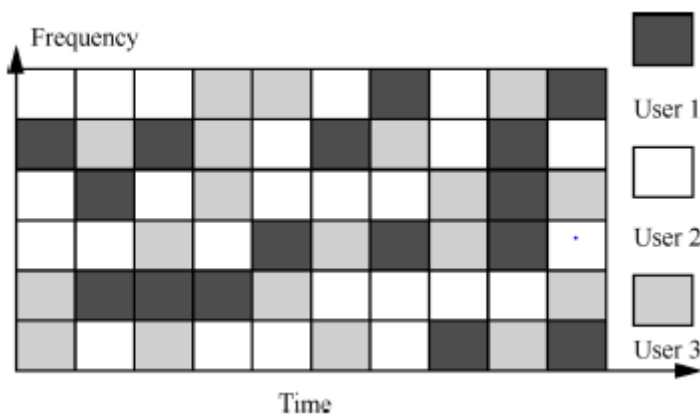


, różni użytkownicy wybierają różne kody rozprzestrzeniania i zajmują te same zasoby czasowo-częstotliwościowe. Chociaż jeden użytkownik może odbierać nałożone sygnały od wszystkich użytkowników, sygnały innych użytkowników nie mogą być dekodowane. CDMA stosuje kod

rozpraszania ortogonalnego w łączy w dół, taki jak kod Walsh-Hadamarda, oraz kod rozpraszania nieortogonalnego w łączy w górę. Stosując nieortogonalny kod rozpraszający, można zwiększyć liczbę użytkowników dostępnych w łączy w górę, w międzyczasie wprowadzane są zakłócenia między użytkownikami. Co więcej, poziomy mocy w odbiorniku nie są takie same, ponieważ wzmocnienia kanału w łączy w górę są różne dla różnych użytkowników, co oznacza, że potrzebna jest kontrola mocy, aby uniknąć efektu blisko-daleko

Dostęp do multipleksowania z ortogonalnym podziałem częstotliwości

OFDMA to metoda wielokrotnego dostępu oparta na technice multipleksowania z ortogonalnym podziałem częstotliwości (OFDM). Ponieważ podnośne w OFDM są względnie niezależne od innych, sposób modulacji i moc transmisji mogą być przypisane do każdej podnośnej konkretnie. Jak pokazano na rysunku



, OFDMA zapewnia dostęp dla wielu użytkowników, przydzielając różne podnośne jednemu użytkownikowi w różnych szczelinach i rozróżniając użytkowników na podstawie częstotliwości podnośnych. Na górze rysunku widać, że OFDMA jest kombinacją FDMA i TDMA. Jednak w odróżnieniu od FDMA, OFDMA nie musi ustawiać pasm ochronnych między częstotliwościami różnych użytkowników, a podnośne każdego użytkownika nie muszą być ciągłe, co może znacznie poprawić wydajność częstotliwości.

Nowa technika wielokrotnego dostępu w 5G

Aby spełnić wymagania sieci 5G, takie jak wyższa wydajność widma, większa przepustowość, większa łączność i mniejsze opóźnienia, wykorzystanie zasobów techniki wielodostępu 5G musi być bardziej elastyczne i wydajne. Technologie wielodostępu od 1G do 4G stosują głównie metodę ortogonalnej alokacji zasobów, której użytkownicy dostępowi są ograniczeni przez zasoby i nie mogą zaspokoić wymagań użytkowników masowego dostępu w 5G. Aby obsłużyć większą liczbę użytkowników z ograniczonymi zasobami, w nadajniku, technika 5G NMA implementuje nieortogonalną superpozycję sygnału wielu użytkowników w zasobach czasowo-częstotliwościowych przez różne procesy domenowe (takie jak domena kodu, domena mocy, domena przeplatania itd.), podczas gdy w odbiorniku stosowana jest separacja sygnału wielu użytkowników za pomocą zaawansowanej techniki wykrywania wielu użytkowników. Dzięki multipleksowaniu użytkowników w tym samym zasobie, technika NMA znacznie zwiększa liczbę użytkowników dostępnych w sieci. W ten sposób całkowita przepustowość sieci i wydajność widma ulegają poprawie ze względu na większe prawdopodobieństwa dostępu. Poza tym technologie NMA mogą lepiej realizować harmonogramy bez dotacji, co zmniejsza

opóźnienia komunikacji i zużycie energii przez sprzęt użytkownika (UE). W porównaniu z tradycyjnymi technikami dostępu ortogonalnego, techniki NMA mogą lepiej realizować usługi masowego połączenia, małych opóźnień i niskiego zużycia energii w 5G. Obecnie proponowane techniki NMA obejmują głównie: nieortogonalny dostęp wielokrotny (NOMA), dostęp wielokrotny z podziałem wzorców (PDMA), dostęp wielokrotny z kodem rzadkim (SCMA), dostęp współdzielony dla wielu użytkowników (MUSA) i dostęp wielokrotny z przeplotem siatki (IGMA).

Aktualny postęp w badaniach technologii NMA

Najnowsze postępy w standaryzacji

Jako specyficzna organizacja zajmująca się formułowaniem międzynarodowych standardów komunikacji radiowej w ITU, ITU-Radio Communications Sector (ITU-R) opracowała kolejno standard IMT-2000 (3G) i IMT-Advanced (4G). Teraz ITU-R rozpoczął prace nad standardem 5G, a za kwestie z tym związane odpowiada grupa Working Park 5D (WP5D). WP5D ustaliło plan pracy i harmonogram badań IMT-2020. Dokonano również szczegółowych ustaleń dotyczących zadań i oczekiwanych rezultatów każdego spotkania. Zgodnie z planem, wizja wymagań i trend techniczny IMT-2020 powinny zostać zrealizowane w 2014 roku; czas przygotowania kolekcji techniki 5G był realizowany w latach 2015-2017; kolekcja została ukończona w 2018 roku; ocena kandydujących technik 5G i sformułowanie standardu 5G została przeprowadzona w latach 2019-2020. ITU-R przedstawił trendy technologiczne naziemnych systemów IMT w latach 2015-2020 i później w raporcie „Future Technology Trends of Terrestrial IMT Systems”, który został opublikowany w listopadzie 2014 r. W raporcie wskazano, że techniki, takie jak zaawansowane techniki wielodostępu, można zastosować w celu zwiększenia wydajności interfejsu powietrznego. Poza tym wyróżniono dwie typowe techniki NMA, w tym PDMA i SCMA. Ponadto grupa robocza WP5D ponownie wspomniała o technikach NMA w ulepszonych technikach interfejsu powietrznego w „IMT Vision – Framework and General Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond”, która została opublikowana 21 lipca 2015 roku. zaplanuj w następujący sposób: szczegółowe badania dotyczące wymagań wydajnościowych, punktów odniesienia i metod oceny nowego radia IMT zostaną opracowane w 2016 r.; związane z tym spotkanie dyskusyjne zostałyby zwołane nie później niż do końca 2017 r., które byłoby odpowiedzialne za wymagania dotyczące wydajności, benchmark i omówienie metod kandydujących technik IMT-2020 oraz zapewniłoby możliwość omówienia technik kandydujących w nieformalnych sytuacjach dla potencjalnych wspierających IMT-2020. Projekt Partnerski Trzeciej Generacji (3GPP) jest autorytatywną organizacją określającą specyfikację komunikacji mobilnej. Grupa robocza Radio Access Network (RAN), która podlega 3GPP, już rozpoczęła dyskusję na temat techniki NMA na spotkaniu 3GPP RAN WG1 #84bis zwołanym w Pusan w Korei Południowej w kwietniu 2016 r. Co najmniej sześć kandydujących programów NMA jest omawiane na spotkaniu. Według niepełnych statystyk wiele firm, w tym Huawei, ZTE, CATT, NTT DoCoMo, Qualcomm i Alcatel-Lucent Shanghai Bell, złożyło na spotkaniu ponad 20 propozycji. Podczas spotkania RAN WG1 #85, które odbyło się w Nanjing w maju 2016 r., firmy, w tym Huawei, ZTE i CATT, uzupełniły wyniki symulacji na poziomie łącza odpowiednimi technikami, a firmy, w tym Samsung, LG i Fujitsu, zaproponowały własne schematy NMA. Całkowita liczba kandydujących programów NMA została w ten sposób zwiększona do 12. Poza tym kilka innych firm, takich jak Xinwei i Honxin, również wzięło aktywny udział w badaniach NMA. Firmy osiągnęły dwa porozumienia w sprawie NMA [2]: Techniki NMA powinny być badane w celu uzyskania różnych scenariuszy zastosowań i praktycznych przypadków w nowym radiu (NR); technika NMA oparta na spontanicznym harmonogramowaniu bez grantów powinna być badana przynajmniej w scenariuszu masywnej komunikacji typu maszynowego (mMTC). Na spotkaniu RAN WG1 #86, które odbyło się w Goteborgu w Szwecji w sierpniu 2016 r., firmy, w tym Huawei, CATT i Samsung, przedstawiły najnowsze wyniki symulacji na poziomie łącza i na poziomie systemu w schematach NMA, a schematy

kandydujące wzrosły do 15. Dwie sugestie zostały formalnie przyjęte na tym spotkaniu: NR musi wspierać transmisję nieortogonalną w łączu w górę oprócz schematów ortogonalnych przynajmniej w mMTC; spontaniczne planowanie bez grantów jest stosowane w łączu uplink przynajmniej w mMTC. Ponadto podczas tego spotkania określono nacisk badawczy w kolejnym kroku oraz parametry symulacji na poziomie systemu dla technik NMA.

Aktualny stan badań w różnych krajach

Technologie NMA cieszą się dużym zainteresowaniem w Chinach, a wiele firm zaproponowało własne schematy. Organizacje normalizacyjne, takie jak IMT-2020 (5G) Promotion Group, China Communications Standards Association (CCSA) i Forum FuTURE również zwróciły uwagę na technologie NMA. Grupa Promocyjna IMT-2020 (5G) została założona przez Ministerstwo Przemysłu i Informatyzacji, Ministerstwo Nauki i Technologii oraz Narodową Komisję Rozwoju i Reform. Jest to organizacja, która bada wymagania, częstotliwości, techniki i standardy 5G z przemysłem, a członkowie IMT-2020 (5G) Promotion Group pochodzą od producentów sprzętu telekomunikacyjnego, operatorów telekomunikacyjnych, uniwersytetów i instytutów badawczych w Chinach. Jako główna platforma krajowej promocji 5G, IMT-2020 (5G) Promotion Group powołała 20 grudnia 2013 r. w Pekinie grupę zadaniową ds. transmisji nieortogonalnych i zorganizowała pierwsze spotkanie. Podczas tego spotkania omówiono wiele schematów NMA. Określono kierunki badań, oczekiwane raporty wyjściowe oraz wstępny plan prac. W drugiej specjalnej konferencji tematycznej, otwartej 10 czerwca 2014 r., firmy takie jak Huawei, ZTE i CATT wzięły udział i przedstawiły pierwszy projekt raportów badawczych dotyczących technik NMA. Raporty te zawierały wstępne podsumowanie scenariuszy zastosowań, klasyfikacji technicznych, kluczowych technologii i ocen technicznych NMA. W miarę postępu badań Huawei, ZTE i CATT przedstawiły odpowiednie postępy badawcze dotyczące NMA podczas trzeciego i czwartego spotkania. Na piątym specjalnym spotkaniu tematycznym, które odbyło się 8 grudnia 2014 r., grupa zadaniowa ds. transmisji nieortogonalnych została oficjalnie przemianowana na grupę zadaniową NMA. Podczas spotkania omówiono konfigurację parametrów symulacji techniki NMA oraz określono parametry symulacji na poziomie łącza uplink. W białej księdze na temat koncepcji 5G opublikowanej w lutym 2015 r. IMT-2020 (5G) Promotion Group wskazała, że technika NMA jest jedną z ważnych innowacyjnych technik w obszarach bezprzewodowych 5G i podała konkretną definicję techniki NMA. Biała księga wprowadziła również pewne schematy NMA. Wraz z coraz większą liczbą firm i uczelni uczestniczących w dyskusji i proponujących nowe schematy, liczba uczestników spotkania i otrzymywanych propozycji stopniowo rosła. Podczas ostatnich spotkań otrzymano ponad 10 propozycji od firm i uczelni. Podczas dziewiątego i dziesiątego spotkania do dyskusji grupy zadaniowej NMA formalnie dołączyły przeplatanie bitów kodu wielokrotnego dostępu zaproponowane przez Uniwersytet Tsinghua, nieortogonalny dostęp do kodu (NOCA) zaproponowany wspólnie przez Nokię i Shanghai Bell oraz IGMA firmy Samsung. Poza tym grupa zadaniowa nadążała za tempem 3GPP, promowała symulację na poziomie łącza i na poziomie systemu w oparciu o postępy badań nad 3GPP oraz wspierała standaryzację 3GPP oraz badania i rozwój techniki 5G (R&D). Oprócz Grupy Promocyjnej IMT-2020 (5G), grupa robocza ds. najnowocześniejszych technologii bezprzewodowych (WG6) komitetu technicznego komunikacji bezprzewodowej (TC5) CCSA przeprowadziła dyskusję na temat technologii NMA podczas 38. spotkania, które odbyło się w Szanghaju we wrześniu 2014 r. DoCoMo, Huawei, CATT i ZTE osobno przedstawili zasady pracy, wstępne wyniki oceny wydajności i zalety w porównaniu z ortogonalną techniką wielodostępu proponowanych przez nich nowych technologii wielokrotnych. Forum FuTURE osiągnęło porozumienie w sprawie znaczenia technik NMA na spotkaniu, które odbyło się w lipcu 2014 r. i wskazał, że NMA to nowa pomoc dla 5G. W białej księdze opublikowanej w 2015 r. Forum FuTURE wprowadziło technikę elastycznego dostępu (taką samą jak technika NMA) i zapewniło ujednoczone ramy dla łącza w dół i łącza w górę. Ponadto Forum FuTURE opublikowało białą księgę dotyczącą techniki NMA. Biała księga

zawiera szczegółowe wprowadzenie do zasad techniki, oceny wydajności i projektowania systemów technologii NMA, w tym Bit Division Multiplexing (BDM), MUSA, NOMA, PDMA, Resource Spread Multiple Access (RSMA) i SCMA, a także kompleksowo podsumowuje charakterystykę różnych technologii i autorytatywnie, a zatem ma ważną wartość referencyjną dla badań NMA. 2020 and Beyond Ad hoc (20B AH) w Japonii to organizacja założona przez Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) w sierpniu 2013 r. w celu badania systemów komunikacji naziemnej w 2020 r. i później. Składa się z 31 członków ARIB i jest głównie odpowiedzialny za badania nad koncepcjami systemu, podstawowymi funkcjami, dystrybucją funkcji i architekturą przyszłych systemów komunikacji mobilnej. W 20B AH działają dwie podległe grupy robocze, w tym grupa robocza ds. usług i koncepcji (WG-SC) oraz grupa robocza ds. architektury systemu i techniki dostępu bezprzewodowego (WG-Tech). Grupa robocza WG-Tech jest głównie odpowiedzialna za badania trendów w zakresie technik dostępu bezprzewodowego i innych kluczowych technik sieciowych. 20B AH przedstawił szczegółowe wprowadzenie na temat wizji IMT-2020 i przyszłych systemów komunikacyjnych w „Wizjach dla IMT 2020 i nie tylko” opublikowanych 12 lutego 2014 r. I zdecydowanie wskazał, że NMA jest jedną z kluczowych kandydujących technik dostępu bezprzewodowego 5G. W białej księdze „2020 i przyszłe systemy komunikacji mobilnej” opublikowanej 8 października 2014 r. 20B AH wspomniało, że przyszłe systemy dostępu bezprzewodowego spełniają wymagania rosnącej liczby usług transmisji danych i masowego dostępu użytkowników. Technologie NMA mogą realizować transmisję danych z różnych grup na tym samym zasobie poprzez kombinację mocy i kodu rozpraszającego. Kandydujące techniki NMA obejmują NOMA, SCMA, Interleave Division Multiple Access (IDMA) i tak dalej. Forum 5G w Korei Południowej zostało założone w maju 2013 r. z wizją: stać się światowym liderem w komunikacji mobilnej 5G przed 2020 r. W białej księdze „Wizja, wymagania i technologie 5G” opublikowanej w lutym 2015 r. Forum 5G wskazało, że NMA jest jedną z kluczowych technik umożliwiających wydajność widma 100–1000 razy wyższą niż dotychczas. W białej księdze przeanalizowano również region pojemności dwóch użytkowników NMA i udowodniono, że może on zwiększyć wydajność systemu w porównaniu z ortogonalnym wielokrotnym dostępem. W Ameryce firma 4G Americas przedstawiła kilka prezentacji wymagań 5G i kandydujących technologii w białej księdze „4G America's Recommendations on 5G Requirements and Solutions” opublikowanej w październiku 2014 r. oraz białej księdze „Sugestie dotyczące rozwoju techniki 5G” opublikowanej w październiku 2015 r. wskazuje się, że w przypadku technologii wielodostępu ortogonalny może uniknąć zakłóceń między użytkownikami i zapewnić wysoką przepustowość systemu. Jednak przydzielanie zasobów ortogonalnych różnym użytkownikom może wymagać dużej liczby sygnalizacji i powodować dodatkowe opóźnienia w usługach o szybkim dostępie i małych ładunkach. Dlatego NMA może być stosowane jako uzupełnienie ortogonalnego wielodostępu w systemach 5G. W białej księdze „Transformacja mobilnego Internetu szerokopasmowego: od LTE do 5G” opublikowanej w sierpniu 2016 r., 5G Americas wyraźnie wskazało, że w systemach 5G NMA może być uzupełnieniem dostępu ortogonalnego za pomocą zaawansowanych technologii eliminacji zakłóceń. W Europie wdrożenie „Programu Ramowego” jest trybem pracy dla formułowania standardowego 3G i 4G. Siódmy program ramowy (7. PR), działający w latach 2007–2013, już w pozytywny sposób promował badania nad głównym tematem 5G. Ósmy program ramowy (8. PR), który rozpoczął się później, zmienił nazwę na Horyzont 2020, jest największym programem ramowym w Unii Europejskiej (UE) i stale finansuje przyszłe badania i innowacje 5G. Program Mobile and Wireless Communications Enablers dla dwudziestego dwudziestego (2020 r.) programu społeczeństwa informacyjnego (METIS), który rozpoczął się oficjalnie pod koniec 2012 r., jest programem badawczym 5G w ramach 7PR. Jego celem jest zbudowanie podstaw dla systemów komunikacji mobilnej i bezprzewodowej 5G, osiągnięcie porozumień w sprawie wymagań, cech i celów dla przyszłej komunikacji mobilnej i technologii bezprzewodowych oraz sformułowanie jednolitej opinii na temat koncepcji, zarodków i składu kluczowych technik. W programie METIS pakiet roboczy (WP) jest wykorzystywany do prowadzenia

badani i prac rozwojowych w powiązanych dziedzinach i technikach. Każdy WP prowadzi konkretne badania mające na celu różne misje. WP2 jest głównie odpowiedzialny za opracowywanie i badanie nowych łączności bezprzewodowych w celu zaspokojenia wymagań przyszłych scenariuszy aplikacji i przypadków użytkowników, budowanie porozumienia dla całego projektu systemu i efektywne wspieranie różnych usług na dużą skalę. Technika NMA jest jedną z jej ważnych misji. W artykule „O nowych rozwiązaniach dostępu bezprzewodowego” opublikowanym 28 lutego 2015 r. METIS wspominał, że wielokrotny dostęp jest jednym z trzech ważnych obszarów badań nad łącząciami bezprzewodowymi METIS. W artykule tym wskazano również, że nieortogonalna lub półortogonalna technika wielokrotnego dostępu jest jedną z głównych kandydujących technik w przyszłych systemach komunikacji bezprzewodowej. Było to również wprowadzenie do NOMA i SCMA. Infrastruktura 5G Partnerstwo Publiczno-Prywatne (5G PPP) to kolejny program badawczy 5G w Europie. W odróżnieniu od podstawowych badań techniki METIS, 5G PPP zwraca większą uwagę na ewolucję standaryzacji systemu i industrializacji. Tymczasem osiągnięcia METIS zostaną zaimportowane do 5G PPP. We wspólnej białej księdze „The Challenge, Research Emphasis and Suggestions of 5G” opublikowanej we wrześniu 2014 r. 5G PPP wskazał, że schematy alokacji zasobów radiowych oparte na nieortogonalnym dostępie mogą jeszcze bardziej obniżyć wymagania dotyczące synchronizacji systemu i muszą być dalej zbadane

Aktualny stan badań przemysłu

Jako jedna z pierwszych firm biorących udział w badaniach nad 5G, Huawei od 2009 r. ustanowił wspólny temat badań nad technologią 5G z uczelniami zagranicznymi (takimi jak Harvard University, University of California, Berkeley i University of Cambridge) oraz brał udział w EU METIS program jako jeden ze sponsorów. Na specjalnej konferencji tematycznej IMT-2020 NMA, która odbyła się 9 czerwca 2014 r., Huawei przedstawił formalne wprowadzenie na temat SCMA i przedstawił kilka wstępnych wyników badań, w tym zalety, zasadę techniczną, dostęp bez grantów i wydajność SCMA na poziomie łącza. Na trzeciej specjalnej konferencji tematycznej Huawei przedstawił kolejne wyniki badań dotyczących wykrywania ślepych SCMA. Na specjalnej konferencji tematycznej NMA, która odbyła się 17 października 2014 r., Huawei przedstawił najnowsze wyniki badań dotyczących projektowania książki kodowej SCMA, schematu odbiornika i symulacji na poziomie łącza. Zgodnie z tymi wynikami, w warunkach dużego obciążenia, zewnętrzna iteracja odbiornika SCMA może znacznie poprawić wydajność odbioru, przy czym wydajność prawie pokrywa się z sytuacją pojedynczego użytkownika, gdy przeciążenie wynosi 300%. Podczas następujących specjalnych konferencji tematycznych firma Huawei zaktualizowała postępy w badaniach nad SCMA i przedstawiła bezpłatny schemat planowania łącza w górę, schemat dostępu łącza w dół, wyniki symulacji na poziomie łącza oraz wyniki symulacji na poziomie systemu. Poza tym Huawei pozytywnie wziął udział w dyskusji NMA zorganizowanej przez 3GPP RAN WG1. Na spotkaniu 3GPP RAN WG1 #84bis, które odbyło się w Busan w Korei Południowej w kwietniu 2016 r., Huawei przedstawił propozycje dotyczące zasad technicznych, projektu książki kodowej, mapowania książki kodowej, schematów odbiorników i korzyści wydajnościowych SCMA. W spotkaniach RAN WG1 #85 i #86 Huawei uczestniczył i przedstawił propozycje dotyczące najnowszych wyników oceny SCMA oraz problemów dotyczących systemu bezdotacyjnego i kolizji użytkowników w NMA. Tymczasem Huawei aktywnie promował badania METIS i FuTURE Forum dotyczące NMA. Jako jedna z pierwszych firm, które zaproponowały schematy NMA, CATT jest głównym promotorem NMA. Na specjalnym spotkaniu tematycznym NMA, które rozpoczęło się 9 czerwca 2014 r., CATT przedstawił postęp prac i plan prac nad sukcesywną eliminacją zakłóceń Amenable Multiple Access (SAMA). Firma CATT przeprowadziła wstępną weryfikację na poziomie łącza SAMA w sytuacjach z jednym wejściem i wieloma wyjściami (SIMO) i wieloma wejściami z wieloma wyjściami (MIMO) z TM1 i TM3 w otwartej pętli. Wyniki symulacji wykazały, że SAMA może osiągnąć znaczny wzrost wydajności. Na trzeciej i czwartej specjalnej konferencji tematycznej NMA CATT przedstawił wyniki badań nad

zaawansowanymi odbiornikami. Podczas 38. spotkania CCSA TC5 WG6, które odbyło się w Szanghaju we wrześniu 2014 r., CATT zaproponował PDMA opartą na SAMA, w której użytkownicy wyróżniają się za pomocą nieortogonalnego wzorca charakterystyki w nadajniku, wykrywanie wielu użytkowników częściowo optymalizuje się za pomocą następującej eliminacji zakłóceń (SIC) w odbiorniku. Na piątej specjalnej konferencji tematycznej IMT-2020 NMA, która odbyła się 18 grudnia 2014 r., CATT przedstawił wstępne wyniki symulacji na poziomie łącza dla PDMA, które wykazały, że PDMA może znacznie poprawić wydajność bitowej stopy błędów (BER) w porównaniu z transmisją ortogonalną. Na kolejnych konferencjach tematycznych IMT-2020 NMA CATT przedstawił najnowsze postępy badawcze, w tym wyniki symulacji na poziomie systemu PDMA oraz plan opracowania i testowania platformy weryfikacyjnej. CATT wziął również aktywny udział w dyskusji na temat NMA zorganizowanej przez 3GPP RAN WG1 i przedstawił propozycje dotyczące zasady technicznej PDMA, najnowszych wyników ewaluacji oraz metod ewaluacji NMA. Ponadto CATT objął prowadzenie w realizacji projektu badawczo-rozwojowego nowej modulacji i kodowania 5G oraz techniki połączeń o wysokiej wydajności w ramach Narodowego Programu Badań i Rozwoju Zaawansowanych Technologii w Chinach (Krajowy Projekt „863”), w którym najważniejszym zadaniem jest badania i zastosowanie technologii klucza PDMA. Oprócz udziału w badaniach nad technologią i standardowej promocji NMA, CATT wziął również udział w dyskusji naukowej na temat NMA prowadzonej przez takie organizacje jak FuTURE Forum.

ZTE jest również jedną z pierwszych firm, które przyłączyły się do badań NMA, które zaproponowały i przedstawiły MUSA na czwartej specjalnej konferencji tematycznej IMT-2020 NMA. Później ZTE uczestniczyło w badaniach i dyskusjach sponsorowanych przez organizacje normalizacyjne, w tym 3GPP, IMT-2020 i Forum FuTURE. Na bieżąco aktualizowali i przesyłali wyniki symulacji MUSA. Ponadto ZTE zaproponowało własny punkt widzenia na niektóre aspekty NMA, takie jak spontaniczny, bezpłatny, konkurencyjny schemat dostępu [9], algorytmy ślepej detekcji oraz klasyfikacja technologii NMA. Samsung pozytywnie uczestniczył w badaniach i pracach standaryzacyjnych dotyczących NMA sponsorowanych przez międzynarodowe organizacje. Podczas spotkania 3GPP RAN WG1 #85 Samsung po raz pierwszy zaproponował schemat IGMA i przedstawił wyniki symulacji na poziomie łącza. Na spotkaniu 3GPP RAN WG1 #86, które odbyło się później, Samsung przedstawił najnowsze wyniki oceny IGMA i przedstawił kilka sugestii badawczych dotyczących kolizji bez grantów, adaptacji łącza i tak dalej. Poza tym Samsung brał aktywny udział w specjalnych konferencjach tematycznych NMA organizowanych przez China IMT-2020 Promotion Group. Na spotkaniu RAN WG1 #84bis firma LG Electronics zaproponowała schemat wielodostępu nieortogonalnego kodowanego (NCMA). Ponadto w białej księdze opublikowanej 21 czerwca 2016 r. firma LG Electronics podkreśliła, że NMA jest ważną techniką w 5G, i wprowadziła kilka potencjalnych technologii NMA, w tym NCMA, SCMA i PDMA. W białej księdze „5G Wireless Access: Requirement Concept and Technology” opublikowanej we wrześniu 2014 r. firma NTT DoCoMo przedstawiła zasady techniczne i zalety wydajnościowe NOMA, która opiera się na domenie mocy, i wskazała, że NOMA może być wykorzystana w przyszłości 5G sieci komunikacji mobilnej. Ponadto NTT DoCoMo wzięło udział w badaniach standaryzacyjnych 3GPP i promocji NMA, przedstawiło wyniki symulacji NOMA na spotkaniach RAN WG1 #84bis, #85 i #86 oraz przedstawiło własne sugestie dotyczące wykorzystania NMA w mMTC i ulepszonym Mobile BroadBand (scenariusze eMBB). Jako wiodąca firma telekomunikacyjna w USA Qualcomm dołączył do badań nad NMA i zaproponował schemat RSMA. W raporcie technicznym „5G Waveform and Multiple Access Techniques” opublikowanym 4 listopada 2015 r. Qualcomm wspomniał, że RSMA może zaspokoić przypadki użycia transmisji asynchronicznej i bezpłatnego dostępu. Qualcomm opracowuje obecnie kluczowe techniki 5G w trzech obszarach. W zunifikowanej konstrukcji radiowej opartej na zoptymalizowanym kształcie fali OFDMA firma Qualcomm ma nadzieję spełnić wymagania konkretnych przypadków użytkowników za pomocą RSMA. Ponadto firma Qualcomm wzięła udział w badaniach 3GPP nad NMA i przedstawiła propozycje omawiające problemy, takie jak wyniki oceny

symulacji RSMA i wymagania NMA na spotkaniach 3GPP RAN WG1 #84bis, #85 i #86. Nokia włączyła się również pozytywnie do badania NMA, które przedstawiło kilka sugestii dotyczących konkurencyjnego wielodostępu łącza uplink z firmą Shanghai Bell podczas spotkania 3GPP RAN WG1 #84bis. Na spotkaniu 3GPP RAN WG1 #85 firma Nokia zaproponowała schematy NOCA i IDMA oraz przedstawiła porównania i analizy proponowanych schematów w oparciu o pewne aspekty, w tym złożoność odbiornika, standaryzację i tak dalej. Ponadto Nokia wzięła udział w specjalnych konferencjach tematycznych NMA organizowanych przez IMT-2020 i złożyła kilka propozycji. Poza wyżej wymienionymi firmami w badaniach NMA wzięło również udział kilka innych firm. Intel zaproponował schematy rozpraszania widma i widma częstotliwości o niskim współczynniku kodowania; Firma MTK podniosła wielokrotny dostęp z podziałem powtórzeń (RDMA) i grupowy dostęp kodowany ortogonalnie (GOCA); Sony Corporation udzieliło kilku porad dotyczących wyboru i kolizji schematu modulacji i kodowania (MCS) w NOMA [12]; China Telecom, CMCC, FiberHome i Xinwei Telecom pozytywnie wzięły udział w badaniach.

Aktualny status badawczy uczelni

Akademia rozpoczęła badania nad technikami NMA, w tym NOMA, SCMA, PDMA i MUSA. Piśmiennictwo kompleksowo przedstawia zalety, szanse, wyzwania i przyszłe kierunki badawcze NMA oraz stanowi dobre podsumowanie. Odnośnik [13] zawiera krótki opis zasad kandydujących technologii NMA (takich jak NOMA oparta na domenie mocy, SCMA, MUSA oparta na domenie kodu itd.) oraz niektórych innych nieortogonalnych schematów (takich jak PDMA). W tym artykule porównano również i przeanalizowano złożoność odbioru kilku kandydujących schematów. Ponadto, aby elastycznie obsługiwać wymagania różnych urządzeń i różnych aplikacji, proponujemy schemat Software Defined Multiple Access (SoDeMA). Aby spełnić różne wymagania dotyczące komunikacji w dół i w górę, w odnośniku [14] przedstawiono oddzielnie kilka kandydujących schematów NMA. W przypadku systemów łącza w dół koncentrujemy się na omówieniu schematów transmisji superpozycji wielu użytkowników (MUST), które mogą być stosowane w komunikacji szerokopasmowej i wprowadzeniu zasady technicznej, schematu projektowania odbiornika, schematu projektowania sygnalizacji sterującej, schematu kombinacji z wieloma antenami i wyników oceny wydajności trzech rodzaje schematów MUSI. W przypadku systemów uplink przedstawiamy wielokrotny dostęp bez dotacji, który mógłby zaspokoić wymagania transmisji ogromnego Internetu rzeczy (IoT), takich jak MUSA, SCMA i tak dalej. Ponieważ różne schematy NMA stosują różne metody superpozycji sygnałów, nacisk na badania jest inny. Następnie przedstawimy aktualny stan badań każdego schematu kandydującego z osobna. NOMA przydziela różną moc nadawania różnym użytkownikom zgodnie z jakością kanału użytkownika, a następnie nakłada sygnały użytkownika w tym samym zasobie czasowo-częstotliwościowym i nadaje. W odbiorniku SIC służy do oddzielania sygnałów różnych użytkowników. Wydajność odbiornika SIC zależy w dużej mierze od jakości odbieranych sygnałów. Im bardziej równoważna różnica stosunku sygnału do szumu (SNR) pomiędzy różnymi odbieranymi sygnałami, tym lepsza jest wydajność odbiornika SIC. Mając na celu systemy NOMA łącza downlink, odniesienie [15] przedstawia kilka schematów konstrukcyjnych odbiorników i porównuje ich wydajność. Wyniki symulacji pokazują, że odbiornik SIC na poziomie słowa kodowego (CW-SIC) może zbliżyć się do wydajności bloku błędów (BLER) idealnego odbiornika SIC, podczas gdy wydajność BLER odbiornika SIC na poziomie symbolu (SL-SIC) jest gorsza niż CW-SIC Odbiornik i może być łatwo zależny od mocy nadawania przez użytkownika. Jednakże, ponieważ odbiornik SL-SIC nie wykonuje kodowania i dekodowania dla pierwszych demodulowanych użytkowników, jego złożoność jest mniejsza niż odbiornika CW-SIC. Po drugie, aby zapewnić skuteczną eliminację zakłóceń w odbiorniku, potrzebne jest rozsądne parowanie użytkowników i przydział mocy w nadajniku. Odnośniki proponują kilka schematów alokacji mocy, takich jak Full Search Power Allocation (FSPA), alokacja mocy oparta na statystyce Fractional Transmit Power Allocation (FTPA). FSPA wykonuje ogólne wyszukiwanie

wszystkich par użytkowników i przydziału mocy transmisji. Innymi słowy, uwzględnia wszystkie możliwe kombinacje alokacji mocy do wszystkich kandydujących par użytkowników. Ten algorytm może osiągnąć lepszą wydajność; jednak znacznie zwiększa złożoność obliczeniową. Schemat alokacji mocy oparty na statystyce zaproponowany przez odniesienie wykorzystuje wyszukiwanie binarne do ciągłego dostosowywania mocy transmisji stacji bazowej, która jest alokowana do użytkownika z dobrą jakością kanału (oznaczoną przez użytkownika 2). Na tej podstawie oblicza ograniczoną pojemność ergodyczną użytkownika o złej jakości kanału (oznaczoną przez użytkownika 1). Zdolność ergodyczną użytkownika 1 określa macierz kowariancji sygnałów przesyłanych przez użytkownika 1 i użytkownika 2. W oparciu o te obliczenia, przybliżony wyraz wydajności ergodycznej użytkownika 1 można uzyskać przy użyciu dolnego limitu i można uzyskać suboptymalny schemat alokacji mocy o niskiej złożoności. FTPA to kolejny nieoptymalny schemat alokacji mocy oparty na metodzie sterowania mocą w łączy w górę Long-Term Evolution (LTE). Gdy współczynnik sprawiedliwości jest równy zero, stacja bazowa przydziela moc równo każdemu kandydującemu użytkownikowi. Wraz ze wzrostem współczynnika fairness moc będzie przydzielana użytkownikom z niskim kanałem aby zdobyć jako pierwszy. Ponadto istnieje wiele referencji oceniających wydajność NOMA. Wyniki symulacji wskazują, że przy użyciu rozsądnej metody alokacji mocy, NOMA może uzyskać lepszą wydajność przerwań i ergodyczną szybkość transmisji danych w porównaniu z ortogonalnym systemem wielokrotnego dostępu. Odnośniki [24–26] oceniają wydajność systemu NOMA i omawiają zysk przepustowości NOMA w porównaniu z ortogonalnymi systemami wielokrotnego dostępu przy różnej zaplanowanej liczbie użytkowników i różnych sytuacjach środowiska komórkowego. Wyniki symulacji pokazują, że NOMA może poprawić przepustowość komórek i przepustowość użytkowników na obrzeżach komórki. Jeśli wymagania dotyczące przepustowości komórki można nieco złagodzić, można poprawić przepustowość użytkownika na krawędzi komórki. Wraz ze wzrostem liczby zaplanowanych użytkowników, zysk przepustowości może być dalej poprawiony dzięki zyskowi zróżnicowania wielu użytkowników. Istnieje kilka innych badań dotyczących połączenia NOMA i MIMO. Anulowanie interferencji między grupami użytkowników przy użyciu losowego formowania wiązki może zwiększyć całkowitą przepustowość i przepustowość użytkowników na krawędzi komórki; CMA rozróżnia różnych użytkowników, przypisując każdemu użytkownikowi określoną książkę kodów; w związku z tym projekt książki kodów jest kluczowym czynnikiem dla systemu SCMA, aby osiągnąć dobrą wydajność i elastyczność. Najpierw zaprojektowanie wielowymiarowej konstelacji o dobrej odległości euklidesowej, która będzie działać jako konstelacja podstawowa; następnie obracając konstelację, aby uzyskać odpowiednią odległość; wreszcie konstruowanie wielu rzadkich książek kodowych z różnymi warstwami w oparciu o różne operacje (takie jak rotacja fazy). Wyniki symulacji wskazują, że BLER SCMA jest niższy niż sygnatura niskiej gęstości (LDS) i OFDMA zarówno w kanałach addytywnego białego szumu gaussowskiego (AWGN), jak i kanałach zanikania. Ponadto SCMA może uzyskać lepszą przepustowość systemu niż LDS i OFDMA. Wyniki symulacji pokazują, że równoległy system SCMA zaproponowany przez odniesienie może znacznie zmniejszyć złożoność odbioru przy zachowaniu wysokiej przepustowości i niskiego BER systemu. Ponadto algorytm wykrywania wielu użytkowników SCMA jest jednym z celów badań. Odbiornik Turbo Message Passing Algorithm (MPA), składa się z algorytmu MPA i Turbo dekodowania. Odbiornik może poprawić wydajność dekodowania systemu, szczególnie w sytuacjach dużego obciążenia. Przedstawiono również algorytm wykrywania ułamkowej marginalizacji, który mógłby osiągnąć wydajność BER algorytmu MPA przy niskiej złożoności. Zaproponowano ważony algorytm MPA, który określa prawdopodobieństwo wystąpienia słowa kodowego w odebranych nałożonych sygnałach poprzez wprowadzenie współczynnika wagi i może skutecznie skrócić czas obliczeń. Sugerowano uproszczenie algorytmu wykrywania SCMA poprzez dokonywanie oceny a priori użytkownikom z dużą pewnością. Istnieje wiele innych odniesień omawiających wydajność przerwań i efektywność energetyczną SCMA. Wyniki symulacji wskazują, że przy danym prawdopodobieństwie przerwania systemu liczba aktywnych użytkowników SCMA może

obsłużyć 2,8 razy więcej niż system OFDMA. Wyniki symulacji pokazują, że SCMA może poprawić ogólną przepustowość systemu w porównaniu z OFDMA. Wyniki testów wskazują, że SCMA może zapewnić dodatkową przepustowość wielokrotnego dostępu i efektywność energetyczną.

Zarys technologii dostępu wielokrotnego

Poza tym istnieje wiele innych wzmianek o technologiach NMA, takich jak PDMA, MUSA i tak dalej. Przedstawiono m.in. podstawową zasadę, schematy konstrukcji nadajnika i odbiornika oraz wstępne wyniki oceny działania PDMA. Wyniki symulacji pokazują, że PDMA może uzyskać ponad dwukrotny wzrost przepustowości w łączu w górę i ponad 50% w łączu w dół w porównaniu z tradycyjnymi technologiami ortogonalnego wielokrotnego dostępu. Przedstawiono zasadę techniczną PDMA, schematy projektowania macierzy wzorców i technikę wykrywania wielu użytkowników w odbiorniku w bardziej szczegółowy sposób oraz ocenia wydajność PDMA. Wyniki symulacji na poziomie systemu pokazują, że liczba dostępowych PDMA może być obsługiwana, co jest sześciokrotnością OFDMA, a wydajność widma może poprawić się co najmniej o 30%. Ponadto istnieje wiele dalszych badań nad algorytmami wykrywania PDMA. Odnośnik [42] proponuje iteracyjny odbiornik oparty na minimalizacji błędów średniokwadratowych (MMSE) i SIC, który może skutecznie kontrolować propagację błędów bitowych i poprawiać wydajność dekodowania systemu. Przedstawiono zaawansowany iteracyjny odbiornik detekcji, który dodatkowo poprawia wydajność dekodowania systemu poprzez implementację iteracji informacji przez dekodery i detektory. W piśmiennictwie przedstawiono podstawową zasadę i wyniki oceny wydajności MUSA, który wykorzystuje innowacyjny, zaprojektowany, złożony, polowy kod polikomórki i zaawansowaną detekcję wielu użytkowników opartą na SIC, co powoduje, że w tym samym zasobie czasowo-częstotliwościowym liczba użytkowników dostępu jest kilka razy większa niż 4G. Za pomocą schematu bez dotacji MUSA upraszcza procesy, w tym synchronizację i sterowanie mocą, a następnie realizacja UE jest uproszczona, a zużycie energii UE jest zmniejszone. Wszystkie powyższe badania wskazują, że w porównaniu z dostępem ortogonalnym, NMA może poprawić pojemność systemu i pojemność użytkowników na krawędzi komórki.