

# Korzyści OFDMA dla Wi-Fi 6

Krótki opis technologii przedstawiający Qualcomm  
Przewaga konkurencyjna technologii

Autorski:  
Xiaolong Huang  
Rolf de Vegt

Qualcomm Technologies, Inc. (QTI)  
San José, luty 2021 r

## PRZEPLÝW

1. Podsumowanie wykonawcze
2. Wstęp i cele
3. Wi-Fi 6, sieci o dużej gęstości i OFDMA
4. Opóźnienia w sieci Wi-Fi
5. Wpływ OFDMA w rzeczywistych scenariuszach
  - 5.1 Scenariusz domowy
  - 5.2 Scenariusz korporacyjny
  - 5.3 Scenariusz zajęć
6. Znaczenie światowej klasy harmonogramu OFDMA
7. Wnioski





## 1. Podsumowanie wykonawcze

Jedną z charakterystycznych cech dzisiejszego programu certyfikacji Wi-Fi 6 pierwszej generacji jest obsługa OFDMA (wielodostęp z podziałem na częstotliwości ortogonalne). OFDMA jest oferowany jako część standardu Wi-Fi 6 i wymaga wysoce efektywnych technik planowania, które mają być dostarczane w bardzo przeciążonych i złożonych wdrożeniach sieciowych. Ponieważ producenci i cała branża korzystają z Wi-Fi 6, potencjalna wartość udanej implementacji OFDMA wraz z możliwością ilościowego określenia tej wartości wymaga analizy i dokumentacji.

Jako gorący orędownik pełnego zakresu technologii i technik planowania dla wielu użytkowników, firma Qualcomm Technologies z powodzeniem dostarczyła wysoce zróżnicowane implementacje OFDMA, a także przeprowadziła analizę, aby jasno przedstawić korzyści płynące z korzystania z OFDMA.

Analizy te przeprowadzono w zestawie rzeczywistych, intensywnie użytkowanych wdrożeń sieciowych obejmujących scenariusze domowe, korporacyjne i szkolne. We wszystkich scenariuszach główną korzyścią oferowaną przez OFDMA na poziomie użytkownika jest ogólna redukcja opóźnień, z opóźnieniami w łączu w dół o 40–90%, a opóźnienia w łączu w górę o 23–99% (w zależności od scenariusza i w porównaniu do starszego pojedynczego użytkownika) tryb (SU)).

Opierając się na tej analizie, firma Qualcomm Technologies dalej analizowała połączone korzyści w zakresie przepustowości systemu i opóźnień w dodatkowych scenariuszach intensywnego użytkowania dla głosu, gier i wideo uplink. W tych porównaniach wykorzystano dwa punkty dostępowe; pierwszy z dostępną komercyjnie technologią planowania firmy Qualcomm Technologies, drugi wykorzystujący chipset i technologię planowania OFDMA wiodącego konkurenta w zakresie chipsetów. Ta analiza podkreśla znaczącą przewagę konkurencyjną opartą na opóźnieniach dla wielu scenariuszy ładowania aplikacji i sieci dostarczanych przez system oparty na technologiach Qualcomm, z nawet 80-200 milisekund (ms) niższymi opóźnieniami dla użytkowników w środowiskach sieciowych.

## 2. Wstęp i cele

Przed 2014 r. głównym celem każdej generacji technologii Wi-Fi było zwiększanie przepustowości szczytowej. Począwszy od 2014 r., gdy scenariusze gęstych wdrożeń stały się nową normą, branża Wi-Fi skupiła się na tworzeniu nowych technologii i standardów w celu zwiększenia wydajności sieci Wi-Fi. Standard sieci o wysokiej wydajności został opracowany w grupie zadaniowej IEEE 802.11ax.

Kluczowe technologie przyjęte w standardzie 802.11ax mające na celu zwiększenie wydajności sieci to m.in.: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) oraz MU-MIMO (Multi-User Multiple Input and Multiple Output).

Wi-Fi Alliance oznaczył technologie generacyjne oparte na standardzie 802.11ax jako „Wi-Fi 6” i we wrześniu 2019 r. uruchomił program certyfikacji interoperacyjności dla Wi-Fi 6. Z łączem w dół MU-MIMO dostępnym jako część Wi-Fi 5 (w ograniczonym stopniu w porównaniu z Wi-Fi 6), najbardziej wpływową nową funkcją Wi-Fi 6 pierwszej generacji jest OFDMA. Obecnie przemysł i rynek zaczynają dostrzegać potencjał tej potężnej technologii, a także pewne wyzwania związane z wdrażaniem i pomiarem jej wartości.

Jako lider technologii bezprzewodowych firma Qualcomm Technologies koncentruje się na zapewnieniu, że jej implementacje Wi-Fi 6 w pełni wykorzystują wszystkie możliwości OFDMA. Osiągnięcie korzyści związanych z wysoką wydajnością Wi-Fi 6 jest silnie skorelowane ze skutecznością technologii planowania ruchu używanej przez punkt dostępowy Wi-Fi.

Celem niniejszego opracowania jest:

- Zapewnij perspektywę i wyjaśnij, co OFDMA może i powinno zapewnić w kontekście sieci Wi-Fi 6
- Podkreśl korzyści skutecznie wdrożonego OFDMA na przykładach z życia wziętych, jak wykazała firma Qualcomm Technologies
- Zilustruj kluczową rolę, jaką odgrywa wyrafinowana technologia planowania sieci uświadomienie rzeczywistej wartości OFDMA w sieciach Wi-Fi 6

### 3. Wi-Fi 6, sieci o dużej gęstości i OFDMA

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) to jedna z kluczowych technologii wykorzystywanych w Wi-Fi 6 do znacznego zwiększenia wydajności sieci Wi-Fi w dzisiejszych, coraz bardziej zagęszczonych wdrożeniach.

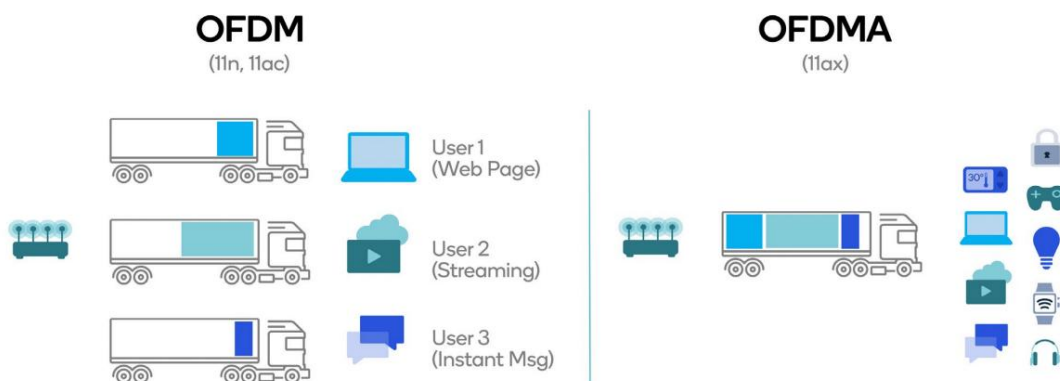
W praktyce oznacza to, że OFDMA zapewnia wyższą zagregowaną przepustowość i mniejsze opóźnienia w sieciach Wi-Fi z dużą liczbą klientów na punkt dostępowy w porównaniu z operacjami pojedynczego użytkownika.

#### Jak działa OFDMA?

Biała księga Wi-Fi Alliance zwięźle opisuje funkcję OFDMA <źródło: „Wi-Fi CERTIFIED 6: A new era in Wireless Connectivity”, wrzesień 2019 r.>.

OFDMA to ulepszenie w stosunku do poprzednich wersji Wi-Fi, które wykorzystują multipleksowanie z ortogonalnym podziałem częstotliwości (OFDM). Dzieli kanał Wi-Fi na mniejsze przydziały częstotliwości zwane jednostkami zasobów. Dzięki podziału kanału równoległa transmisja mniejszych ramek do wielu użytkowników odbywa się jednocześnie. Na przykład tradycyjny kanał 20 MHz można podzielić na aż dziewięć mniejszych kanałów. Korzystając z OFDMA, punkt dostępowy Wi-Fi 6 może jednocześnie przesyłać mniejsze ramki do dziewięciu klientów Wi-Fi 6.

Rysunek 3.1 Technologia OFDM a technologia OFDMA



Biała księga Wi-Fi Alliance dodatkowo wyjaśnia różnicę między łączem w górę i łączem w dół OFDMA.

Uplink OFDMA to jedna z kluczowych funkcji wprowadzonych przez Wi-Fi 6 i jedna z najbardziej znaczących różnic w stosunku do 802.11ac. Uplink OFDMA umożliwia jednoczesne przesyłanie ramek danych przez wiele stacji. To amortyzuje narzut preambuły i średni narzut związany z rywalizacją, co prowadzi do wysokiej zagregowanej przepustowości sieci. Uplink OFDMA może zapewnić dodatkowe korzyści, pozwalając na wyższy poziom mocy nadawania na urządzenie, z zastrzeżeniem wymagań regulacyjnych, a tym samym pokrycie sygnału na łączu nadawczym, ponieważ moc nadawania każdego urządzenia klienckiego może być skoncentrowana na mniejszych przydzielonych jednostkach zasobów.

Downlink OFDMA umożliwia przesyłanie wielu ramek danych w pojedynczej jednostce danych do wielu stacji, amortyzując w ten sposób narzut preambuły i narzut związany z rywalizacją o medium, co prowadzi do wyższej zagregowanej przepustowości sieci. Downlink OFDMA może dalej optymalizować zagregowaną przepustowość, równoważąc alokację mocy między użytkownikami przy wysokim i niskim stosunku sygnału do szumu, z zastrzeżeniem całkowitych ograniczeń mocy i wymagań regulacyjnych.

### Potrzeba planowania wysokiej jakości

W gęstych środowiskach sieciowych punkt dostępowy Wi-Fi (AP) próbujący zaplanować transmisję OFDMA zazwyczaj napotka klientów z różnymi aplikacjami, wzorcami ruchu, odległościami od punktu dostępowego i możliwościami Wi-Fi (np. obsługiwanych anten i strumieni przestrzennych). W gęstym środowisku wdrożeniowym rola programu planującego AP jest krytyczna i musi być zoptymalizowana pod kątem szybkiego podejmowania decyzji, określających, które ramki danych, z których klientów połączyć w jedną transmisję (łącze w dół lub łącze w górę). W celu zaplanowania transmisji OFDMA w łączu w dół i w łączu w górę, punkt dostępowy może mieć zaledwie 20 mikrosekund (0,000002 sekundy) na podjęcie decyzji, które jednostki zasobów (pakiety) uwzględnić we wspólnej transmisji\*.

Udane, wysokowydajne planowanie OFDMA wymaga dużej mocy obliczeniowej i wsparcia sprzętowego, aby umożliwić obsługę wielu kolejek ruchu. Opracowanie harmonogramu o wysokiej wydajności i wysokiej jakości jest zwykle osiągnięte dzięki zastosowaniu głębokiej wiedzy o sieci i dyscyplinie ciągłego doskonalenia harmonogramu z roku na rok.

\*Uwaga: Harmonogram zwykle ma losowy czas oczekania LBT na przygotowanie transmisji, który wynosi od 20 do 170 mikrosekund.

### 4. Opóźnienie w sieci Wi-Fi Opóźnienie

odnosi się do czasu potrzebnego na przejście pakietu z jednego węzła sieci do drugiego. Obecnie kilka konwergentnych czynników rynkowych, takich jak gry wieloosobowe, VoIP, AR/VR oraz rzeczywiste lub postrzegane korzyści związane z opóźnieniami sieci komórkowej 5G, stanowi silną zachętę do zmniejszania opóźnień w sieciach Wi-Fi.

Jedną z kluczowych zalet OFDMA jest możliwość zmniejszenia opóźnień w gęstych scenariuszach wdrożeń. Ponieważ opóźnienie jest ważnym czynnikiem w sieciach bezprzewodowych, wydaje się, że warto podać pewien kontekst.

Jednym ze sposobów, w jaki konsumenci mogą dowiedzieć się o opóźnieniu, jest aplikacja do testowania szybkości sieci (np. Ookla), która wyświetla listę opóźnień ping. Jednak ta liczba opóźnień obejmuje cały zestaw segmentów sieci od urządzenia użytkownika do serwera ping, takich jak połączenie Wi-Fi między klientem a punktem dostępowym, sieć dostępową (np. kablowa, DSL, światłowód), światłowód szkielet i sieć dostępową dla serwerów ping w chmurze. Testy te zazwyczaj dają wartości opóźnień w przedziale 10–30 ms (0,01–0,03 sekundy), ale kluczową rolę odgrywa fizyczna odległość od serwera ping w chmurze. Na przykład opóźnienie ping dla klienta Wi-Fi w San Francisco wynosi 10 ms w przypadku serwera ping w San Francisco i około 150 ms w przypadku serwera ping w Amsterdamie.



W kontekście sieci Wi-Fi, ogólne opóźnienie sieci Wi-Fi składa się z kombinacji opóźnienia łącza w dół (AP do klienta) i opóźnienia łącza w górę (klient do AP). Uzyskane w praktyce opóźnienie w dużym stopniu zależy od obciążenia ruchem, gęstości wdrożenia i zakłóceń (np. z nakładających się sieci Wi-Fi).

Na przykład testy przeprowadzone przez Qualcomm Technologies wykazały opóźnienie pinga w obie strony wynoszące około 2-3 ms w przypadku jednego punktu dostępowego, jednego klienta i braku zakłóceń oraz <4 ms w przypadku dwukierunkowego VoIP.

Testy w sieci z dwoma przeskokami i wieloma punktami dostępowymi wykazały dwukierunkowe opóźnienia ping na poziomie 4-5 ms.

Innym ważnym pojęciem określającym wydajność sieci jest „jitter” (tzn. zmienność opóźnień występująca między dwoma węzłami sieci). W naszej analizie pokazujemy wyniki naszych pomiarów latencji na 95. percentylu, co oznacza, że rzeczywiste opóźnienia są niższe w 95% przypadków w stosunku do zgłoszonej liczby. Raportowanie pomiarów opóźnień w ten sposób obejmuje koncepcję jittera, ponieważ wysokiej jakości doświadczenie w aplikacjach czasu rzeczywistego można zachować tylko wtedy, gdy tylko bardzo mały procent pakietów dociera później niż określony termin.

## 5. Wpływ OFDMA w rzeczywistych scenariuszach Technologie

Wi-Fi 6 zostały opracowane specjalnie w celu poprawy wydajności sieci w środowiskach, w których na punkt dostępowy przypada duża liczba urządzeń i intensywne (wysoka przepustowość/niskie opóźnienia) wykorzystanie aplikacji. Oprócz zaspokajania potrzeb wielu jednocześnie działających urządzeń podłączonych do jednego punktu dostępowego, sieci te często istnieją w nakładających się środowiskach sieciowych, takich jak gęsto zaludnione budynki mieszkalne lub biura w centrum miasta. Nakładające się sieci Wi-Fi zwykle działają w tym samym paśmie częstotliwości. Ponieważ znajdują się one tak blisko siebie, protokół udostępniania Wi-Fi „Listen Before Talk” powoduje, że sieci wzajemnie się od siebie oddalają. To skutecznie dzieli czas, w którym każda sieć może być zaangażowana w transmisję.

Aby podkreślić korzyści płynące z używania OFDMA w tak gęstych scenariuszach wdrożeń, firma Qualcomm Technologies przeprowadziła zestaw pomiarów przepustowości i opóźnień dla trzech różnych „rzeczywistych” scenariuszy sieciowych, zdefiniowanych jako; domu, biurze i klasie.

W tej sekcji omówiono każdy scenariusz i wyniki powiązanych analiz, podkreślając wpływ korzystania z OFDMA w porównaniu z tradycyjnymi transmisjami dla jednego użytkownika.

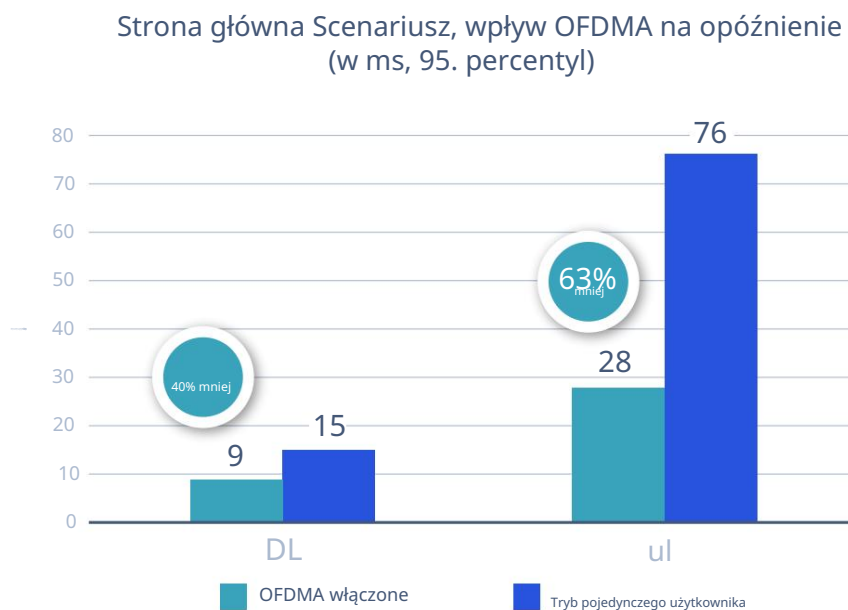


### 5.1. Scenariusz domowy

W roku 2020, w związku z pandemią COVID-19, sieci domowe były intensywnie eksploatowane, a wiele osób w gospodarstwie domowym prowadziło pracę, naukę, gry i rozrywkę, a wszystkie korzystały z domowej sieci Wi-Fi. Aby pokazać zalety OFDMA w zakresie opóźnień, zastosowano konfigurację testową z podobnie intensywnym scenariuszem przypadków użycia. Kolejnym przykładem tego typu scenariusza domowego może być sytuacja, w której trzech członków rodziny jest zaangażowanych w grę wieloosobową, będąc jednocześnie zaangażowanymi w komunikację wideo z innymi graczami.

Scenariusz zajęty w domu, który modelowaliśmy, obejmuje: • 4 połączenia wideo wysokiej jakości (każda po 3 Mb/s) • 4 sesje gier wieloosobowych, każda z sesją wideo łączy w dół o przepustowości 1,5 Mb/s • 5 kamer bezpieczeństwa (3 Mb/s) • 3 użytkowników przeglądających Internet z treści interaktywne

Ponadto scenariusz obejmował następujący ruch w tle: • 2x Synchronizacja plików (6 Mb/s UL) (np. przesyłanie plików) • 1x Wysyłanie/odbieranie wiadomości e-mail • 4x Ruch OBSS (50 Mb/s) (nakładające się sieci korzystające z tego samego kanału częstotliwości)



Rysunek 5.1 Wpływ OFDMA na opóźnienie sieci w scenariuszu sieci domowej, harmonogram AP firmy Qualcomm Technologies

W tym scenariuszu dane wyraźnie pokazują, że użycie zestawu funkcji OFDMA zapewnia zmniejszenie opóźnień łączy w dół nawet o 40% i zmniejszenie opóźnień łączy w górę nawet o 63%.

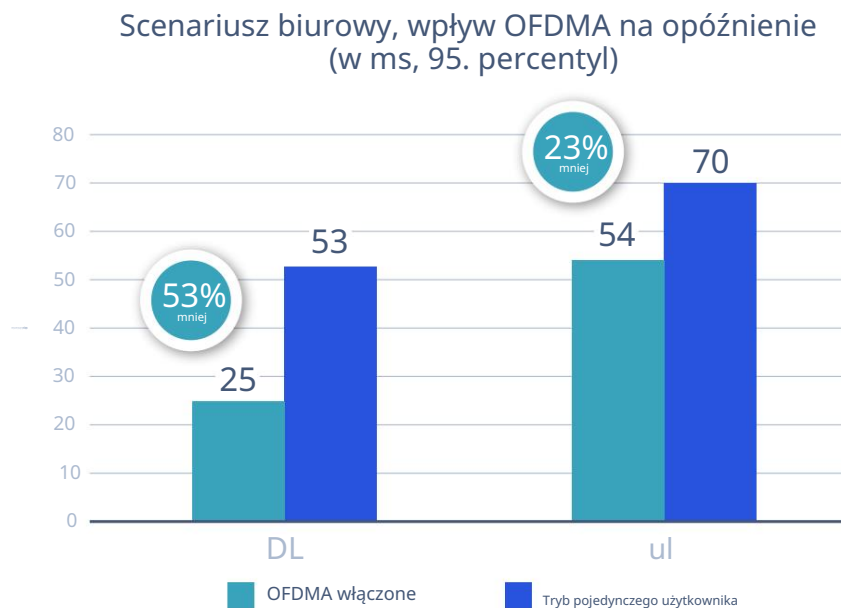
## 5.2 Scenariusz biurowy

Scenariusz biurowy składał się z 20 użytkowników z różnymi zastosowaniami aplikacji. Działalność biurową przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2 Użytkownicy, aplikacje i wzorce ruchu w sieci biurowej

Profil	Podstawowy (P)	drugorzędny (S)	Średnie szybkości transmisji danych (P+S)	# użytkowników
Opóźnienie połączenia audio DUT P2P	Udostępnianie ekranu	Przeglądanie sieci	DL/UL = 2,5/2	8
	Produktywność w chmurze	Wysyłanie/odbieranie poczty		
	Synchronizacja plików	Synchronizacja/Jeden sterownik		
Światło	Wysyłanie/odbieranie poczty	Przeglądanie sieci Web	DL/UL = 3,5/0,2	3
Analityczny	Przeglądanie sieci	Pobieranie/wysyłanie plików	DL/UL = 10/3,3	5
	Wysyłanie/odbieranie poczty	Synchronizacja plików		
		Synchronizacja/Jeden sterownik		
Edukacyjny	Oglądanie wideo: przeglądanie sieci	Wysyłanie/odbieranie poczty	DL/UL = 2,4/2,6	4
	Youtube	Synchronizacja plików		
		Synchronizacja/Jeden sterownik		

Zmniejszenie opóźnienia OFDMA w tym scenariuszu przedstawiono na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2 Wpływ OFDMA na opóźnienie sieci w scenariuszu sieci biurowej, harmonogram AP firmy Qualcomm Technologies



### 5.3 Scenariusz klasowy We

współczesnej 20-osobowej klasie szybko staje się jasne, że pojedyncza sieć AP byłaby nieefektywna bez użycia OFDMA. W tym scenariuszu analiza obejmowała konfigurację z 19 studentami i jednym profesorem, oprócz ruchu w tle generowanego przez nakładające się sieci (np. z innych klas). Konfiguracja obejmowała następujący zestaw użytkowników, aplikacji i wzorców ruchu:

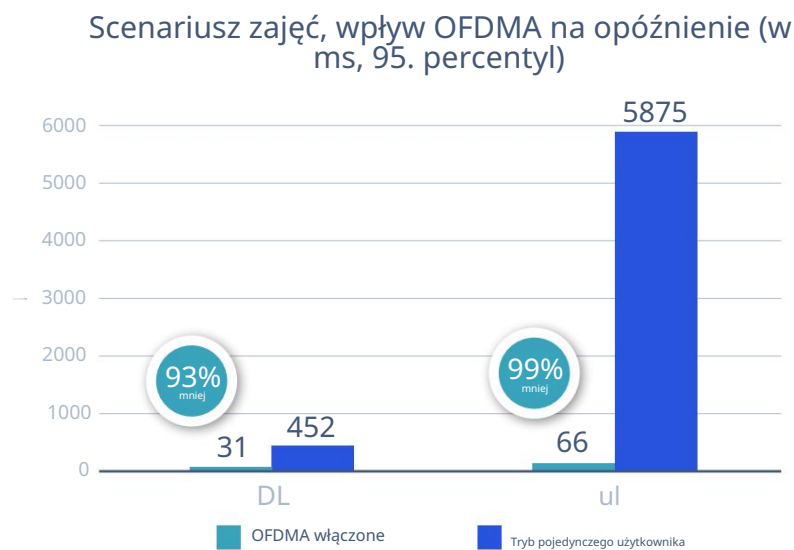
- 20x Wideokonferencje w wysokiej rozdzielczości (3 Mb/s BiDi) AC\_VI • 4x Edycja dokumentów online (wydajność w chmurze) AC\_BE

Dla ruchu w tle zakładamy: • 4x Ruch e-mailowy • 4x

Przeglądanie sieci Web •

4x Przesyłanie

wiadomości • 2x Nakładające się sieci z ruchem 50 Mb/s każda



Rysunek 5.3 Wpływ OFDMA na opóźnienie sieci w scenariuszu nowoczesnej klasy, harmonogram AP firmy Qualcomm Technologies

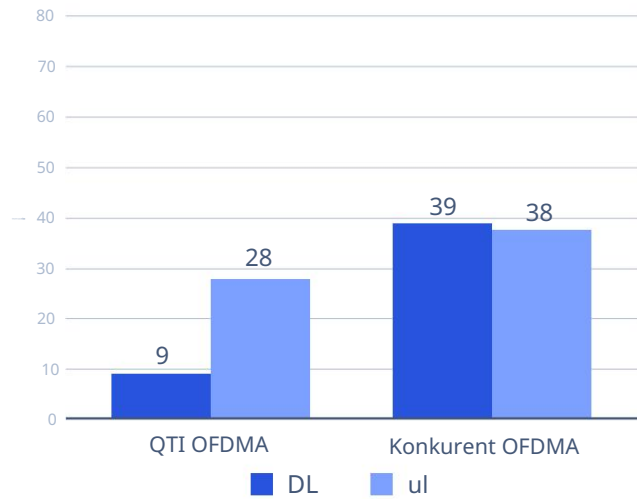
### 6. Znaczenie światowej klasy harmonogramu OFDMA Ze względu

na złożoność, opracowanie wysokiej jakości harmonogramu dla OFDMA wymaga wysokiego stopnia wiedzy na temat sieci bezprzewodowych, a także determinacji do zaangażowania zasobów w celu ciągłego doskonalenia wydajności harmonogramu.

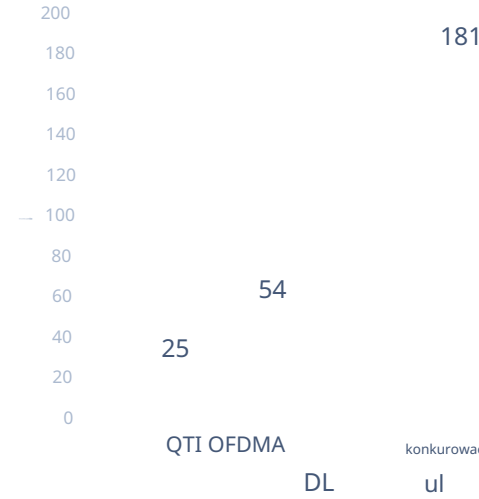
Biorąc pod uwagę fakt, że działanie harmonogramu jest ściśle powiązane ze sprzętem i oprogramowaniem układowym Wi-Fi AP, dostawcy krzemu Wi-Fi odgrywają kluczową rolę w opracowywaniu możliwości planowania OFDM. Harmonogram OFDMA musi równoważyć w czasie rzeczywistym korzystanie z OFDMA w celu zapewnienia korzyści wielu użytkownikom przy relatywnie małych ładunkach lub korzystanie z trybu pojedynczego użytkownika dla użytkowników z dużymi ładunkami. Innym wymaganiami o dużej wartości przy wdrażaniu programu planującego jest zapewnienie producentom oryginalnego sprzętu sieciowego (OEM) odpowiedniego zestawu interfejsów, do których można dodać własne rozszerzenia programu planującego.

Aby podkreślić znaczenie wysokowydajnego harmonogramu OFDMA, w tej analizie porównano wydajność programu planującego punkty dostępowe firmy Qualcomm Technologies z wydajnością punktu dostępowego korzystającego z chipsetu Wi-Fi 6. generacji oferowanego przez wiodącego konkurenta. Testy przeprowadzono przy użyciu najnowszego oprogramowania klasy komercyjnej dostępnego w konkurencyjnym projekcie w drugiej połowie 2020 r.

Strona główna Opóźnienia scenariuszy,  
QTI OFDMA i konkurencyjna implementacja OFDMA

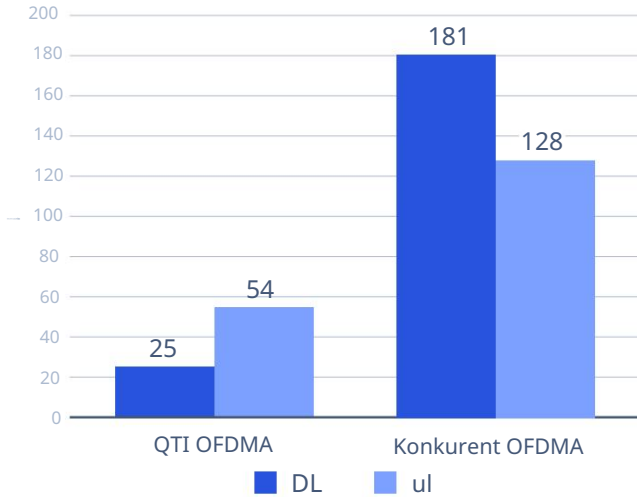


Opóźnienia w scenariuszu pakietu Office  
QTI OFDMA i konkurent OFDM



scenarij opóźnienia,  
petytor Implementacja OFDMA

Opóźnienia scenariuszy pakietu Office,  
QTI OFDMA i konkurencyjna implementacja OFDMA

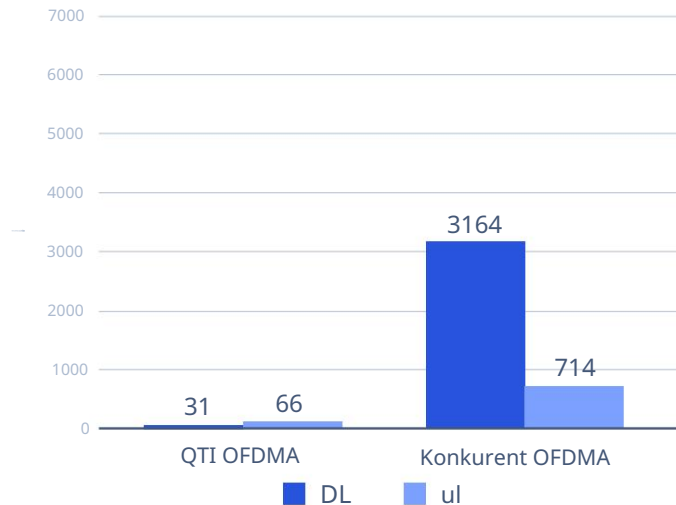


Scenariusz zajęć la  
QTI OFDMA i konkurent OFD



małe opóźnienia,  
autor implementacji OFDMA

Opóźnienia scenariuszy zajęć,  
QTI OFDMA i konkurencyjna implementacja OFDMA



Rysunek 6.1 Porównanie opóźnień według scenariusza; Qualcomm Technologies'  
OFDMA, konkurencyjna implementacja OFDMA, opóźnienie 95. percentyla w milisekundach (ms)

Ta liczba pokazuje, pod względem osiągniętych opóźnień, że harmonogram OFDMA firmy Qualcomm Technologies znacznie przewyższał implementację konkurencji. W scenariuszu domowym połączona przewaga łącza downlink i uplink firmy Qualcomm Technologies była ponad 2 razy większa niż w przypadku konkurencji. W scenariuszu biurowym przewaga Qualcomm Technologies była prawie 4-krotna. Ponadto implementacja konkurencji była w stanie obsłużyć opóźnienia łącza w dół przekraczające 3 sekundy w scenariuszu klasowym, czyniąc ją funkcjonalnie bezużyteczną.

### Porównanie obciążonych sieci Aby

przeanalizować ogólną wydajność systemów zarówno pod kątem opóźnień, jak i przepustowości, należy w pełni przetestować analizowany system, dodając ruch w tle. Systemy generacji Wi-Fi 6 mają duży potencjał przepustowości, dlatego scenariusze z niewielkim obciążeniem ruchu nie będą podkreślać zalet przepustowości wynikających z korzystania z OFDMA.

Rysunek 6.2 poniżej pokazuje wpływ korzystania z funkcji OFDMA zarówno na opóźnienia, jak i na przepustowość systemów, które działają w przypadku pełnego buforowania ruchu w tle.

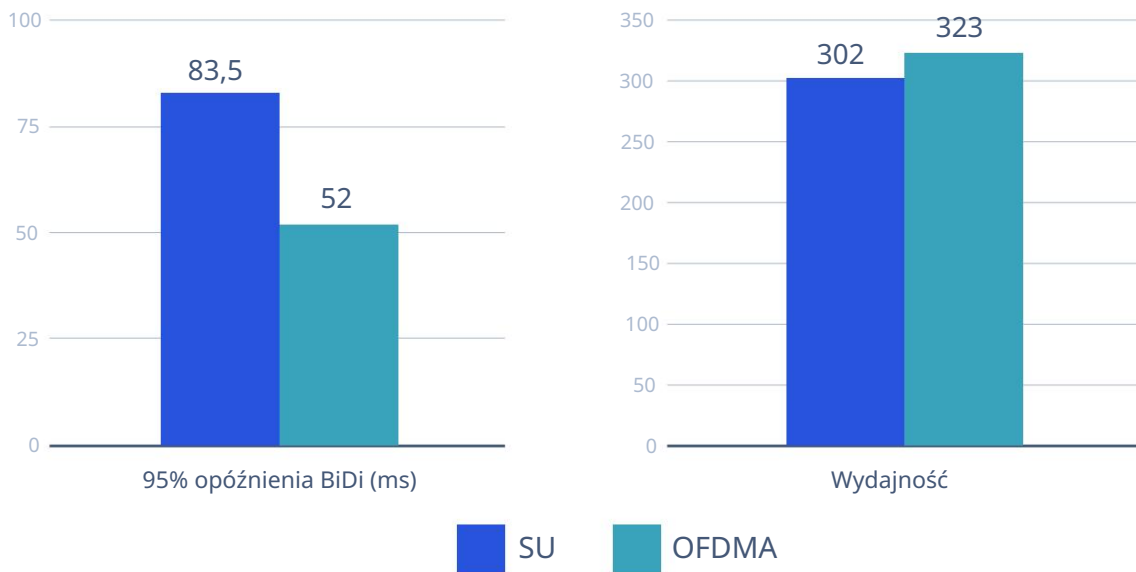


Rysunek 6.2 Wpływ na opóźnienie (95 percentyl, w milisekundach) i przepustowość systemów (w Mb/s) 4, 8 i 18 użytkowników VoIP, tryb pojedynczego użytkownika (SU) w porównaniu z OFDMA z pełnym buforem ruchu w tle

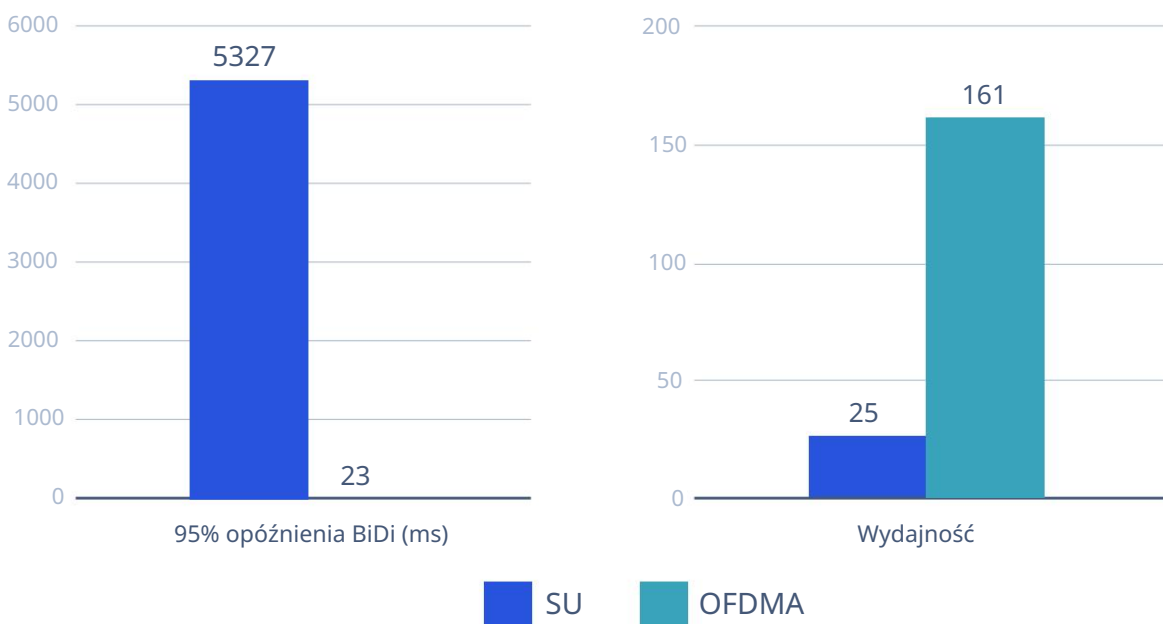
Te dane ilustrują, że korzystanie z OFDMA w tym w pełni obciążonym scenariuszu sieci przyniosło znaczne korzyści w zakresie opóźnień dla ruchu VoIP. Pokazuje również, że OFDMA utrzymywał ogólną przepustowość systemów znacznie lepiej po dodaniu dodatkowych użytkowników VoIP w porównaniu z opóźnieniem SU.

Inne przykłady korzyści OFDMA dla w pełni załadowanych ustawień sieciowych w różnych scenariuszach ruchu przedstawiono na rysunku 6.3 poniżej. W tym przypadku porównywane są działania pojedynczego użytkownika (SU) i OFDMA zarówno dla gry dwukierunkowej (łącze w górę i łącze w dół), jak i scenariusza wideo łącza w górę.

### 5GHE40 18 użytkowników BiDi Gaming z 4 AC pełnym buforem ruchu w tle



### Ruch AC\_VO 5GHE80 36 użytkowników UL 1,5 Mb/s z 4 ruchami AC w tle z pełnym buforem

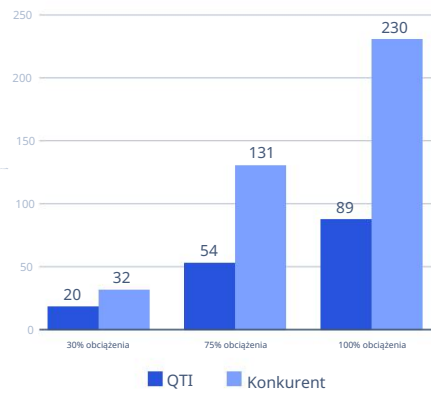


Rysunek 6.3 Wpływ na opóźnienie (95. percentyl, w milisekundach) i przepustowość systemu (w Mb/s) w trybie pojedynczego użytkownika (SU) w porównaniu z OFDMA z ruchem w tle z pełnym buforem dla dwukierunkowego scenariusza gier i scenariusza przesyłania wideo (AC\_VO)

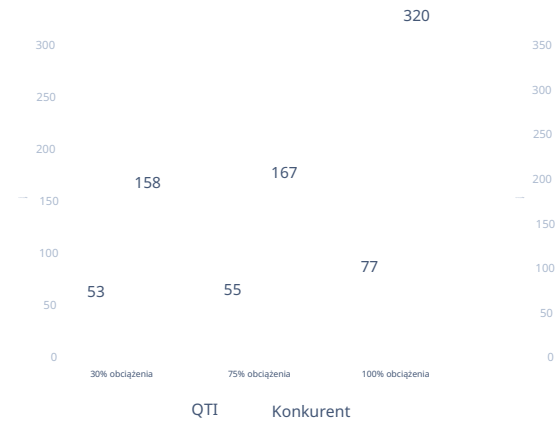


**Porównanie wydajności obciążonej sieci z implementacją konkurencji** Wreszcie, aby ustalić przewagę konkurencyjną implementacji harmonogramu OFDMA przez firmę Qualcomm Technologies, przeprowadzono dodatkową analizę w celu wykazania różnic w opóźnieniach uzyskanych dla scenariuszy użytkowników o różnym typie ruchu (gry, VoIP i wideo). Dla każdego z tych scenariuszy przetestowaliśmy trzy różne obciążenia ruchu w tle (30%, 75% i 100%). Podobnie jak w poprzednich przypadkach, analiza ta porównała AP firmy Qualcomm Technologies z chipsetem AP Wi-Fi 6. generacji od wiodącego konkurenta. Testy przeprowadzono przy użyciu najnowszego oprogramowania klasy komercyjnej dostępnego w konstrukcji konkurencyjnej w drugiej połowie 2020 r.

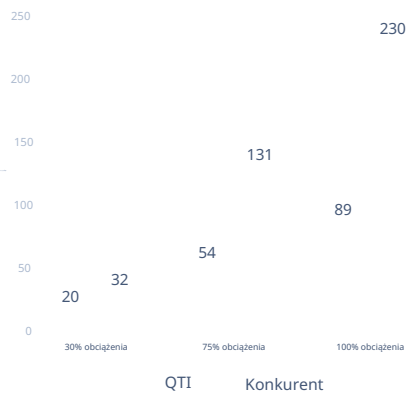
Opóźnienie (95. percentyl) dla 36 użytkowników gier według scenariusza obciążenia sieci (ms) QTI vs konkurencja



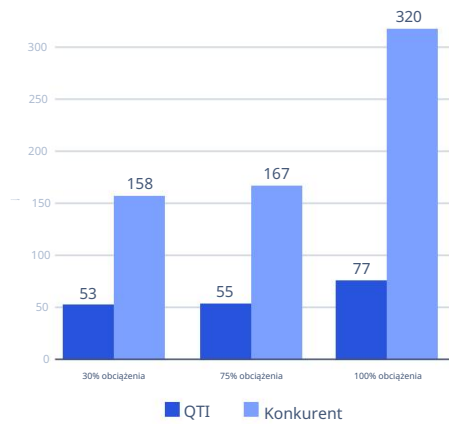
Opóźnienie (95. percentyl) dla 36 użytkowników VoIP według scenariusza obciążenia sieci QTI w porównaniu z konkurencją



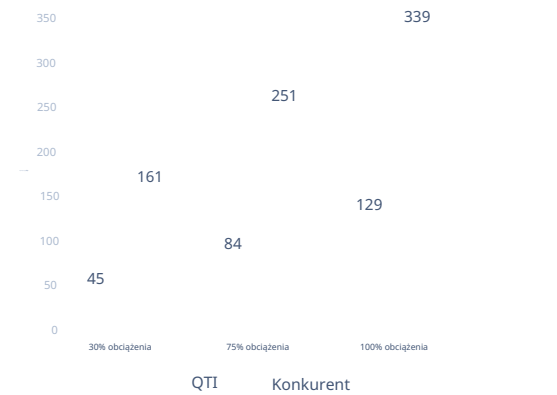
Opóźnienie (95. percentyl) dla 36 użytkowników gier według scenariusza obciążenia sieci (ms) QTI vs konkurencja



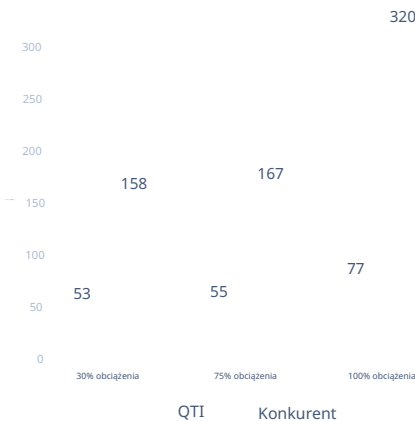
Opóźnienie (95. percentyl) dla 36 użytkowników VoIP według scenariusza obciążenia sieci QTI w porównaniu z konkurencją



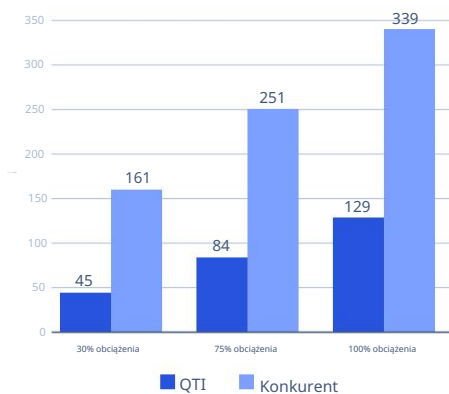
Opóźnienie (95. percentyl) dla 18 użytkowników BiDi Video według scenariusza obciążenia sieci QTI w porównaniu z konkurencją



Opóźnienie (95. percentyl) dla 36 użytkowników VoIP według scenariusza obciążenia sieci QTI w porównaniu z konkurencją



Opóźnienie (95. percentyl) dla 18 użytkowników BiDi Video według scenariusza obciążenia sieci QTI w porównaniu z konkurencją



Rysunek 6.4 Opóźnienie (95. percentyl, w milisekundach) dla systemów OFDMA firmy Qualcomm Technologies i systemów konkurencji według scenariusza typu ruchu i obciążenia ruchem w tle

Analiza pokazuje, że implementacja OFDMA firmy Qualcomm Technologies znacznie przewyższyła implementację systemu konkurencji. Średnio w scenariuszu dotyczącym gier uzyskano prawie 2-krotną przewagę opóźnienia, 3,5-krotną przewagę opóźnienia w przypadku scenariusza ruchu VoIP i 3-krotną przewagę opóźnienia w scenariuszu wideo dwukierunkowego.

Przeanalizowano czwarty scenariusz ruchu dla przesyłania wideo o dużej gęstości, ale tylko implementacja firmy Qualcomm Technologies była w stanie działać efektywnie. Scenariusz ten składał się z 36 klientów prowadzących jednocześnie ruch wideo uplink (np. przypominający doświadczenie na stadionie/kinie z przesyłaniem do mediów społecznościowych). W tym scenariuszu implementacja OFDMA firmy Qualcomm Technologies była w stanie zapewnić opóźnienia poniżej 31 ms dla wszystkich scenariuszy obciążenia ruchem w tle. Implementacja konkurencji obniżyła wszystkie istotne możliwości wydajności w tym scenariuszu z opóźnieniami znacznie przekraczającymi 3 sekundy (3000 ms), niezależnie od zastosowanego obciążenia ruchu w tle.

## 7. Wnioski W tym

omówieniu technologii przedstawiono kluczowe innowacje w zakresie sieci Wi-Fi dostarczone przez OFDMA. Poprzez analizę zestawu rzeczywistych scenariuszy wykazaliśmy znaczący pozytywny wpływ korzystania z OFDMA na wrażenia klientów związane z opóźnieniami sieci. W szczególności wpływ ten jest bardzo istotny w przypadku aplikacji działających w czasie rzeczywistym, takich jak gry i połączenia głosowe/wideo. Ponadto w jednym scenariuszu (w sali lekcyjnej) wykazano, że sieć nie może efektywnie działać bez wykorzystania OFDMA. W kolejnej serii analiz wykazaliśmy łączną przepustowość sieci (zagregowaną przepustowość) i korzyści związane z opóźnieniami wynikające z używania OFDMA w sieciach Wi-Fi 6.

Po zademonstrowaniu znaczącego pozytywnego wpływu, jaki może zapewnić OFDMA, w tym opracowaniu postanowiono ustalić krytyczny czynnik umożliwiający uzyskanie tego wpływu, a mianowicie harmonogram sieci. Opracowanie światowej klasy harmonogramu dla OFDMA wymaga wysokiego stopnia wiedzy na temat sieci bezprzewodowych, a także zasobów i wytrzymałości, aby stale poprawiać wydajność harmonogramu. Porównanie harmonogramu OFDMA firmy Qualcomm Technologies z implementacją wykorzystującą chipset wiodącego konkurenta pokazuje znaczące zalety wydajnościowe firmy Qualcomm Technologies pod względem opóźnień i przepustowości sieci.