

Antoni Masiukiewicz
Akademia Finansów i Biznesu Vistula – Warszawa

WYMAGANIA I ROZWIĄZANIA W SIECIACH WLAN NOWEJ GENERACJI

Streszczenie

Trwają intensywne prace nad rozwojem standardu 802.11. Udostępniono pierwsze specyfikacje standardu 802.11ax. Zakończenie prac jest przewidywane w 2019r. Nowy standard ma zapewnić radykalną poprawę rzeczywistych parametrów tak, aby spełnić niełatwe wymagania stawiane przed tą technologią w kolejnych dekadach. W artykule omówiono kluczowe ograniczenia aktualnych wersji standardu oraz kierunki działań i proponowane rozwiązania. Przedstawiono stan aktualnych prac nad rozwojem standardu.

Słowa kluczowe: 802.11ax, WLAN o dużej wydajności, komunikacja urządzenie-urządzenie.

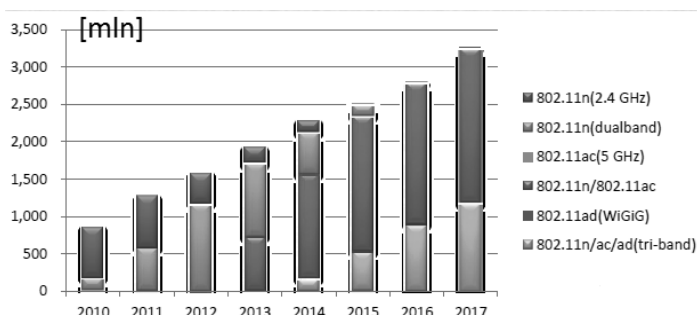
Kody JEL: L86

Wstęp

Pierwsze stabilne wersje standardu 802.11 udostępniono w 1997 roku (Hertz 2010). Wykorzystanie ogólnie dostępnych częstotliwości w pasmach ISM pozwoliło na szybki rozwój tej technologii. Początkowo była to alternatywa dla technologii bezprzewodowych, potem jako końcówka zapewniająca dostęp do Internetu w sieciach domowych. Obecnie mamy 7 pełnych standardów i kilkadziesiąt opcji, które wprowadzają wybrane funkcjonalności. Trwają prace nad nowym pełnym standardem, w którym planuje się wprowadzenie nowych rozwiązań. Celem jest spełnienie wymagań użytkowników w nadchodzącej dekadzie.

Obecnie do dwóch najpopularniejszych standardów 802.11 należą wersje n i ac. Wersje te zostały ostatecznie wdrożone odpowiednio w latach 2009 i 2013. Na wykresie 1 pokazano wolumen produkcji różnych typów chipsetów obsługujących technologie 802.11. O ile ciągle wykorzystywane są urządzenia Wi-Fi zawierające starsze wersje standardu o tyle od 2015 roku produkcja została zdominowana przez urządzenia dwu (n+ac) i trzy systemowe (n+ac+ad).

Wykres 1. Zmiany w wolumenie produkcji chipsetów w różnych wersjach standardu 802.11



Źródło: Osama Abdul Magd (2014).

Wydaje się, że okres dominacji tych systemów dobiegnie końca w tej dekadzie. Nowe wymagania dotyczące Wi-Fi związane z nowymi perspektywami wykorzystania tej technologii spowodowały intensywne prace nad kolejną pełną wersją standardu. Mimo iż standard wykorzystuje pasma ISM i był w pewnym sensie dedykowany użytkownikom indywidualnym, to jego zalety spowodowały zainteresowanie firm oferujących rozwiązania komunikacyjne. Ocenia się (Bellalta 2015; 2017), że koniec dekady przyniesie znaczący wzrost zapotrzebowania na sieci Wi-Fi, ale takie, które sprostają innym wymaganiom. Wymagania te określa się skrótem HEW (High Efficiency WLAN). Odnoszą się one do przyszłych zastosowań Wi-Fi. Przewiduje się (Bellalta 2015; 2017), że Wi-Fi będzie coraz powszechniej wykorzystywane do zapewnienia bieżącej komunikacji w wielu środowiskach takich jak stadiony, komunikacja miejska, budynki o dużym zagęszczeniu użytkowników. Ponieważ użytkownicy coraz częściej będą potrzebowali materiałów i transmisji multimedialnych w czasie rzeczywistym, to nowy standard Wi-Fi musi zapewnić lepsze parametry użytkowe, jednak nie będą się liczyć maksymalne osiągi w specjalnych warunkach zdefiniowane w standardzie, ale fakt czy użytkownik może zrealizować transmisję czy nie może.

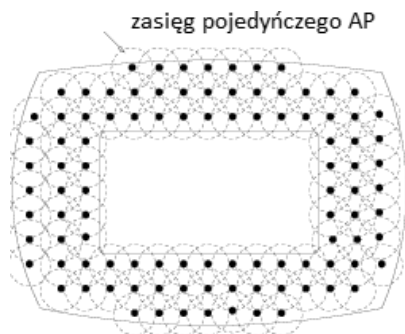
Wiele nowych technologii jest analizowanych i ocenianych pod kątem możliwości wykorzystania w nowym standardzie. Do rozwiązań takich można zaliczyć: mechanizm HARQ, większe CP, nowe techniki nadawania OFDMA, SDMA, OFDM-IDMA, FFR, TD-uCSMA, dynamiczne łączenie kanałów, poprawa funkcjonalności warstwy MAC – DSC, priorytetyzacja ruchu QoS, transmisje typu multicast, MIMO/beamforming – masowe wykorzystanie technologii MIMO w tym DL/UL MU, wykorzystanie beamforming w rozwiązaniu OBSS i w zarządzaniu interferencjami, wykorzystanie duplexu -STR. Jednocześnie trwają prace nad szeregiem nowych opcji standardu 802.11 i nad nowym standardem o nazwie 802.11ax.

Rozszerzenia funkcjonalności są przygotowywane w ramach opcji aa, ak, ai, aq, ay (rozwięcia standardu ad) i ah. Wymagania zgodne z HEW powinny być spełnione w ramach standardu 802.11ax, który jest następcą standardów 802.11n i ac. Autor w następnych punktach omówił aktualne ograniczenia standardu 802.11, kierunki rozwoju, nowe technologie które mają zapewnić spełnienie wymagań HEW oraz aktualny stan prac nad standardem 802.11ax.

Nowe Wymagania

Pod hasłem „nowe wymagania” kryje się obecnie kilka pomysłów na wykorzystanie Wi-Fi w kolejnych dekadach. HEW, czyli poprawa efektywności standardu w trudnych warunkach. Przez trudne warunki rozumiemy przede wszystkim duże zagęszczenie użytkowników i stacji dostępowych. Jednocześnie następuje zmiana preferencji użytkowników. Chcą oglądać na żywo transmisje multimedialne. Przykładowe scenariusze pokazano na rysunkach 1a-c. Trzy podstawowe przyszłe struktury Wi-Fi dotyczą miejsc o bardzo dużej liczbie użytkowników zgromadzonych na małej przestrzeni. Stadiony mogą wymagać konieczności obsłużenia użytkowników Wi-Fi których ilość przekracza 50000. Ocenia się, że będzie to wymagać 1000 i więcej punktów dostępowych. Dotychczasowy stan infrastruktury nie zapewnia QoS dla takich struktur. Przykładowy rozkład AP na stadionie pokazano na rysunku 2a.

Rysunek 1a. Rozkład punktów dostępowych na stadionie

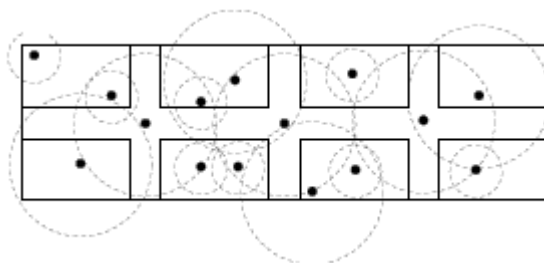


Źródło: Bellalta (2015).

Rysunek 1b. Rozkład punktów dostępowych w pociągu



Źródło: jak w rysunku 1a.

Rysunek 1c. Rozkład punktów dostępowych w budynku wielo-mieszkaniowym

Źródło: jak w rysunku 1a.

Środki komunikacji miejskiej i transportu dalekobieżnego to drugi obszar oczekujący dostępu do Wi-Fi. Dotyczy to metra, autobusów, tramwajów i pociągów. Obecnie podróżni zazwyczaj korzystają z własnych środków dostępu do Internetu i są to zwykle urządzenia wykorzystujące sieci mobilne. W niektórych środkach transportu, takich jak metro i pociągi, powstały instalacje wewnętrzne wspomagające dostęp do sieci mobilnych. O ile instalacje na stadionie i w komunikacji mogą zostać starannie zaplanowane w zakresie rozmieszczenia punktów dostępowych i możemy zastosować dostępne dla sieci Wi-Fi metody zarządzania, o tyle w przypadku budynków wielorodzinnych ciągle mamy sytuacje, w których przydział kanałów ma charakter przypadkowy, a ich rozkład jest chaotyczny. W takich lokalizacjach jednym z rozwiązań może być dynamiczne przydzielanie kanałów za pomocą narzędzi zdolnych do pracy w środowisku, w którym brakuje koordynacji i nadzoru. Narzędzia takie musiałyby być skuteczne w sytuacji, gdy wielu użytkowników jednocześnie potrzebuje optymalizacji połączenia. Największe problemy są związane z poziomem interferencji i kolizjami. Kolizje występują w sieciach o dużej liczbie użytkowników, podczas gdy interferencje są związane z dużą liczbą punktów dostępowych na danym obszarze. Obecnie mechanizmy w warstwie MAC nie zapewniają efektywnej komunikacji w obszarze o dużej gęstości użytkowników i punktów dostępowych.

Oprócz konieczności efektywnej obsługi transmisji w otoczeniu o dużej liczbie stacji i punktów dostępowych pojawiły się również zupełnie nowe perspektywy wykorzystania Wi-Fi. Do nowych rozwiązań można zaliczyć: Robust Audio Video Transport Streaming, TV White Spacer i Machine-to Machine communications.

Ograniczenia Standardu 802.11

Obecnie stosowane mechanizmy dostępu i kontroli w warstwie MAC są niedostosowane do pracy w otoczeniu charakteryzującym się znacznym zagęsz-

czeniu punktów dostępowych i stacji roboczych (Ketonem 2014). Mechanizm wykorzystujący CW (Contention Window) and BackOff Time jest mało elastyczny. Wartości początkowe CW są predefiniowane, mimo iż dla sieci z małą liczbą stacji wskazane byłoby zmniejszenie tych wartości (Dolińska i in. 2015, 2015a). Również protokół CCA (Clear Channel Assesment) nie zapewnia odpowiedniej efektywności (Ketonem 2014). System interwałów czasowych i BackOff Time nie zapobiega kolizjom szczególnie w sytuacji, gdy rośnie liczba stacji obsługiwanych przez dany punkt dostępowy (Dolinska i in. 2014; 2014a). Liczba kolizji wynika wprost z mechanizmów zastosowanych w standardzie i może być wyrażona za pomocą zależności matematycznych. Model zaproponowany w literaturze (Dolińska i in. 2014a) pozwala na matematyczne wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia kolizji w kolejnych krokach mechanizmu MAC. Model opracowano dla następujących założeń:

- jeden kanał jest dostępny dla transmisji,
- n stacji jest przypisanych do jednego AP,
- AP ma taki sam mechanizmu dostępu do kanału jak inne stacje,
- ilość kolejnych kolizji nie może przekroczyć $k=7$.

Jeżeli przez A oznaczmy zdarzenie, w którym podczas pierwszego losowania CW wystąpił konflikt, to pierwsze losowanie jest pierwszą walką o dostęp w ramach schematu DCF. Przypomnijmy, że na początku każda stacja pobiera losowo wartość CW (Contention Window), która jest liczbą całkowitą między 0 a 15. Następnie stacja, która wyciągnęła najmniejszą liczbę, uzyskuje dostęp do AP. Konflikt pojawia się, gdy dwie lub więcej stacji narzysują ten sam, najmniejszy numer. W tym przypadku losowanie jest powtarzane, ale z zakresem, który jest dwukrotnie dłuższy, tzn. każda stacja losuje liczbę całkowitą między 0 a 31. W przypadku następnego konfliktu zakres zwiększa się dwukrotnie i tak dalej, aż do prawego końca zakresu który osiągnie wartość $1023 = 2^{10} - 1$. Następnie procedura zaczyna się od początku. Załóżmy, że liczba stacji jest równa n ($n \geq 2$) i niech A ,będzie uzupełnieniem A. Zdarzenie A' (wskazujące na brak konfliktu) występuje, gdy jedna z stacji (n możliwości) losuje liczbę 0 a każda z pozostałych ($n-1$) stacja losuje liczbę większą niż 0 (15 możliwości) lub gdy tylko jedna stacja pobiera numer 1, a każda z pozostałych ($n - 1$) stacji losuje liczbę większą niż 1 (14 możliwości) itd. Ponieważ zdarzenia wzajemnie się wykluczają otrzymujemy następujący wzór prawdopodobieństwa $P(A,)$ z A':

$$P(A') = \frac{n}{16^n} (15^{n-1} + 14^{n-1} + \dots + 2^{n-1} + 1) = \frac{n}{16^n} \sum_{j=1}^{15} j^{n-1} \quad (1)$$

W tym przypadku prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji w pierwszym losowaniu jest opisane następującym wzorem:

$$p_1 = P(A) = 1 - P(A') = 1 - \frac{n}{16^n} \sum_{j=1}^{15} j^{n-1} \quad (2)$$

Analogicznie prawdopodobieństwo kolizji p_2 w drugim losowaniu wyniesie:

$$p_2 = 1 - \frac{n}{32^n} \sum_{j=1}^{31} j^{n-1} \quad (3)$$

Przy założeniu, że wystąpi (k-1) kolizji w (k-1) kolejnych losowaniach, prawdopodobieństwo kolizji k^{th} w kolejnym losowaniu wyniesie:

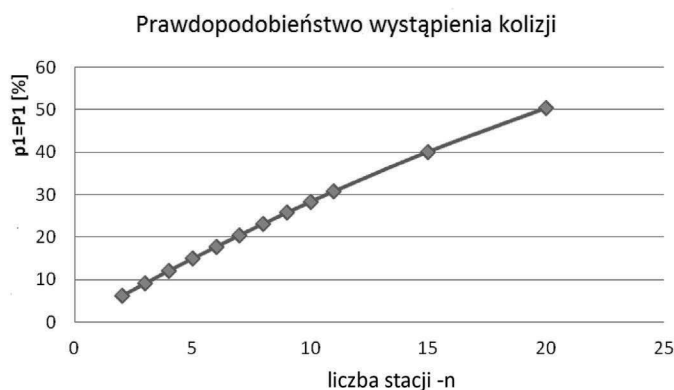
$$p_k = 1 - \frac{n}{2^{(3+k)n}} \sum_{j=1}^{2^{3+k}-1} j^{n-1} \quad (4)$$

Stąd prawdopodobieństwo szeregu kolejnych kolizji P_k dla k ($k \leq 7$), możemy wyrazić wzorem:

$$P_k = p_1 p_2 \dots p_k \quad (5)$$

Na wykresie 3 pokazano prawdopodobieństwo kolizji przy pierwszym losowaniu w funkcji ilości stacji obsługiwanych przez dany AP.

Wykres 3. Prawdopodobieństwo kolizji dla $n=20$ (20 użytkowników)



Źródło: Dolińska i in. (2014a).

Prawdopodobieństwo kolizji osiąga wartość ok. 50% w przypadku, gdy jeden punkt dostępowy obsługuje 20 stacji. Oczywiście biorąc pod uwagę powyższe zależności (1-5) prawdopodobieństwo wystąpienia dwóch i więcej kolejnych kolizji radykalnie spada. Efektem kolizji jest oczywista konieczność retransmisji. Rozszerzeniem podstawowego modelu komunikacji DCF jest dodanie wymiany dwóch krótkich komunikatów RTS/CTS przed wysłaniem samej ramki danych. Mają one długość odpowiednio RTS – 20 bajtów, a CTS – 14 bajtów i wysyłane są z najniższą prędkością. Komunikaty te rezerwują kanał radiowy na czas obejmujący wysłanie obu tych komunikatów oraz ramki danych i potwierdzenia ACK wraz z rozdzielającymi je odstępami czasowymi. Stacje nie uczestniczące w wymianie danych wykorzystują ramki RTS i CTS do aktualizacji wektora NAV.

W tym schemacie komunikacji ramka RTS jest wysyłana po wygrananiu przez stację rywalizacji (czyli na zakończenie procedury backoff). Natomiast wszystkie pozostałe ramki: CTS, dane i ACK są wysyłane po krótszym odstępie SIFS (nie ma już tutaj dodatkowej rywalizacji przed wysłaniem ramki danych).

Jeśli wystąpiła kolizja w schemacie podstawowym, to czas kolizji (czyli czas zmarnowanej przepustowości kanału transmisyjnego) jest równy czasowi, jaki zajęłoby przesyłanie danych oraz potwierdzenia bez kolizji:

$$T_{C1} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{PH} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (6)$$

Natomiast w przypadku wystąpienia kolizji w schemacie rozszerzonym marnowany jest tylko czas potrzebny na wymianę komunikatów RTS i CTS wraz z obowiązkowymi odstępami:

$$T_{C2} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} + T_{CTS} \quad (7)$$

W przypadku schematu rozszerzonego DCF, czas stracony w przypadku kolizji jest zdecydowanie krótszy ponieważ nie są przesyłane dane.

Kolejnym problemem w sieciach 802.11 jest zastosowany system antenowy. Mamy dwie możliwości – anteny dookólne i anteny kierunkowe. Jeżeli używane są jednocześnie oba systemy, to część zalet systemu MIMO (Multiple Input Multiple Output) jest tracona. Stacje nadające w systemie dookólnym zakłócają wszystkie pozostałe podnosząc poziom interferencji w przypadku, gdy transmisja jest realizowana w ramach różnych punktów dostępowych.

W standardzie 802.11 brakuje mechanizmów dynamicznego sterowania mocą. Stacje będące blisko punktu dostępowego mogą nadawać z pełną mocą, mimo iż nie jest to konieczne z punktu widzenia optymalizacji przepływności. W tej sytuacji rośnie poziom interferencji z punktu widzenia innych AP na danym obszarze.

Standard 802.11 charakteryzuje się walką o dostęp do nośnika. Podstawowy mechanizm w warstwie MAC to DCF. Drugi, który zyskuje na popularności to EDCA. Ten system dostępu wiąże się z szeregiem niepożądanych zjawisk, takich jak: kolozje, retransmisje, interwały czasowe i BackOff Time, konieczność przekazywania danych kontrolnych i sterujących. Interwały czasowe i BackOff Time powodują wystąpienie czasu martwego, tzn. czasu, w którym kanał jest wolny, jednak ze względu na sytem dostępu wszystkie stacje czekają na uzyskanie dostępu, przy czym po zakończeniu czasu martwego może wystąpić kolizja (Dolinska i in. 2013). Zjawiska te są losowe i można jedynie oceniać prawdopodobieństwo ich wystąpienia, które w istotny sposób zależy od zagęszczenia punktów dostępowych i stacji na danym obszarze. Wprowadzenie w standardach 802.11n i ac agregacji danych poprawiło stosunek ilości informacji sterujących i kontrolnych do ilości danych.

Starsze technologie nie rozwiązują do końca problemu lokalizacji, w którym występuje duże zagęszczenie odbiorców wymagających szerokiego pasma i transmisji multimedialnych. Można oczywiście poprowadzić kable, ale ma to jednak swoje wady. W takich sytuacjach konieczne jest zazwyczaj bardzo staranne planowanie połączone z dużą liczbą punktów dostępowych o małym zasięgu (Heereman i in. 2011; Aruba 2010; Florwick 2011; Xirrus 2011).

Do kolejnych kwestii, które nie są rozwiązane, a w istotny sposób wpływają na efektywność systemu można zaliczyć:

- brak narzędzi użytkownika do optymalizacji sieci,
- sposób transmisji typu half-duplex, który ogranicza przepływność na poziomie systemu o połowę,
- brak mechanizmów dostosowujących parametry transmisji do bieżących potrzeb użytkownika.

Niedoskonałości standardu 802.11 z jednej strony, jak również postęp technologiczny oraz ciągła zmiana wymagań i potrzeb użytkowników wymuszają nieustanne prace nad nowymi wersjami standardu i dodatkowymi funkcjami.

Nowe Mechanizmy w Standardzie 802.11

Aktualnie trwają prace nad nowymi funkcjonalnościami oraz nad nowym standardem 802.11 ax. Głównym celem jest dopasowanie standardu 802.11 do wyzwań związanych z rozwojem komunikacji elektronicznej. Konieczne jest poprawienie efektywności i elastyczności standardu tak, aby sprostać wymaganiom stawianym w otoczeniu charakteryzującym się dużym nasyceniem punktów dostępowych i stacji roboczych. Jak zwykle konieczny jest wzrost przepływności, ale coraz częściej mówi się o rzeczywistej przepływności, która zabezpieczy skutecznie potrzeby klienta, a nie o maksymalnych parametrach systemu które można uzyskać w ściśle określonych warunkach, które zależą od odległości od AP, poziomu interferencji, wersji standardu itd. Nowe wymagania są określane jako HEW (High Efficiency WLANs). W tabeli 1 porównano wymagania stawiane poprzednim wersjom standardu 802.11 z wymaganiami dotyczącymi HEW.

Tabela 1. Wymagania na parametry standardu 802.11

Wyszczególnienie	802.11 a-ac	802.11 HEW- 802.11 ax
Cele	Zwiększenie przepływności danego kanału	Zwiększenie średniej przepływności na użytkownika w obszarze o dużym zagęszczeniu stacji
Scenariusze	Jeden użytkownik + jedna aplikacja w pomieszczeniu	Wielu klientów + wiele aplikacji w pomieszczeniu i w terenie otwartym
Mierniki	Przepływność kanału, przepływność zagregowana	Średnia przepływność, przepływność obszaru

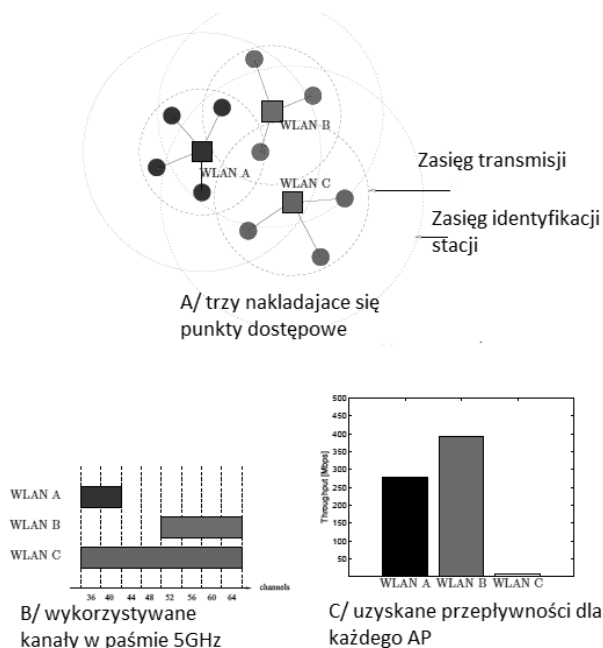
Źródło: Ketonem (2014).

Nowe technologie są rozważane z punktu widzenia poprawienia parametrów standardu. Nowe rozwiązania można sklasyfikować w sześciu następujących grupach:

- poprawa maksymalnej przepływności – mechanizm HARQ (Hybrid Automatic Repeat Req.), większe CP (Contention Period),
- nowe schematy nadawania – OFDMA, SDMA, OFDM-IDMA, FFR, TD-uCSMA, łączenie kanałów,
- poprawa funkcjonalności warstwy MAC – DSC (Dynamic Sensitivity Control), priorytetyzacja ruchu QoE, transmisje typu multicast,
- zarządzanie obszarami BSS – zarządzanie interferencjami, redukcja informacji kontrolnych, zarządzanie antenami, zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów,
- MIMO/beamforming – masowe wykorzystanie technologii MIMO w tym DL/UL MU, wykorzystanie beamforming w rozwiązaniu OBSS i w zarządzaniu interferencjami,
- nowe mechanizmy MAC i PHY – wykorzystanie duplexu STR (Simultaneous Transit and Receive).

Obecne technologie, takie jak CSMA/CA, CCA w połączeniu z wysokim poziomem mocy nadawania mogą doprowadzić do nieefektywnego wykorzystania widma. Przykład pokazano na rysunku 3.

Rysunek 3. Nierówności w uzyskanej przepływności dla w przypadku trzech nakładających się AP w paśmie 5GHz



Źródło: Bellalta i in. (2015).

Mimo iż sieć C wykorzystuje najszerszy kanał, to ze względu na interferencje pochodzące od sieci A i B uzyska najmniejszą praktyczną przepływność. Rozwiązaniem problemu może być kombinacja doboru poziomu mocy nadawanej, poziomu CCA i zastosowanie anten kierunkowych. Aby odnieść skutek i poprawić przepływność dla danego obszaru musi to być rozwiązanie kompleksowe. Problemem pozostaje kwestia tzw. stacji ukrytych, które są w zasięgu wybranych AP na danym obszarze. Kierunkowość może ten problem pogłębić, ponieważ mniejszy obszar jest zakłócany przez interferencje ale rośnie potencjalna liczba stacji, dla których kanał jest wolny.

Z kolei zmniejszenie ilości informacji sterujących kontrolnych jest możliwe przez agregację pakietów. To rozwiązanie było już wstępnie wprowadzone w standardzie 802.11n. Istnieją dalsze możliwości ograniczenia tych informacji przez: zastosowanie nagłówków o zmiennych długościach i wypełnianie jedynie niezbędnych pól, zastosowanie skróconych identyfikatorów zamiast pełnego adresu MAC, piggybacking ACK z danymi. Jednak powyższe rozwiązania wymagają modyfikacji w warstwie MAC protokołu EDCA, m.in. ustawień w NAV.

Dodatkowy czas i obniżona przepływność to efekt retransmisji. Mogą one być wynikiem kolizji, ale również wynikają z określonej stopy błędów bitów i pakietów BER /PER oraz ze zbyt dużego poziomu interferencji i zbyt niskiego poziomu współczynnika SINR (Signal to Interferencje and Noise Ratio). Również w tym obszarze trwają prace nad mechanizmem ARQ modyfikującym zasady retransmisji.

Duże nadzieje są związane ze zmianą sposobu nadawania z półduplexu na pełen duplex. W tej kwestii rezerwy tkwią po stronie stacji roboczych, które mają o połowę mniejszą wydajność. Połowa jest oczywiście hasłem, rzeczywista starta wydajności wynika ze stosunku wielkości strumieni od stacji do punktu dostępowego UP-Link (UL) i od punktu dostępowego do stacji DOWN-Link (DL). Mechanizm STR może poprawić w znaczący sposób przepływność dla danej stacji, ale wymaga to niewątpliwie modyfikacji w warstwie MAC i protokole EDCA. Mechanizm CA (Collision Avoidance) powinien być zastąpiony przez mechanizm CD (Collision Detection).

Kolizje to następny element do poprawy. Możliwe są dwa rozwiązania – poprawa istniejącego mechanizmu CSMA/CA lub wprowadzenie zarządzania ruchem. Rozwiązania w tym obszarze były już wcześniej zaproponowane przez CISCO, ale dotyczy to sieci, które są projektowane, nadzorowane i kontrolowane. Zarządzanie centralne może być wsparte przez funkcje koordynacji HCCA (Hybryd Controlled Channel Access), która jednak nigdy nie została w standardzie zaimplementowana.

Zamiast CSMA/CA możliwe jest zastosowanie opracowanego rozwiązania CSMA/ECA, które zapewnia kompatybilność wsteczną i ma wiele zalet funkcjonalnych. W przypadku zastosowania CSMA/ECA i pełnego duplexu (STR)

po pierwszej udanej transmisji można wykorzystać usztywniony BackOff Time. W efekcie możliwe jest uniknięcie kolizji.

Wady Wi-Fi w środowisku chaotycznym (Dolińska i in. 2014b) są dobrze znane. Brak nadzoru nad przydziałem kanałów w otoczeniu o dużym zagęszczeniu niekoordynowanych punktów dostępowych skutkuje wzrostem interferencji, obniżeniem SINR, a technologia łączenia kanałów może ten chaos pogłębić. W efekcie spada przepływność na danym obszarze. Z punktu widzenia wymagań HEW konieczne jest wprowadzenie nowych mechanizmów. Sytuacja może ulec poprawie po zastosowaniu dynamicznego łączenia kanałów i nadawania w systemie OFDMA.

Mechanizm dynamicznego dostępu do zasobów widma DBCA (Dynamic Bandwidth Channel Access) pozwala na efektywne wykorzystanie wolnych zasobów widma na danym obszarze przez wszystkie stacje znajdujące się w otoczeniu.

OFDMA charakteryzuje się większą elastycznością przy wykorzystaniu istniejących zasobów widma. Pozwala na podział kanału na mniejsze części, które mogą być wykorzystane przez wielu użytkowników równolegle w tym samym czasie. OFDMA jest standardem w pewnym sensie idealnie dopasowanym do Wi-Fi, ponieważ rolę wąskich kanałów mogą pełnić kanały 20 MHz występujące we wszystkich dotychczasowych wersjach standardu. W przypadku zastosowania OFDMA pojawia się nowa możliwość polegająca na łączeniu kanałów, które ze sobą nie sąsiadują. W standardach 802.11n i ac taka opcja nie była możliwa.

Wykorzystanie technologii MIMO może być w przyszłości kluczowym elementem lepszego wykorzystania zasobów widma i zwiększenia średniej i globalnej przepływności dla danego obszaru.

Rozwiązania zaimplementowane w 802.11n i ac były wstępem do masowego zastosowania technologii MIMO. Pełne wykorzystanie zalet MIMO możliwe będzie w środowisku homogenicznym, które nie będzie zakłócanie przez starsze wersje standardu wykorzystujące anteny izotropowe. Zastosowanie MU-UL-DL-MIMO pozwoli na znacznie efektywniejsze wykorzystanie widma i zwiększenie przepływności na danym obszarze przez wykorzystanie duplexu. Wydaje się, że takie rozwiązanie wymaga sterowania strumieniami w celu uzyskania optymalnego poziomu przepływności. Wyzwaniem jest kwestia ustawiania anten kierunkowych. Obecnie nie ma rozwiązań technicznych pozwalających na masowe wykorzystanie zestawów anten kierunkowych.

Nowe wersje i opcje standardu

W praktyce spotykamy sieci Wi-Fi, które różnią się z punktu widzenia zasad projektowania, technologii, pasma i innych aspektów. O ile w sieciach,

które są planowane i zarządzane można wprowadzić mechanizmy zapewniające określony poziom QoS, o tyle sieci w budynkach wielorodzinnych i w miejscach publicznych często prezentują niskie parametry. Brak koordynacji w pewnych kategoriach sieci skutkuje chaosem i drastycznym pogorszeniem parametrów. Powoduje to konieczność zmian wielu parametrów w standardzie. Bez zmian system Wi-Fi pozostanie niewydolny z punktu widzenia osiągnięcia parametrów, które mają zaspokoić potrzeby użytkowników w następczej dekadzie. Do rozważenia pozostają takie rozwiązania, jak CCA i TPC. Są to inteligentne, zdecentralizowane algorytmy wspierające przydział kanałów w sytuacji, gdy stosowane jest łączenie kanałów. Ciągłym problemem są zbyt długie czasy przełączania kanałów. Z jednej strony utrudnia to dynamiczne sterowania kanałami, z drugiej wnosi dodatkowy czas martwy, który pogarsza indywidualną i uśrednioną przepływność.

W tabeli 2 zestawiono najważniejsze z ostatnio wdrożonych i przewidywane do wdrożenia opcje i pełne standardy 802.11.

Tabela 2. Opcje i standardy 802.11

Nazwa	Data udostępnienia	Opis
<i>Standardy</i>		
802.11n	2009	Technologia DL SU MIMO, agregacja pakietów, łączenie kanałów, modulacja 64 QAM, kanał o szerokości 40 MHz, krótki czas ochronny, pasmo 2.4 i 5 GHz
802.11ad	2012	Pasmo 60 GHz, przepływność na poziomie 4620 Mbit/s, szerokość kanału 2.16 GHz, 4 nie nakładające się kanały, jeden użytkownik
802.11ac	2013	Pasmo 5 GHz, DL MU MIMO, przepływność na poziomie 1 GHz, modulacja 256 QAM, kanały o szerokości 20, 40, 80 i 160 MHz
802.11ax	2019 ??	Pasmo 2.4 i 5 GHz, kanały 20, 40, 80, 160 MHz, modulacja 1024 QAM, nadawanie w systemie OFDMA, DL i UL MU MIMO, różne kategorie transmisji, full duplex?
<i>Opcje</i>		
802.11aa	2012	Pasmo 2.4 i 5GHz, komunikacja grupowa, robust audio/video streaming, klasyfikacja ruchu, elementy zarządzania sieciami BSS
802.11ah	2016	M2M komunikacja bez udziału człowieka, oszczędność energii PS (Power Saving), zarządzanie wieloma urządzeniami o charakterze automatycznych sensorów, pasmo 1 GHz, przepływność 100 kbit/s, szerokość kanału 1 i 2 MHz (4,8,16 MHz opcje)
802.11ai	2016	Szybkie przełączanie kanałów, dynamiczne łączenie kanałów
802.11aq	2016	PAD (ang. Pre Association Discovery)
802.11ak	2017	Rozbudowa opcji połączeń mostowych, poprawa efektywności łączy tranzytowych
802.11ay	??	Poprawa parametrów standardu ad
802.11af	2014	Wykorzystanie dywidendy cyfrowej TVWS (ang. TV White Spaces), pasmo 470-790 MHz (Europa), zasięg 1 km w terenie niezabudowanym, wykorzystanie usług dostępnych w standardzie 802.11ac, dowolne łączenie kanałów

Źródło: opracowanie własne.

Nowe perspektywy wykorzystania Wi-Fi w różnych obszarach spowodowały intensyfikację prac zespołów przygotowujących nowe specyfikacje. Wydaje się, że najważniejsze jest przygotowanie nowego standardu 802.11ax, które pozwoli na sprostanie nowym wymaganiom użytkowników w latach 2020-2030.

Podsumowanie

Zmienia się rola standardu 802.11. Oprócz dotychczasowych funkcji, standard ma zapewnić wydajną komunikację w wielu nowych obszarach i zastąpić skutecznie rozwiązania oparte na tradycyjnym okablowaniu. Jednak skuteczna realizacja nowych wyzwań wymaga nowego standardu i opcji dedykowanych poszczególnym zastosowaniom. W celu realizacji wymagań HEW w pierwszych specyfikacjach wersji 802.11ax zaproponowano zwiększony zakres wykorzystania technologii MIMO, wprowadzenie modulacji OFDMA, nowe typy transmisji. Prace nad standardem trwają i raczej można przypuszczać, że nie wszystkie nowe pomysły zostaną uwzględnione do 2019 roku. Standardem zainteresowali się również użytkownicy komercyjni. Już dziś planowane jest wykorzystanie standardu na częstotliwościach poniżej 1 GHz w celu realizacji transmisji typu M2M, np. do zbierania danych od sieci czujników. Do rozwiązania pozostają kwestie formalne jak choćby to, czy nowe zakresy będą miały charakter ISM. Z drugiej strony pojawiły się propozycje, aby standard 802.11 dopuścić do wykorzystania w innych pasmach jako tzw. drugiego użytkownika. Wydaje się iż w najbliższych latach standard 802.11 będzie się intensywnie rozwijał.

Bibliografia

- Aboul-Magd O. (2014), *Wi-Fi Technology State of the Art and Future Directions*, www.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_308587 [dostęp: 10.2017].
- Aruba Networks (2014), *High-Density Wireless Networks for Auditoriums Validated Reference Design*, Solution Guide, <http://www.arubanetworks.com> [dostęp: 11.2017].
- Bellalta B. (2015), *IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs*, https://www.researchgate.net/.../270594067_IEEE_80211ax_High-Efficiency_WLANs [dostęp: 11.2017].
- Bellalta B. (2017), *IEEE 802.11ax: Wireless Networking in High-density WLANs*, IEEE Spectrum Webinar.
- Bellalta B., Bonon L., Bruno R., Kessler A. (2015), *Next Generation IEEE802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges*, Elsevier Computer Communications, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2015.10.007> [dostęp: 03.2017].
- Bellalta B., Checco A., Zocca A., Barcelo J. (2015), *On the Interactions between Multiple*

- Dolińska I., Jakubowski M., Masiukiewicz A., Rządowski G., Sobol J. (2015a), *Improvement of Content Window Size Selection Algorithm for Small 802.11n Networks*, Proceedings of IEEE Sponsored Information nad Digital Technologies Conference, Żylna.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G., Jakubowski M. (2015), *CW Optimization for Low Density 802.11 Networks*, "International Journal of Computer Technology and Applications", Vol. 6(6).
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2014), *The Monte Carlo analysis of the media access time distribution in 802.11n MAC layer*, Proceedings of FEDCIS Conference, Warsaw.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2014a), *Collisions in DCF scheme used in 802.11 standard networks*, "Telecommunication Review", No. 2-3.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2014b), *Channel Selection in Home 802.11 Standard Networks*, DT Conference, Żylna.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2013), *Collision impact on transmission QoS in 802.11n networks*, „Elektronika”, nr 12.
- Florwick J., Whiteaker J., Amrod A.C., Woodhams J. (2011), *Wireless LAN Design Guide for High Density Client Environments in Higher Education*, Design Guide, Cisco.
- Heereman F., Joseph W., Tanghe E., Plets D., Martens L. (2011), *Prediction of Range, Power Consumption and Throughput for IEEE 802.11n in Large Conference Rooms*, EUCAP, Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation.
- Ketonen V.-P. (2014), *IEEE 802.11ax – High Efficiency WLAN (HEW) Standardization and Potential Technologies*, 7 Signal Solution, 2014.
- Overlapping WLANs using Channel Bonding*, IEEE Transaction on Vehicular Technology.
- Wireless Solution for High Density Wireless (2011), *Xirrus*, <http://www.xirrus.com> [dostęp: 11.2017].

New Generation WLANs Demands and Solutions

Summary

Work is underway on the development of 802.11. The first 802.11ax specifications are available. Completion of the work is expected in 2019. The new standard is intended to provide a dramatic improvement in real-world performance in order to meet the challenging requirements of the technology in the decades ahead. The article discusses the key limitations of the current version and the directions and suggested solutions. The state of current development work on the standard is presented.

Key words: 802.11ax, HEW-high efficiency WLAN, machine-to-machine communication.

JEL codes: L86

Artykuł zaakceptowany do druku w kwietniu 2018 roku.

© All rights reserved

Afiliacja:

dr Antoni Masiukiewicz

Akademia Finansów i Biznesu Vistula

Wydział Inżynierski

ul. Stokłosa 3

02-787 Warszawa

e-mail: a.masiukiewicz@vistula.edu.pl