

Iwona Dolińska, Antoni Masiukiewicz
Akademia Finansów i Biznesu Vistula – Warszawa

WPLYW WARSTWY MAC STANDARDU 802.11 NA OSIĄGANE PARAMETRY QoS

Streszczenie

Podstawowym parametrem sieci WLAN jest przepustowość transmisji. Zdefiniowane w standardzie przepustowości maksymalne teoretyczne są w warunkach rzeczywistych ograniczane z jednej strony jakością kanału transmisyjnego, a z drugiej sposobem działania samego standardu. W przypadku standardu IEEE 802.11 zastosowana metoda komunikacji DCF wprowadza obowiązkowe przerwy w nadawaniu – interwały czasowe IFS, które powodują zmniejszenie przepustowości osiągniętej w jednostce czasu. W artykule omówiono różne ulepszenia metody DCF, zaproponowane w wyniku prac naukowo-badawczych. Porównano je pod względem przydatności w rzeczywistych zastosowaniach.

Słowa kluczowe: standard IEEE 802.11, warstwa MAC, QoS transmisji, przepływność kanału radiowego, IFS.

Kody JEL: O3

Wstęp

Z punktu widzenia użytkowników, zwłaszcza tych korzystających z zaawansowanych przekazów video czy multimedialnych, podstawowym parametrem sieci WLAN jest osiągnięta przepustowość transmisji. W definicjach standardu IEEE 802.11 podawane są zazwyczaj maksymalne teoretyczne wartości przepustowości. Przepustowości maksymalne najnowszych wersji standardu (802.11n i 802.11ac) zdefiniowane są już na poziomie zadowalającym nawet wymagających użytkowników (biznesowych i prywatnych). Natomiast wartości osiągnięte w praktyce są zdecydowanie niższe. Praktyczna wartość przepustowości zależy od wielu czynników, w tym warunków panujących w kanale radiowym. Jednak pewne ograniczenia redukujące przepustowość występują już w konstrukcji standardu, a przede wszystkim w użytych schemacie komunikacji zaimplementowanym w warstwie MAC. Podstawowym schematem jest metoda DCF (*Distributed Coordination Function*). Wykorzystuje ona system interwałów czasowych oraz mechanizm backoff time po to, aby stworzyć kolejkę stacji oczekujących na dostęp do nośnika. Zarówno interwały czasowe IFS (*Inter Frame Space*), jak i czas odczekiwania (*backoff time*) powodują powstanie

na osi czasu odcinków, w których w danym kanale nikt nie nadaje, a wszyscy czekają (Dolińska, Masiukiewicz, Rządowski 2013). Powoduje to zmniejszenie przepustowości transmisji, a co za tym idzie obniżenie możliwych do osiągnięcia parametrów QoS. Tych strat nie można już zniwelować na innych etapach przetwarzania sygnałów. Przeprowadzono więc szereg prac naukowych i badawczych [Ni, Romdhani, Turletti 2004], mających na celu opracowanie modyfikacji i ulepszeń schematu DCF. W tabeli 1 zestawiono najważniejsze z nich.

Tabela 1. Zestawienie schematów DCF

DCF- Distribution Coordination Function							
DCF podstawowy	E-DCF	AC	DFS	VMC	DC	PER-flow	Blackburst
DCF z RTS/CTS	AE-DCF						
Transmisja blokowa							

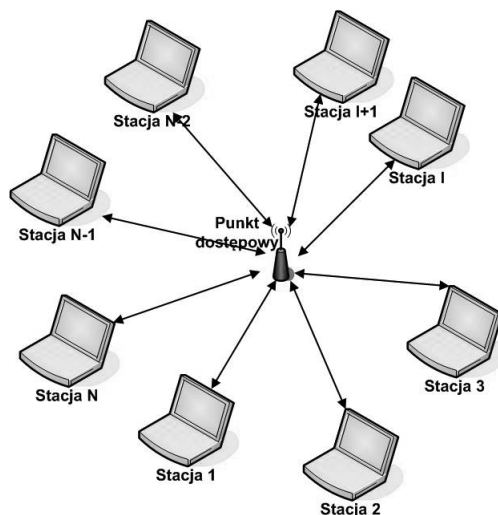
Źródło: opracowanie własne.

W niniejszym opracowaniu Autorzy przedstawili i porównali podstawowe rozwiązania DCF stosowane w standardach 802.11n i 802.11ac oraz propozycje modyfikacji w schemacie DCF prezentowane w literaturze.

Schematy DCF

Sieć WLAN może pracować w kilku konfiguracjach. Podstawowe konfiguracje to współpraca pomiędzy stacjami roboczymi i punktem dostępowym AP (Access Point). Inne konfiguracje dopuszczają możliwość komunikacji bez pośrednictwa AP np. sieci typu *ad-hoc* lub *mesh*. Na rysunku 1 pokazano konfigurację sieci WLAN, w której komunikacja jest realizowana pomiędzy AP i N stacjami roboczymi STA, co oznacza, że sieć WLAN składa się z N+1 elementów. Minimalna konfiguracja takiej sieci to AP i stacja. Zarówno AP, jak i stacja mogą być nadajnikiem lub odbiornikiem. W trybie DCF AP nie jest stacją uprzywilejowaną, tzn. AP i STA obowiązują te same reguły konkurencji o dostęp.

Rysunek 1. AP obsługuje N stacji



Źródło: opracowanie własne.

Podstawowy schemat DCF

Model przesyłania danych DCF, czyli metoda koordynacji rozproszonej, przedstawiona na rysunku 2, jest podstawowym sposobem przesyłania danych w sieci WLAN. Jeden cykl komunikacyjny obejmuje przesłanie jednej ramki danych, po której nadawca czeka na obowiązkowe potwierdzenie ACK poprawnie odebranej ramki. Brak potwierdzenia ACK jest informacją dla stacji nadającej, że ramka musi zostać retransmitowana. Przed wysłaniem ramki stacja nadająca ma obowiązek zbadać zajętość kanału w czasie DIFS. Jeśli przez czas DIFS kanał jest wolny (żadna stacja nie nadaje), to następuje początek okna rywalizacji (*content window*, oznaczonego na rysunek 2 jako CW). Stacja przechodzi do procedury *backoff*.

Algorytm *backoff* (Binary Exponential Backoff, BEB, odliczania wykładniczego) wykorzystywany jest do zróżnicowania długości okna rywalizacji dla kilku stacji. W sieci może być gotowa do nadawania jedna stacja lub więcej. Prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji po czasie oczekiwania DIFS jest dość wysokie. Zatem jeśli w odcinku czasu DIFS kanał radiowy był wolny, stacja, która ma gotową ramkę do wysłania wybiera wartość losową z przedziału $[0, CW)$, gdzie CW (Contention Window) oznacza długość okna rywalizacji. CW jest liczbą, której wartość minimalną CW_{min} i maksymalną CW_{max} definiuje standard. Wybrana wartość oznacza liczbę slotów czasowych (*slot time*), którą

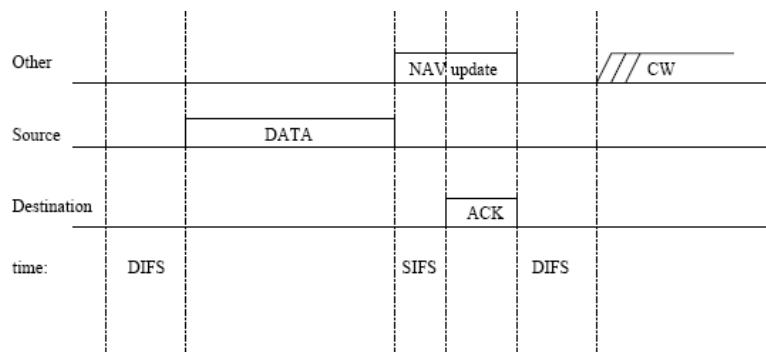
stacja musi odczekać, zanim zacznie nadawanie. Stacja, która wylosowała najmniejszą wartość oczekiwania zacznie nadawać pierwsza. Oczywiście w czasie odliczania stacja nasłuchuje, czy w kanale nie pojawił się sygnał. Jeśli tak, to znaczy, że inna stacja zajęła kanał i procedura *backoff* jest zawieszana do czasu wystąpienia następnej rywalizacji. Jeśli ramka została wysłana pomyślnie, długość następnego okna rywalizacji jest losowana z przedziału $(0, CW_{min})$. W przypadku wystąpienia kolizji aktualna wartość licznika CW jest podwajana, aż do osiągnięcia wartości CW_{max} . Wynik rywalizacji zależy bezpośrednio od wartości wylosowanych przez algorytm *backoff* każdej ze stacji.

Reasumując, stacja ma prawo wysłać ramkę, jeśli licznik algorytmu *backoff* został wyzerowany i kanał nadal jest wolny. Jeśli ramka została odebrana poprawnie, to odbiorca po odstępie czasu SIFS (krótszy niż DIFS) wysyła potwierdzenie. Czas potrzebny na przesłanie danych w podstawowym schemacie komunikacji (rysunek 2) można opisać wzorem:

$$T_{DI} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{PH} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (1)$$

Obejmuje on czas poprzedzający wysłanie ramki DIFS i backoff time (T_{DIFS} oraz T_{BO}), czas potrzebny na wysłanie samej ramki (zależy od długości ramki, do 2346 bajtów), czas SIFS (T_{SIFS}) i czas ACK (T_{ACK}). Ramkę potwierdzenia wysyła się z taką samą prędkością jak ramkę danych. Jeśli chcemy zbadać rzeczywisty czas wykorzystania kanału transmisyjnego do przesyłania danych, to czas przesyłania ramki powinien być rozdzielony na czas przesyłania nagłówka podwarstwy PLCP wraz z preambułą (T_{PH}) oraz czas przesyłania danych z nagłówkiem MAC (40B), czyli T_{DATA} . To rozróżnienie wynika z tego, że preambuła i nagłówek PLCP są dodatkowym narzutem, nie przenoszącym rzeczywistych danych, ale niezbędnym z punktu widzenia funkcjonowania sieci bezprzewodowej.

Rysunek 2. Podstawowy schemat DCF



Jeśli wystąpiła kolizja (więcej niż jedna stacja zaczęła nadawać w tym samym momencie), to w takim modelu przesyłania danych czas kolizji (czyli czas zmarnowanej przepustowości kanału transmisyjnego) jest równy czasowi, jaki zajęłoby przesyłanie danych oraz potwierdzenia bez kolizji:

$$T_{C1} = T_{D1} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{PH} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (2)$$

DCF z RTS/CTS

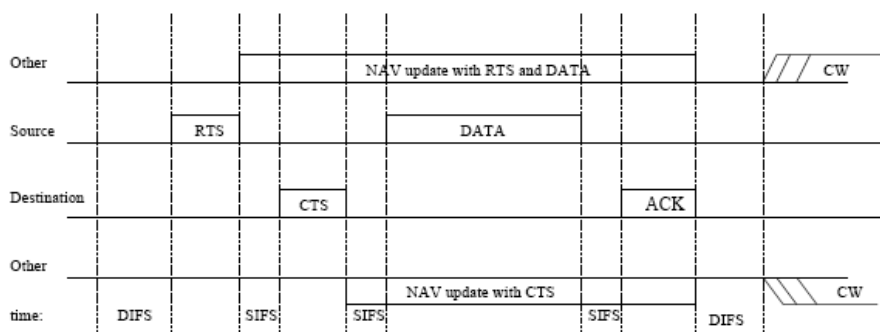
Rozszerzeniem podstawowego modelu komunikacji jest dodanie wymiany dwóch krótkich komunikatów RTS/CTS (Rysunek 3) przed wysłaniem samej ramki danych. Mają one długość odpowiednio RTS – 20 bajtów, a CTS – 14 bajtów i wysyłane są z najniższą prędkością. Komunikaty te rezerwują kanał radiowy na czas obejmujący 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 (Network Allocation Vector), wykorzystywanego w wirtualnej metodzie wykrywania zajętości kanału.

W tym schemacie komunikacji ramka RTS jest wysyłana po wygraniu 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). W takim przypadku czas potrzebny na wysłanie jednej ramki danych jest nieco dłuższy:

$$T_{D2} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} + T_{CTS} + T_{SIFS} + T_{PH} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (3)$$

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

$$T_{C2} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} + T_{CTS} \quad (4)$$

Rysunek 3. Rozszerzony schemat DCF

Źródło: jak w rysunku 2.

Modyfikacje metody DCF

Wady metody DCF, a przede wszystkim potrzeba nadania priorytetów dla wybranych rodzajów transmisji [Dolińska, Masiukiewicz 2012] spowodowały poszukiwanie takich modyfikacji schematu, które pozwoliłyby na efektywniejszą komunikację, właściwą kolejność wielu transmisji, zmniejszenie czasów martwych i w konsekwencji poprawę przepustowości i uzyskiwanych parametrów charakteryzujących QoS.

Schemat AC

Schemat AC został opracowany przez Aada i Castellucio (2001) i miał na celu realizację różnicowania usług z punktu widzenia stacji klienta. Zastosowano trzy różne mechanizmy różnicowania. Pierwszy polega na zróżnicowaniu techniki przyrostu *backoff time*. Mniejsze wartości CW są przypisywane do stacji, które mają większy priorytet. Takie przypisanie wartości CW powoduje, że z stacje z małymi wartościami CW mają teoretyczne szanse na szybszy dostęp do nośnika niż te o wyższych wartościach CW. Wylizanie aktualnej wartości następuje według następującej zależności:

$$CW_{nowe} = CW_{popzednie} \cdot P_j^{2+i} \quad (5)$$

Współczynnik P pozwala na praktyczną realizację różnicowania, jego wartość rośnie dla stacji o małym priorytecie. Tego typu mechanizm dobrze funkcjonuje, jeżeli w warstwie transportu wykorzystuje się protokół UDP.

Drugie rozwiązanie bazuje na zmianie wartości odcinka DIFS w zależności od nadanego priorytetu. Przykładowo, każdy kolejny odcinek DIFS ma

priorytet wyższy niż poprzedni, tzn. że wartość DIFS jest mniejsza, a czas oczekiwania krótszy zgodnie z nierównością:

$$DIFS_{j+1} < DIFS_j \quad (6)$$

Dla uniknięcia kolizji między ramkami o tym samym priorytecie wprowadzono nowy sposób uwzględniania wartości CW. Maksymalna wartość CW jest określona następującą zależnością:

$$CW_{\max} = DIFS_{j-1} - DIFS_j \quad (7)$$

Taki mechanizm ogranicza możliwość kolizji. Tego typu rozwiązanie powoduje że stacje z niskim priorytetem muszą oczekiwać długo, ale jest to oczywiste, bo wynika z zasady priorytetyzacji.

Trzecim rozwiązaniem jest zróżnicowanie maksymalnej długości ramki w zależności od priorytetu. Stacje z większym priorytetem mogą przesłać w trakcie jednej sesji komunikacyjnej większą ilość danych. Rozwiązanie to może być wykorzystywane zarówno przy transmisji z zastosowaniem protokołu UDP, jak i TCP.

Schemat DFS

DFS (*Distributed Fair Scheduling*) oznacza schemat dostępu w którym starano się zaimplementować zarówno kwestie priorytetu jak i równości dostępu (Vaidya, Bahl, Gupa 2001).

W kwestii kolejowania i dostępu zastosowano metodę SCFQ (*self clocked fair queueing*). W metodzie DFS backoff time jest wyliczany jako funkcja liniowa, wykładnicza lub kwadratowa uwzględniająca wielkość pakietu i wagę stacji. Przykładowo przy zastosowaniu funkcji liniowej *backoff time* jest opisany następującą zależnością:

$$T_{BO} = \rho \cdot [\text{scaling_factor} \cdot l / \Phi] \quad (8)$$

gdzie:

l – wielkość pakietu

ρ – zmienna losowa z przedziału 0.9-1.1

Φ – waga stacji

scaling_factor – współczynnik modyfikacji T_{BO}

W przypadku DFS stacje o małej wadze będą generowały *backoff time* o dużej wartości i odwrotnie. Zasada równości jest uwzględniona przez włączenie do obliczeń wielkości pakietu co w konsekwencji skutkuje częstszym dostępem

dla małych pakietów. Opracowany system jest dość złożony co ogranicza jego praktyczne wykorzystanie.

Schemat VMAC

VMAC czyli Virtual MAC jest to schemat oparty na DCF, który jednak pozwala na pełną kontrolę jakości transmisji poprzez wprowadzenie kontroli parametrów kanału radiowego i obliczanie dostępnych dla danego kanału poziomów QoS (Veres i in. 2001).

W schemacie VMAC obliczane są domyślne wartości takich parametrów jak: opóźnienie, jitter, kolizje i utrata pakietów. VMAC nie kontroluje rzeczywistego przepływu pakietów natomiast pozwala na obliczenie aktualnych parametrów transmisji i ewentualne korekty w celu poprawy QoS. Efektem działań jest ustalenie zakresów CW min i max dla transmisji o różnych priorytetach.

Schemat blackburst

Celem zastosowania schematu blackburst było zminimalizowanie opóźnienia pakietów w warunkach rzeczywistej transmisji. Ta metoda narzuca dwa wymagania na stacje o wysokim priorytecie (Sobrinho, Krishnakumar 1996).

Pierwsze ograniczenie to stały odstęp t_{sch} , który wyznacza kolejne próby uzyskania dostępu do nośnika. Drugą cechą to możliwość zajęcia medium na pewien okres czasu.

Stacja wysyła Black slots w ilości proporcjonalnej do czasu oczekiwania. Taki zabieg nosi nazwę *blackburst*. Jeżeli inne stacje w krótkim czasie mniejszym niż Black slot nie wysyłają swoich paczek *blackburst* tzn. że stacja pierwsza może zająć medium. Kolejna transmisja może nastąpić po czasie t_{sch} . Metoda pozwala na znacznie bardziej efektywne wykorzystanie czasu rzeczywistego i pozwala na synchronizację transmisji w sposób zbliżony do TDMA. System *blackburst* jest wykorzystywany jedynie przez stacje o wysokim priorytecie, pozostałe korzystają ze schematu DCF. Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest brak kolizji, tak więc w praktyce dobrze nadaje się do obsługiwanie AP z dużą ilością stacji.

Schemat DC

Schemat DC wprowadza niewielkie modyfikacje podstawowego schematu DCF w celu uzyskania priorytetyzacji (Deng, Chang 1999). Metoda modyfikuje dwa parametry wykorzystywane w podstawowym schemacie DCF, a mianowicie T_{BO} i IFS.

W tabeli 2 zestawiono poziom priorytetu z wykorzystywanym typem IFS i zastosowanym algorytmem wyliczania *backoff time*. Zmienna rd oznacza wartość losową z przedziału (0,1), natomiast zapis $[x]$ oznacza liczbę całkowitą mniejszą od x .

Tabela 2. Zestawienie priorytetów z odcinkami IFS i algorytmami wyliczania T_{BO}

Priorytet	IFS	Algorytm T_{BO}
0	DIFS	$T_{BO} = 2^{2+i} / 2 + [rd \cdot 2^{2+i} / 2]$
1	DIFS	$T_{BO} = [rd \cdot 2^{2+i} / 2]$
2	PIFS	$T_{BO} = 2^{2+i} / 2 + [rd \cdot 2^{2+i} / 2]$
3	PIFS	$T_{BO} = [rd \cdot 2^{2+i} / 2]$

Źródło: jak w tabeli 1.

Stacjom o wyższym poziomie priorytetu przypisano wartość PIFS. Priorytety oznaczone jako 1 i 3 mają krótsze czasy T_{BO} . Wadą schematu DC są stosunkowo długie czasy T_{BO} dla transmisji o niskim priorytecie, co powoduje stratę czasu i opóźnienia.

Schemat *per-flow*

Zastosowanie priorytetyzacji stacji *per-flow* i *per-queue* wynika z faktu iż różne rodzaje priorytetyzacji związane ze stacją mogą być zredukowane na kolejnych etapach przesyłania sygnału – np. jeżeli kilku nadawców wysyła pakiety do jednego odbiorcy, który ma określony priorytet to powoduje w konsekwencji dopasowanie wszystkich priorytetów nadawców do priorytetu odbiorcy. Podobne efekty mogą wystąpić przy transmisjach wielodrogowych w sytuacji, gdy warunki transmisji w każdym z kanałów znacząca się różnią. Technika *per-flow/per-queue* (Aad, Castelluccia 2002) pozwala na podział pakietów na niskie i wysokie priorytety i przypisanie ich do odpowiednich kolejek. Wolne kolejki nie spowalniają całego AP, co w konsekwencji poprawia priorytetyzację.

Schemat EDCF

Metoda EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function) (Li i in. 2006; Ansel i in. 2003), zastosowana w standardzie 802.11e, pozwala na zastosowanie priorytetyzacji i przydział do kolejek. Każda ze stacji w tym systemie QSTA

(QoS enhanced station) posiada 4 kolejki i możliwość nadania do 8 priorytetów. Każda z kolejek kategorii dostępu AC (Access Category) używa własnych parametrów *backoff time*.

W tabeli 3 zestawiono poziomy priorytetów użytkownika zgodnie ze standardem 802.1D z Access Category zgodnie ze standardem 802.11e i rodzajem usług.

Tabela 3. Zestawienie priorytetów z kategorią kolejki i rodzajem usług

User Priority	Opis	AC 802.11e	Typ usług
2	Brak opisu	0	Best effort
1	Background	0	Best effort
0	Best effort	0	Best effort
3	Excellent Effort	1	Video probe
4	Controlled Load	2	Video
5	Video (100ms latency)	2	Video
6	Video (10 ms latency)	3	Voice
7	Network Control	3	Voice

Źródło: jak w tabeli 1.

W schemacie EDCF zastosowano dwa rozwiązania, które wspomagają zróżnicowanie dostępu. Pierwsze polega na zróżnicowaniu dla różnych AC różnych długości odcinków IFS. Wprowadzono również nowy odstęp AIFS, który jest funkcją AC i zdefiniowany jest w następujący sposób:

$$AIFS[AC] = AIFSN[AC] \cdot slot_time + SIFS \quad (9)$$

AIFSN czyli Arbitration Inter Frame Spacing Number przyjmuje wartość 1 lub 2.

W przypadku, gdy jest to wartość 1 AC kategorie 1, 2 i 3 mają wartość AIFS równą PIFS (są to kategorie o wysokim priorytecie), podczas gdy AIFSN=2 dla AC0 (kolejka o niskim priorytecie), a wartość AIFS = DIFS. Jeśli kolejka pakietów jest pusta, to pakiety są przesyłane niezwłocznie, w pozostałych przypadkach decyduje wartość czasu AIFS.

Drugie rozwiązanie polega na przydzielaniu różnych wartości CW dla różnych kategorii AC. Przyznanie niskiej wartości CW zapewnia zazwyczaj krótszy czas oczekiwania na dostęp do nośnika. Rozwiązanie pozwala również na unikanie kolizji przez wprowadzenie mechanizmu przyznawania AC o wyższym priorytecie (mechanizm zaimplementowany w stacji typu QSTA) wydłużonego czasu transmisji EDCF_TXOP (*transmission opportunity*). Mechanizm ten eliminuje jednak tylko część kolizji związanych z danym AC, pozostałe kategorie mają ciągle wysoki % kolizji.

Schemat AE-DCF

Jedną z wad EDCF jest brak możliwości zmiany algorytmu *backoff time* w zależności od warunków panujących w kanale radiowym. W schemacie AEDCF (Adaptive DCF) (Romdhani, Ni, Turletti 2003) wartość CW jest uzgadniana na podstawie kategorii AC i warunków panujących w kanale. Nowa wartość CW jest wyznaczana przy wykorzystaniu następującej zależności:

$$CW_{nowe}(i) = \max\{CW_{min}(i), CW_{stare}(i) \cdot MF(i)\} \quad (10)$$

gdzie:

$$MF(i) = \min(1 + 2i) \cdot f_{avg}^j(\alpha) \quad (11)$$

$$f_{avg}^j = (1 - \alpha)_{f_{curr}}^j + \alpha \cdot f_{avg}^{j-1} \quad (12)$$

Po udanej transmisji wartość CW jest wyznaczana na podstawie obliczanej stopy kolizji f . Dodatkowo wprowadza się współczynnik korekcyjny związany z kolizjami $PF(i)$. Schemat AEDCF pozwala na redukcję kolizji w przypadku dużego zagęszczenia stacji roboczych.

Transmisje blokowe

Odcinki czasu DIFS i SIFS, separujące nadawanie różnych ramek w standardzie 802.11 nie ograniczają przepustowości maksymalnej teoretycznej, ale w dziedzinie czasu redukują w sposób znaczący przepustowość całkowitą w jednostce czasu. Przez pewien okres kanał nie pracuje. W standardzie 802.11ac zwiększono maksymalny obsługiwany wymiar ramki zagregowanej A-MPDU do wartości 1 048 575 oktetów (Schelstraete 2011), w standardzie 802.11n było to 65 535 oktetów. W standardzie 802.11ac ograniczono stosowanie RIFS wprowadzając w to miejsce agregację danych. Mechanizm RIFS jest wykorzystywany jedynie w przypadku współpracy ze stacjami w standardzie 802.11n (*White Paper* 2008).

W standardzie 802.11n wprowadzono redukcję informacji kontrolnych i sterujących przesyłanych w czasie sesji komunikacyjnych. Bez zastosowanych mechanizmów wzrost przepływności warstwy fizycznej zostałby skonsumowany w sposób nieefektywny. Zaproponowane rozwiązanie polega na tzw. komunikacji blokowej w kilku wybranych aspektach (por. rysunek 4).

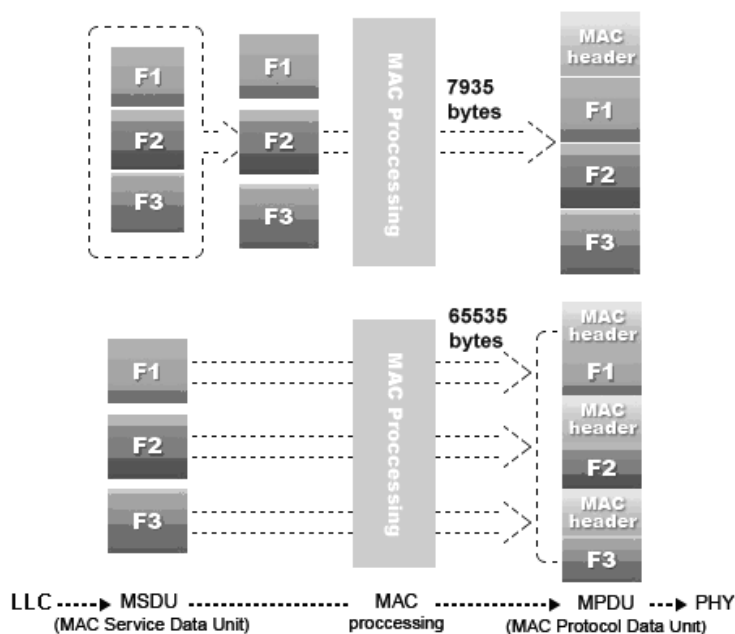
Potwierdzenie blokowe (*Block Acknowledgement*) redukuje liczbę potwierdzeń ACK, które odbierający musi wysłać do nadawcy w celu potwierdzenia prawidłowego odbioru pakietów. W standardach 802.11a/g nadawca oczekuje natychmiastowego potwierdzenia, za wyjątkiem transmisji *broadcast* lub *multicast*. W standardzie 802.11n możliwe jest wysłanie jednego potwierdzenia dla

wielu pojedynczych ramek. Agregacja ramek pozwala na zwiększenie przepływności. Ocenia się, że agregacja może zmniejszyć *overhead* z 83% do 58% w przypadku zastosowania A-MSDU lub nawet 14% w przypadku A-MPDU.

Agregacja A-MSDU (MAC Service Data Unit Aggregation) zbiera pakiety (MSDU) o tym samym priorytecie zgodnie z QoS w 802.11e niezależnie od źródła i przeznaczenia. W konsekwencji jedna ramka zawiera jeden nagłówek MAC zawierający do 7935 bajtów.

Agregacja A-MPDU (MAC Protocol Data Unit Aggregation) polega na grupowaniu ramek A-MSDU.

Rysunek 4. Ograniczenie informacji kontrolnych w warstwy MAC standardu 802.11n



Źródło: White Paper (2008).

Transmisja blokowa jest możliwa jedynie pomiędzy stacjami w standardzie 802.11n.

Podsumowanie

Niedoskonałości warstwy MAC standardu 802.11 spowodowały, że podejmowano wiele prób poprawy standardu w tym obszarze. Celem modyfikacji było osiągnięcie poprawy określonych parametrów w taki czy inny sposób

związanych z QoS transmisji. Przez zmianę schematu MAC zaproponowane rozwiązania miały:

- zmniejszyć straty w przepustowości związane z występowaniem kolizji,
- ograniczyć *overhead* czyli ilość informacji kontrolnych przesyłanych w trakcie transmisji,
- umożliwić priorytetyzację przesyłania pakietów,
- poprawić parametry QoS transmisji.

W tabeli 4 zestawiono cechy poszczególnych modyfikacji.

Tabela 4. Przeznaczenie, wady i zalety modyfikacji metody DCF

Zmodyfikowany schemat MAC	Cel	Wady	Zalety
Rozszerzony DCF	Ograniczenie strat przepustowości w przypadku wystąpienia kolizji	Strata przepustowości na przesłanie dodatkowych komunikatów	Komunikaty RTS/CTS blokują wysyłanie danych w przypadku kolizji
AC	Priorytetyzacja	Gorsze działanie podczas transmisji z wykorzystaniem TCP	Uzyskano dobre wyniki w priorytetyzacji
DFS	Poprawa algorytmu sterowania transmisją	Złożoność schematu	Poprawiono skuteczność przesyłu pakietów o wysokim priorytecie
VMAC	Poprawa parametrów QoS (opóźnienie, jitter, strata pakietów)	Złożoność schematu	Możliwość uwzględnienia aktualnych parametrów kanału radiowego
Blackburst	Namiastka sterowania poprzez wprowadzenie transmisji wybranych informacji	Przy wielu transmisjach o różnych priorytetach uzyskane parametry ulegają degradacji	Ograniczenie opóźnienia
DC	Priorytetyzacja	Dobre parametry	Problemy z transmisją w przypadku stacji o niskim priorytecie
Transmisja blokowa	Ograniczenie <i>overhead</i>	Poprawa przepustowości	Wydłużony czas oczekiwania na dostęp dla wybranych stacji.

Źródło: jak w tabeli 1.

Dotychczas zaproponowane modyfikacje nie rozwiązują wad schematu DCF, a przede wszystkim straty przepustowości wynikających z czasów oczekiwania (*dead time*) (Dolińska, Masiukiewicz, Rzakowski 2013) ani kwestii priorytetyzacji. Ta druga kwestia jest trudna do rozwiązania, ponieważ wprowadzenie priorytetu jest sprzeczne z podstawową zasadą standardu 802.11

i schematem MAC, w którym konieczna jest rywalizacja o dostęp, a założeniem było uzyskanie równych praw w tej rywalizacji przez wszystkie stacje. Z proponowanych rozwiązań powszechnie stosowany jest rozszerzony DCF (z wykorzystaniem komunikatów RTS/CTS) oraz schemat EDCF.

Bibliografia

- Aad I., Castelluccia C. (2002), *Remarks on per-flow differentiation in IEEE 802.11*, Proc. Of European Wireless, Florence, Italy, February.
- Aad I., Castelluccia C. (2001), *Differentiation mechanisms for IEEE 802.11*, Proc. IEEE Infocom 2001, Anchorage, Alaska, April.
- Ansel P., Ni Q., Turletti T. (2004), *An Efficient Scheduling Scheme for IEEE 802.11e*, Accepted to appear in proceedings of WiOpt (Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks), Cambridge, UK.
- Ansel P., Ni Q., Turletti T. (2003), *FHCF: A Fair Scheduling Scheme for 802.11e WLAN*, „INRIA Research Report”, No. 4883.
- Deng J., Chang R.S. (1999), *A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method*, IEICE Transactions in Communications.
- Dolińska I., Masiukiewicz A. (2012), *Zapewnianie jakości transmisji w sieciach WLAN – możliwości, wyzwania i perspektywy*, Konferencja ISIM, 23.11.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rzakowski G. (2013), *Analiza metodą monte carlo rozkładu czasu dostępu do nośnika w warstwie mac standardu 802.11n*, „Applied Mathematics and Computer Science Journal”
- Li Q., Ni Q., Malone, D., Leith, D., Xiao Y., Turletti T. (2006), *A new MAC scheme for very high-speed WLANs*, World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2006. WoWMoM 2006. International Symposium, 26–29 June.
- Manshaei M.H., Hubaux J.-P. (2007), *Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function: Bianchi Model*, Mobile Networks: <http://mobnet.epfl.ch>
- Ni W., Romdhani L., Turletti T. (2004), *A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 Wireless LAN*, „Journal of Wireless Communications and Mobile Computing”, Vol. 4, Iss. 5.
- Romdhani L., Ni Q., Turletti T., *Adaptive EDCF Enhanced Service Differentiation for IEEE 802.11 Wireless Ad Hoc Networks*, IEEE WC'NC 03 (Wireless Communications and Networking Conference), New Orleans, Louisiana, March 2003
- Schelstraete S. (2011), *White Paper, An Introduction to 802.11ac*, „Quantenna Communications”, Inc. September.
- Sobrinho J.L., Krishnakumar A.S. (1996), *Real-time traffic over the IEEE 802.11 medium access control layer*, „Bell Labs Technical Journal”.
- Vaidya N.H., Bahl P., Gupa S. (2000), *Distributed fair scheduling in a wireless LAN*, Proc. Of 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2000), Boston, USA, August.

Veres A., Campbell AT., Barry M., Sun LH. (2001), *Supporting service differentiation in wireless packet networks using distributed control*, „IEEE Journal of selected Areas in Communication (JSAC)”, Special Issue on Mobility and Resource Management in Next Generation Wireless Systems.

White Paper (2008), *802.11n primer*, AirMagnet, August.

Impact of the MAC Layer of the Standard 801.11 on the Achieved QoS Parameters

Summary

The basic parameter of the WLAN is transmission output. The defined in the standard of output capacity maximum theoretical values are in the real conditions limited, on the one hand, by the transmission channel quality and, on the other hand, by the way in which the very standard acts. In the case of standard IEEE 802.11, the applied method of communication DCF (distributed coordination function) introduces the obligatory pauses in broadcasting – temporal intervals IFS which cause a reduction of the output capacity achieved in a time unit. In their article, the authors discussed various improvements of the DCF method proposed in result of research works. They are compared in terms of their usefulness in the real applications.

Key words: standard IEEE 802.11, MAC layer, transmission quality of service (QoS), radio channel flow capacity, inter-frame spacing (IFS).

JEL codes: O3