



JAKOŚĆ OBSŁUGI W SIECIACH

Projekt 2

Analiza symulacyjna kategorii dostępowych EDCA z wykorzystaniem symulatora ns-3

Jan Ściga, Hubert Majdański, Justyna Gręda

Kraków, 24 maja 2023

Spis treści

1	Wstęp	3
2	EDCA	3
3	802.11aa	4
4	Generowanie ruchu	5
5	Implementacja	6
5.1	802.11e	6
5.2	802.11aa	6
5.3	Sterowanie zajętością bufora	6
6	Analiza wydajnościowa	7
6.1	EDCA 802.11e w systemie nasyconym	7
6.2	EDCA 802.11e w systemie nienasyconym	8
6.3	EDCA 802.11aa w systemie nasyconym	9
6.4	EDCA 802.11aa w systemie nienasyconym	10
6.5	Symulacja wielkości bufora	11
7	Podsumowanie	12

1 Wstęp

Opracowanie: Justyna Gręda

Sieci bezprzewodowe Wi-Fi to jedna z najpopularniejszych metod łączności z Internetem w obecnych czasach. Zapewnia ona dostęp do niezbędnych mediów i informacji za pomocą przenośnych urządzeń z każdego miejsca na świecie. Coraz częściej sieci Wi-Fi udostępniane są w instytucjach publicznych, sklepach czy restauracjach aby umożliwić klientom komunikację czy rozrywkę w czasie oczekiwania na obsługę. Wiele osób decyduje się także na porzucenie tradycyjnego Ethernetowego łącza w domu i zastąpienie go siecią bezprzewodową, chociażby dla pozbycia się kabli. Dzięki Wi-Fi możliwe jest także wykorzystanie technologii *Internet of Things* (IoT), a co za tym idzie, sterowanie inteligentnymi urządzeniami za pomocą np. smartfona. W ten sposób jednym z kluczowych zadań inżynierów sieciowych stało się zapewnienie odpowiedniej jakości korzystania z bezprzewodowego Internetu.

Aby zagwarantować właściwy QoS w sieciach bezprzewodowych, wprowadzony został standard 802.11e. Wprowadza on pojęcie kategorii dostępowej - umożliwia przypisanie ruchu do jednej z czterech klas różniących się między sobą priorytetami transmisji. Dzięki temu ruch głosowy może zawsze mieć zapewnioną lepszą jakość obsługi niż transmisja w tle. Standard 802.11e wraz z istotnym dla niego mechanizmem EDCA został szczegółowo omówiony w rozdziale 2.

W ramach projektu analizie zostanie poddany standard 802.11e za pomocą symulatora ns-3. Trzy pierwsze rozdziały teoretyczne traktują o samym mechanizmie EDCA, standardzie 802.11aa oraz generowaniu ruchu w systemie nasyconym i nienasyconym. Po krótkim omówieniu używanego w symulacji kodu w rozdziale 5, przedstawiona zostanie dokładna analiza wydajnościowa standardu, a także jego rozszerzenia - 802.11aa oraz symulacja wielkości bufora.

2 EDCA

Opracowanie: Justyna Gręda

W sieciach bezprzewodowych wiele urządzeń zabiega o dostęp do jednego kanału. Aby rozwiązać ten problem, standard 802.11e wprowadził metodę *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA), a co za tym idzie, możliwość zapewnienia QoS poprzez kategoryzowanie ruchu [6]. EDCA wprowadza cztery kategorie dostępowe, które szerzej zostały omówione w Tabeli 1.

Tabela 1: Kategorie dostępowe

Nazwa	ToS (ns-3)	AIFSN	Opis
AC_BK - Background	0x28	2	Kategoria o najniższym priorytecie dla ruchu w tle. Toleruje wyższe opóźnienia i jitter.
AC_BE - Best Effort	0x70	2	Kategoria o nieco wyższym priorytecie dla ruchu nie w czasie rzeczywistym. Nie ma szczególnych wymagań dla opóźnień czy jitteru.
AC_VI - Video	0xb8	3	Kategoria dla ruchu wideo w czasie rzeczywistym, wymaga niskich opóźnień i jitteru.
AC_VO - Voice	0xc0	7	Kategoria o najwyższym priorytecie dla ruchu głosowego w czasie rzeczywistym, wymaga bardzo niskich opóźnień i minimalnego jitteru.

Istotnymi parametrami kategorii QoS są te dotyczące okna współzawodnictwa (*contention window* - CW). Pozwalają one zróżnicować czas oczekiwania na transmisję pomiędzy kategoriami dostępowymi. Mogą zostać skonfigurowane w ramach dostosowania QoS do indywidualnych potrzeb [1]. Maksymalne i minimalne wartości CW zostały przedstawione w Tabeli 2.

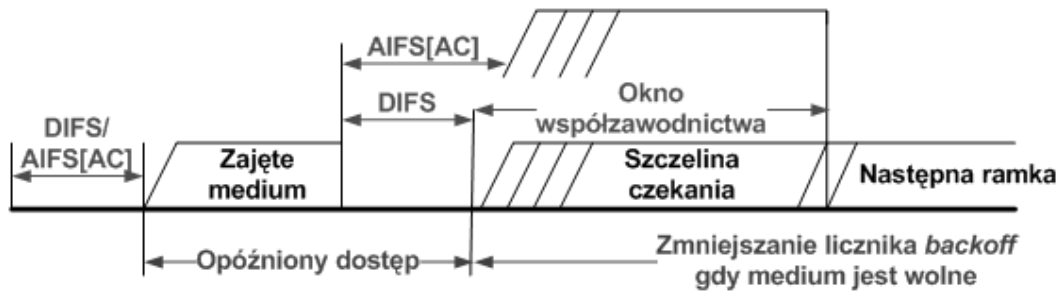
Tabela 2: Parametry okna współzawodnictwa dla poszczególnych kategorii dostępowych

AC	CWmin	CWmax
<i>Voice</i>	7	15
<i>Video</i>	15	31
<i>Best effort</i>	31	1023
<i>Background</i>	31	1023

Najwęższe okno występuje dla kategorii *voice*, a najszerze - *best effort* i *background*. Dzięki niskim wartościom i wąskiemu zakresowi, kategorie *voice*, a w drugiej kolejności *video* mogą mieć zapewnione pierwszeństwo w walce o łącze.

Każda z kategorii dostępowych posiada swoje parametry, które definiują jej szanse w walce o dostęp do kanału. Jednym z nich jest *Arbitration Inter-frame Space* (AIFS), który obliczany jest według wzoru (1):

$$AIFS[AC] = AIFSN[AC] \times \delta + SIFS \quad (1)$$



Rysunek 3: Procedura dostępu do kanału dla danej kategorii [4]

Gdzie δ to zależny od warstwy fizycznej *slot time*, a SIFS - *short inter-frame space*. Szczegółowo przedstawiony proces dostępu do kanału znajduje się na Rysunku 3.

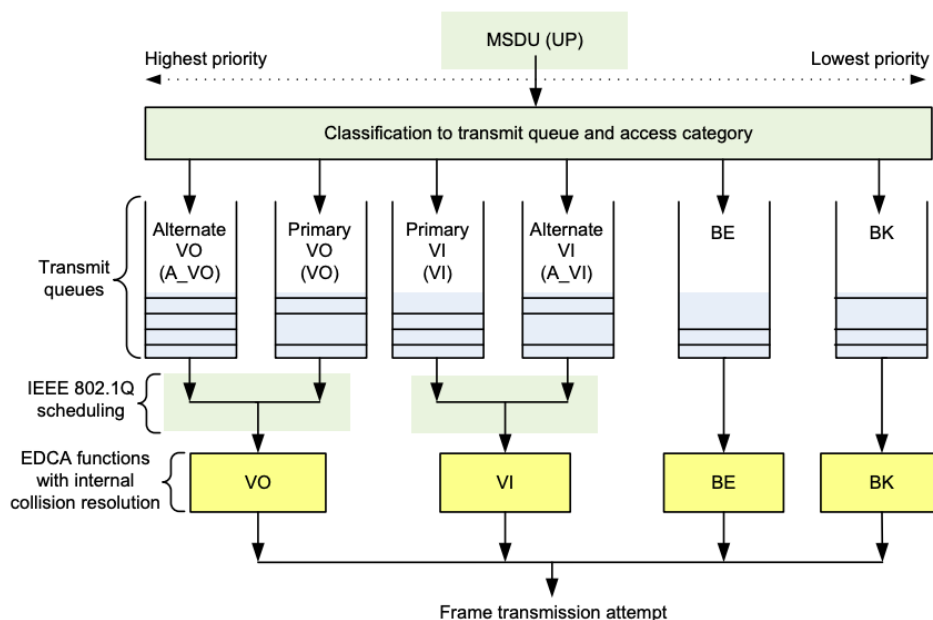
Urządzenie nasłuchuje, czy kanał jest zajęty. Gdy medium jest zajęte, po odczekaniu czasu AIFS[AC] wyliczonego według wzoru (1), może rozpocząć się odliczanie okna współzawodnictwa. Urządzenie losuje parametr *Backoff* z zakresu $[0, CW_{min}]$ (dla udanej transmisji) per kategoria. Gdy *backoff* dla danej kategorii osiągnie 0, może rozpocząć się transmisja danych.

Każdy węzeł sieci posiada cztery kolejki ruchu - po jednej dla każdej z kategorii [4]. Gdy w ramach tej samej stacji współzawodnictwo o dostęp wygrywa więcej niż jedna kategoria dostępową, może dojść do kolizji wirtualnej.

3 802.11aa

Opracowanie: Justyna Gręda

Chociaż standard 802.11e umożliwił przypisywanie generowanego ruchu do czterech kategorii dostępowych, nie umożliwił on priorytetyzacji ruchu w obrębie jednej kategorii, co w ścisłych przypadkach, kiedy jeden strumień głosowy jest ważniejszy od drugiego i należy to podkreślić mogłoby okazać się przydatne. Taką możliwość wprowadził 802.11aa. Kolejki dla klas *video* oraz *voice* zostały podzielone na dwie - wydzielono wersję alternatywną i główną. Schemat kolejek i podziału ruchu można zaobserwować na Rysunku 4.



Rysunek 4: Priorytetyzacja ruchu w 802.11aa [2]

802.11aa wprowadził sześć kolejek w miejsce czterech, co pozwoliło na lepszą obsługę strumieni audio i wideo. Kolejka o najwyższym priorytecie stała się *Alternate Voice*. Wprowadzono także algorytmy do obsługi kolejek głównych i alternatywnych - *Strict Priority* oraz *Credit-based shaper*, polegający na kredycie. Gdy jest on mniejszy bądź równy 0, ramki wybierane są z kolejki głównej. Gdy jest on dodatni (lub równy 0 a w kolejce głównej nie ma żadnej ramki), transmituje się zawartość kolejki alternatywnej.

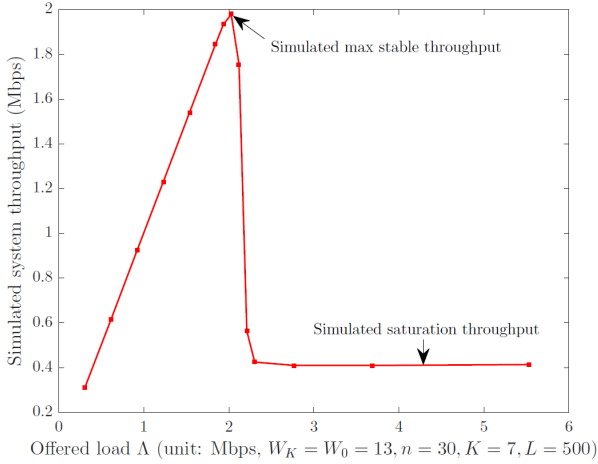
4 Generowanie ruchu

Opracowanie: Jan Ściga

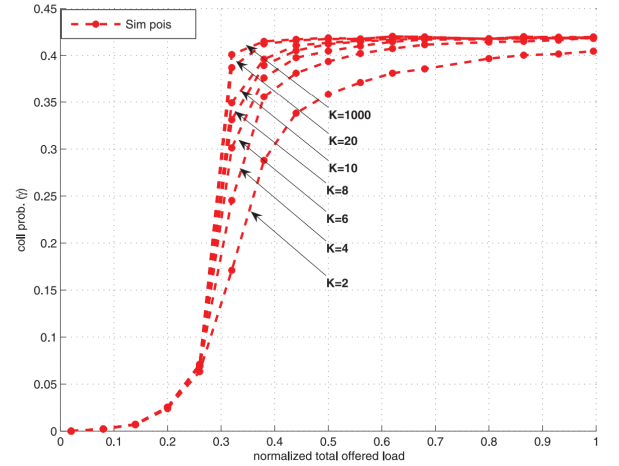
Ruch generowany przez użytkowników sieci telekomunikacyjnej nie jest stały i niezmienny jak często przyjmujemy w badaniach wydajnościowych protokołów czy standardów sieci bezprzewodowych. Wystarczy porównać ilość generowanego ruchu sieciowego w galerii handlowej około południa oraz w nocy, żeby uświadomić sobie, że natężenie ruchu wykazuje zawsze mniejsze lub większe fluktuacje wokół wartości średniej [3]. Dlatego też, w tej pracy rozpatrujemy zachowanie parametrów QoS standardu 802.11e w kontekście systemu nasyconego (*saturated*) oraz nienasyconego (*non-saturated*).

- **System nienasycony** (*non-saturated*) to system, w którym transmitujące węzły nie zawsze posiadają pakiet do wysłania [8], a więc jest to sytuacja w której cały oferowany ruch jest równy przepływności w systemie
- **System nasycony** (*saturated*) to system, w którym węzły zawsze posiadają pakiet do wysłania. Rywalizując o dostęp do kanału sprawiają, że ruch generowany nie równa się przepływności ponieważ występują straty i kolizje ramek

Losowość pojawiania się pakietów w stacjach sprawia, że prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji jest większe w systemie nasyconym gdzie każdy węzeł obecny w sieci będzie próbować wysłać swoją ramkę. Zwiększając oferowany ruch możemy zaobserwować punkt, w którym przepływność osiąga maksymalny punkt zwanym pikiem nasycenia (*presaturation peak*) [8]. Linia płaska widoczna na Rysunku 5a oznacza właśnie stan nasycenia. Innym czynnikiem jest wielkość bufora dostępnego w węźle sieci. Na Rysunku 5b widzimy, że mniejszy bufor oznacza dopuszczenie mniejszej ilości pakietów do rywalizacji o dostęp do kanału, a zatem mniejsze prawdopodobieństwo kolizji. Z kolei kategorie dostępowe QoS w ruchu nienasyconym nie są rozróżnialne przy małej intensywności generowania pakietów, co widoczne jest na Rysunku 6a.

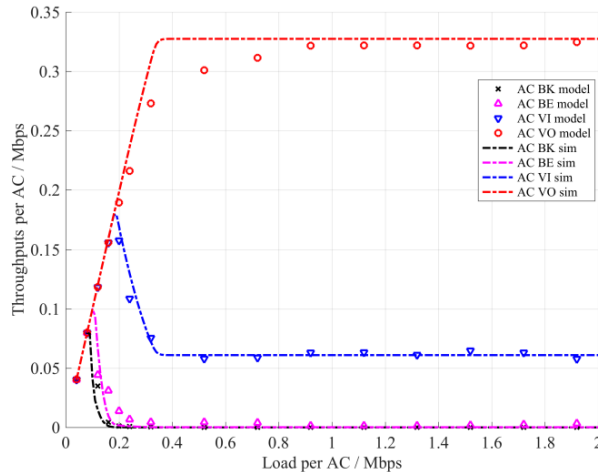


(a) Presaturation peak [8]



(b) Wielkość bufora K względem oferowanego ruchu [7]

Rysunek 5



(a) Kategorie dostępowe EDCA w systemie nienasyconym [5]

Rysunek 6

5 Implementacja

Opracowanie: Jan Ściga, Hubert Majdański

W poniższym rozdziale opisano najważniejsze elementy implementacji wykorzystywanych części symulatora ns-3 w zakresie działania sieci 802.11e oraz 802.11aa, a także symulacji wielkości bufora transmitującej stacji. W tej pracy skupiliśmy się na wykorzystaniu już istniejących funkcjonalności symulatora, a także dostępnych rozszerzeń ns-3.

5.1 802.11e

W symulacjach sieci 802.11e wykorzystujemy istniejący kod symulatora ns-3, który zawiera konfigurację czterech kategorii dostępowych poprzez znakowanie pola TOS dla generowanych pakietów, co widoczne jest na Listingu 1.

```
1 // Setting applications
2 ApplicationContainer sourceApplications, sinkApplications;
3 std::vector<uint8_t> tosValues = {0x70, 0x28, 0xb8, 0xc0}; //AC_BE, AC_BK, AC_VI, AC_VO
4 uint32_t portNumber = 9;
5 for (uint32_t index = 0; index < nWifi; ++index)
6 {
7     uint8_t tosValue = tosValues[index%4];
8     auto ipv4 = wifiApNode.Get (0)->GetObject<Ipv4> ();
9     const auto address = ipv4->GetAddress (1, 0).GetLocal ();
10    InetSocketAddress sinkSocket (address, portNumber++);
11    sinkSocket.SetTos (tosValue);
12    ...
13 }
```

Listing 1: Znakowanie pola TOS dla kategorii dostępowych EDCA 802.11e

5.2 802.11aa

W symulacjach sieci 802.11aa wykorzystany został kod dostarczony przez mgr. inż. Łukasza Prasnala - bazuje on na zmodyfikowanym ns-3 (w wersji ns-3.33), dzięki czemu pozwala na symulację dodatkowych kolejek alternatywnych dla kanałów głosowych oraz wideo, a także alternatywnego algorytmu kolejkowania pakietów, co przedstawione zostało na Listingu 2

```
1 wifi.SetQueueControllerForTid (7, "ns3::CbsaQueueController",
2                               "IdleSlope", DataRateValue (DataRate (8400000) ) ); //for ~7.5 Mb/s (7,5 *
3                               1,12 = 8,4)
4 wifi.SetQueueControllerForTid (6, "ns3::CbsaQueueController",
5                               "IdleSlope", DataRateValue (DataRate (2800000) ) ); //for ~2.5 Mb/s (2,5 *
6                               1,12 = 2,8)
7 wifi.SetQueueControllerForTid (5, "ns3::CbsaQueueController",
8                               "IdleSlope", DataRateValue (DataRate (16800000) ) ); //for ~15 Mb/s (15 *
9                               1,12 = 16,8)
10 wifi.SetQueueControllerForTid (4, "ns3::CbsaQueueController",
11                                "IdleSlope", DataRateValue (DataRate (5600000) ) ); //for ~5 Mb/s (5 * 1,12
12                                = 5,6)
```

Listing 2: Ustawianie wartości przepływności dla poszczególnych kolejek wykorzystując algorytm CBSA

5.3 Sterowanie zajętością bufora

Jednym z konfigurowalnych parametrów sieci bezprzewodowych w symulatorze ns-3 jest zajętość bufora, która może być sterowana przez maksymalną wielkość kolejki widoczną w Listingu 3.

```
1 Config::Set("/NodeList/*/DeviceList*/$ns3::WifiNetDevice/Mac/Txop/Queue/MaxSize", QueueSizeValue (
2   QueueSize ("WIELKOSC BUFORA") ));
```

Listing 3: Sterowanie maksymalną wielkością bufora w ns-3

Innym sposobem na kontrolowanie wielkości kolejki jest sterowanie maksymalnym opóźnieniem kolejkowanego pakietu co widoczne jest w Listingu 4.

```
1 Config::Set("/$ns3::NodeListPriv/NodeList*/$ns3::Node/DeviceList*/$ns3::WifiNetDevice/Mac/$ns3::
2   AdhocWifiMac/Txop/$ns3::Txop/Queue/MaxDelay", TimeValue (Milliseconds (OPOZNIENIE W KOLEJCE) ));
```

Listing 4: Sterowanie maksymalnym opóźnieniem w ns-3

6 Analiza wydajnościowa

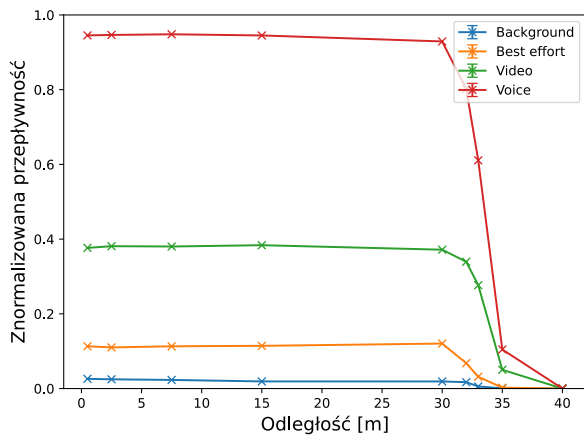
6.1 EDCA 802.11e w systemie nasyconym

Opracowanie: Justyna Gręda

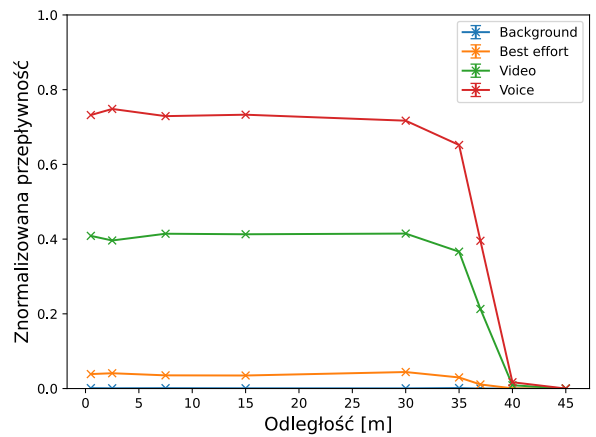
W ramach pierwszej części projektu zbadano zachowanie kategorii dostępowych w systemie nasyconym. Sprawdzone, jak odległość od węzła nadającego wpływa na przepływność w sieci, a także jak zmienia się przepustowość względem zwiększającego się *Modulation Coding Scheme* (MCS)

Tabela 7: Parametry symulacji EDCA 802.11e w systemie nasyconym

Symulacja	Scenariusz	Liczba stacji	Dystans [m]	MCS	Payload [B]	RTS/CTS
<i>Dystansu</i>	1	4	<i>Zmienny</i>	7	1472	OFF
<i>Dystansu</i>	2	8	<i>Zmienny</i>	6	1472	OFF
<i>MCS</i>	1	4	1	<i>Zmienny</i>	1472	ON
<i>MCS</i>	2	8	0.5	<i>Zmienny</i>	1472	OFF

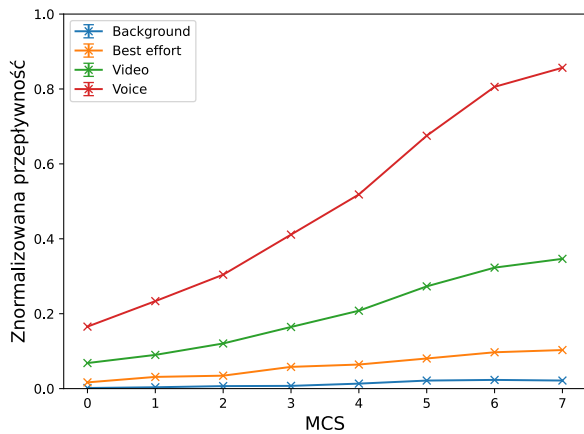


(a) Scenariusz 1

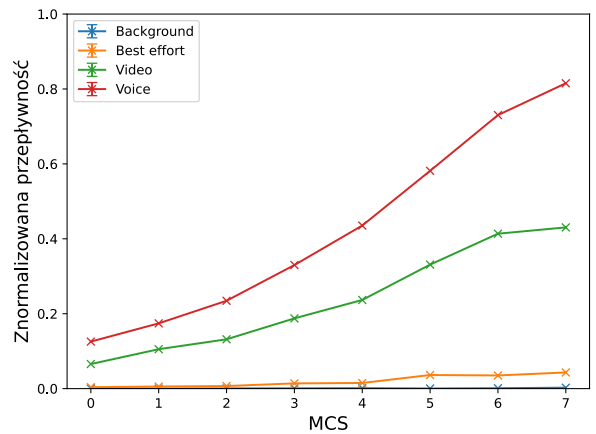


(b) Scenariusz 2

Rysunek 8: Znormalizowana przepływność względem odległości od punktu dostępowego



(a) Scenariusz 1



(b) Scenariusz 2

Rysunek 9: Znormalizowana przepływność względem MCS

Omówienie wyników: W symulacji pierwszej widocznej na Rysunku 8 zbadano wpływ odległości od węzła nadającego na przepływność w sieci. Do pewnego dystansu (około 30 metrów dla zadanych parametrów) utrzymuje się ona na stałym poziomie, po czym drastycznie spada, aby przy odległości 40-45 m wynieść 0. Zwiększenie liczby stacji i zmiana MCS na niższy spowodowało obniżenie przepływności dla wszystkich klas oprócz *video*. W drugiej symulacji przedstawionej na Rysunku 9 zbadano przepływność sieci dla każdej z ośmiu wartości MCS. Im większa wartość MCS, tym wyższa przepływność w sieci. Analogicznie jak w pierwszej symulacji, przy większej liczbie stacji zaobserwowano niższą przepływność dla wszystkich klas dostępowych oprócz *video*.

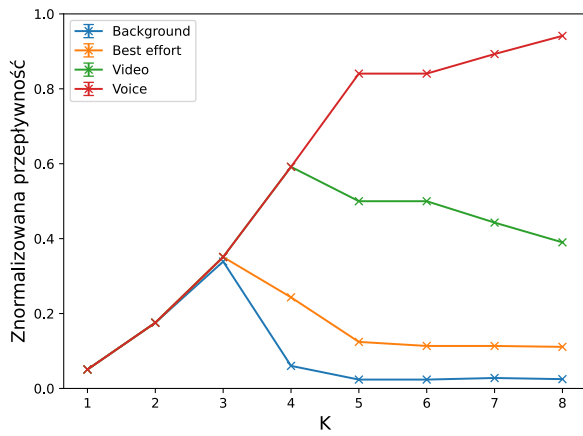
6.2 EDCA 802.11e w systemie nienasyconym

Opracowanie: Jan Ściga

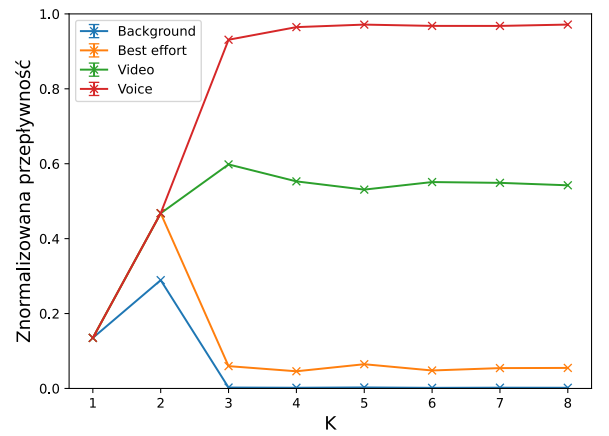
Przeprowadzenie symulacji związanej z działaniem kategorii dostępowych sieci standardu 802.11e, pozwoliło na sprawdzenie zachowania kategorii EDCA w stanie nasyconym. W tym punkcie proponujemy symulację działania 802.11e w systemie nienasyconym. W tym celu, w pierwszej symulacji przeprowadzamy badanie zależności parametru K rozkładu Erlanga sterującego intensywnością generowania ruchu. W drugiej symulacji sprawdzamy, jak zachowuje się przepływność dla poszczególnych kategorii w zależności od liczby stacji działających w systemie nienasyconym opisanym rozkładem Erlanga.

Tabela 10: Parametry symulacji EDCA 802.11e w systemie nienasyconym

Symulacja	Scenariusz	Liczba stacji	Dystans [m]	MCS	Payload [B]	K	RTS/CTS
K	1	4	1	7	1472	Zmienna	OFF
K	2	8	0.5	6	1472	Zmienna	OFF
Liczby stacji	1	Zmienna	1	7	1472	1	ON
Liczby stacji	2	Zmienna	0.5	6	1472	2	OFF

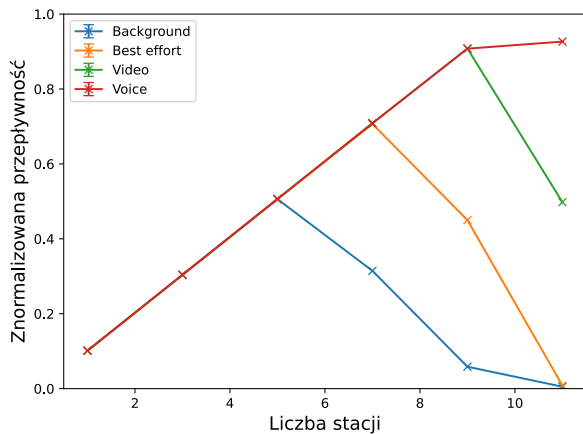


(a) Scenariusz 1

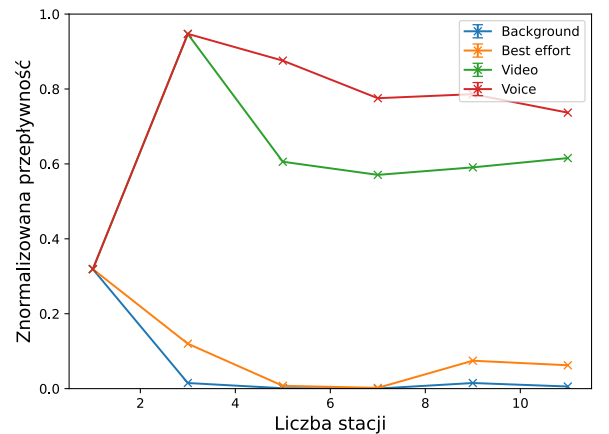


(b) Scenariusz 2

Rysunek 11: Znormalizowana przepływność względem parametru K rozkładu Erlanga



(a) Scenariusz 1



(b) Scenariusz 2

Rysunek 12: Znormalizowana przepływność względem liczby stacji

Omówienie wyników: Wykonane symulacje pokazują efekt widoczny we wstępie teoretycznym na Rysunku 6a. Na początkowych etapach symulacji, kategorie dostępne są nierozróżnialne z uwagi na losowość napływania pakietów do stacji. Wzrost intensywności generowanego ruchu (w symulacji pierwszej) lub wzrost liczby stacji (w symulacji drugiej) prowadzi do pojawiania się rywalizacji o dostęp do kanału, którą wygrywają kategorie *voice* oraz *video*, które dominują niższe kategorie (*background*, *best effort*). Dodatkowo, widzimy, że moment pojawienia się piku nasycenia zależy od prawdopodobieństwa kolizji w danym scenariuszu, dlatego na Rysunku 12b oraz 11b pojawił się on wcześniej niż w pozostałych scenariuszach.

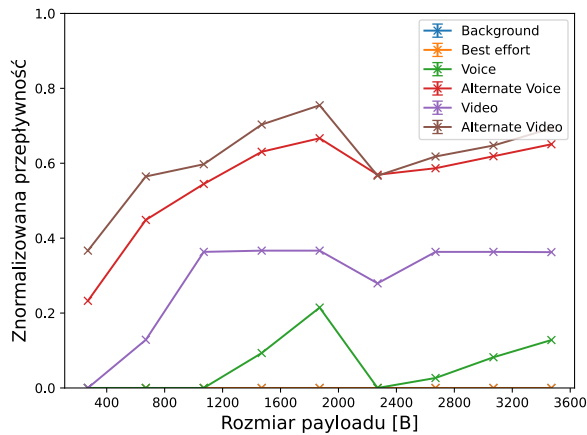
6.3 EDCA 802.11aa w systemie nasyconym

Opracowanie: Hubert Majdański

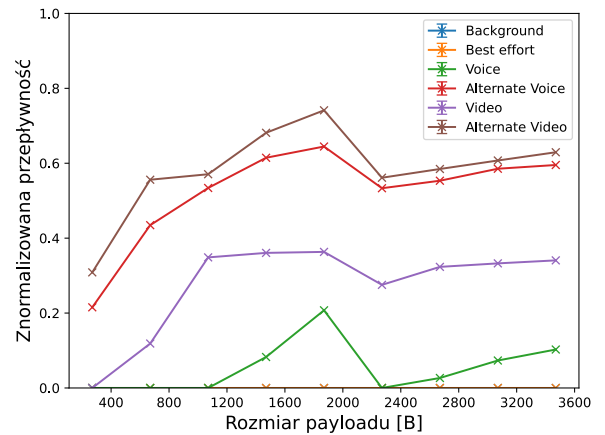
W celu porównania możliwości sterowania ruchem pomiędzy standardami 802.11e i 802.11aa wykonano badania sieci w stanie nasyconym. Badania te wykonano zarówno przy użyciu algorytmu kolejkowania SP (*Strict Priority*) będącego domyślnym algorytmem kolejkowania EDCA jak i również przy użyciu algorytmu CBSA (*Credit based shaper algorithm*). Zbadano jak na znormalizowaną przepływność wpływa wielkość wysyłanego pakietu, a także jak odległość od punktu dostępowego wpływa na przepływność w poszczególnych kolejkach.

Tabela 13: Parametry symulacji EDCA 802.11e w systemie nienasyconym

Symulacja	Scenariusz	Liczba stacji	Dystans [m]	MCS	Payload [B]	Algorytm	RTS/CTS
Rozmiaru pakietu	1	4	5	7	Zmienna	CBSA	OFF
Rozmiaru pakietu	2	4	5	7	Zmienna	SP	ON
Promienia	1	4	Zmienna	7	1472	SP	OFF
Promienia	2	8	Zmienna	6	1472	CBSA	OFF

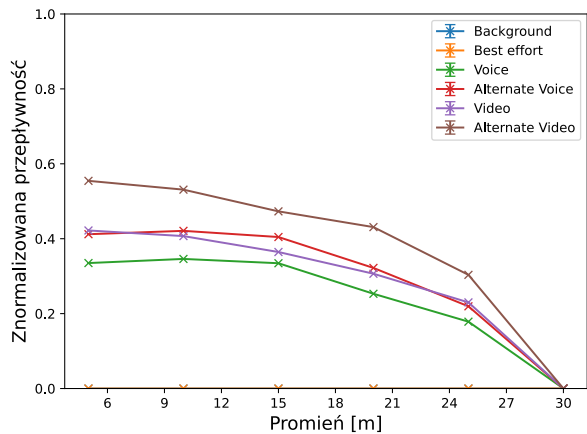


(a) Scenariusz 1

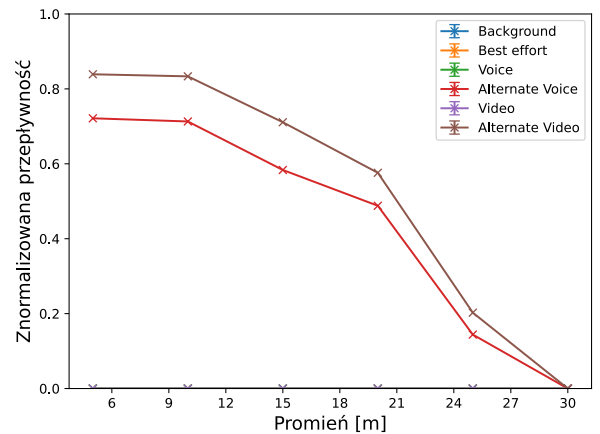


(b) Scenariusz 2

Rysunek 14: Znormalizowana przepływność względem rozmiaru payloadu



(a) Scenariusz 1



(b) Scenariusz 2

Rysunek 15: Znormalizowana przepływność względem promienia

Omówienie wyników: Z przedstawionych na wykresach danych możemy określić iż algorytm SP powoduje mniejszą dominację pasma przez kolejki A_VI oraz A_VO niż CBSA. Prioretyzowaną w sieciach 802.11aa kolejką jest kolejka alternatywna i zawsze to ona posiada najlepszą jakość połączenia. Mały rozmiar pakietu bardzo negatywnie wpływa na działanie sieci, co widoczne jest na Rysunku 14. Jest to spowodowane zapychaniem buforów przez dużo mniejsze niż zwykle pakiety. Wraz ze wzrostem wielkości pakietu przepływność rośnie aż do osiągnięcia maksymalnej przepływności gdy rozmiar pakietu = 1670 B. Promień okręgu na którym położone są stacje nie wpływa znacząco na przepływność aż do przekroczenia 30 metra. Wtedy pakiety przestają docierać do stacji, przez co przepływność sieci spada do 0, co przedstawiono na Rysunku 15. Włączenie funkcji RTS/CTS spowodowało spadek całkowitej przepływności co widoczne jest na Rysunku 14b.

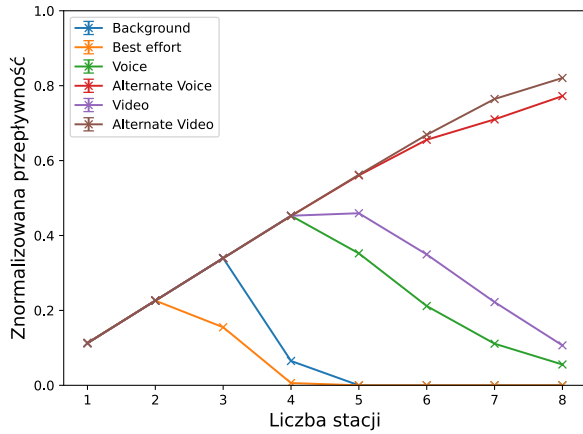
6.4 EDCA 802.11aa w systemie nienasyconym

Opracowanie: Hubert Majdański

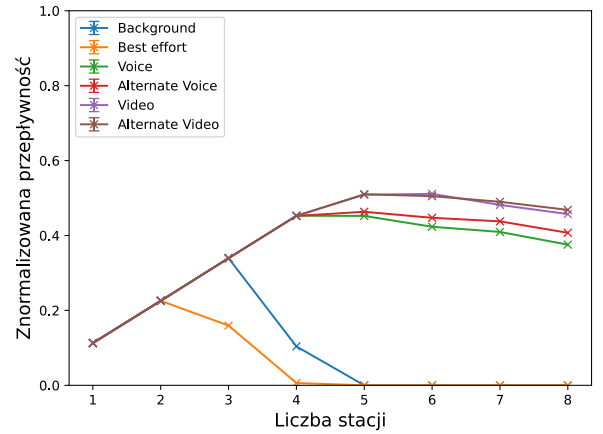
W celu lepszego porównania zachowania EDCA w standardzie 802.11aa wykonano dodatkowo badania układu w stanie nienasyconym - Zostało to wykonane przy pomocy zmiany liczby stacji (Każda stacja wysyłała zmienną liczbę *Mbps* do każdej kolejki) oraz przy pomocy zmiany ruchu oferowanego z jednej stacji. W tym przypadku badania również zostały przeprowadzone dla dwóch algorytmów kolejkowania.

Tabela 16: Parametry symulacji EDCA 802.11e w systemie nienasyconym

Symulacja	Scenariusz	Liczba stacji	Dystans [m]	MCS	Payload [B]	Algorytm	RTS/CTS
Liczby stacji	1	Zmienna	3	7	1472	CBSA	OFF
Liczby stacji	2	Zmienna	5	7	1472	SP	ON
Ruchu oferowanego	1	1	3	7	1472	SP	OFF
Ruchu oferowanego	2	1	5	7	1472	CBSA	OFF

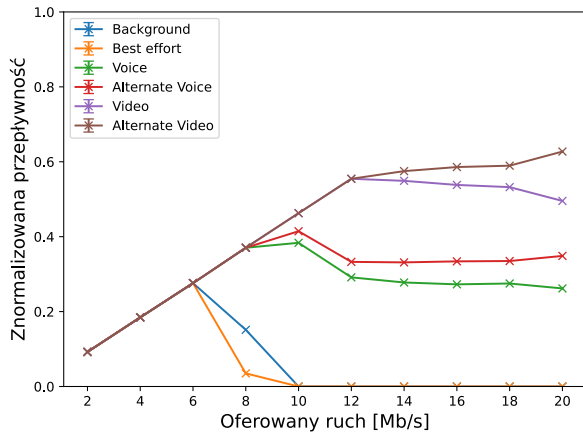


(a) Scenariusz 1

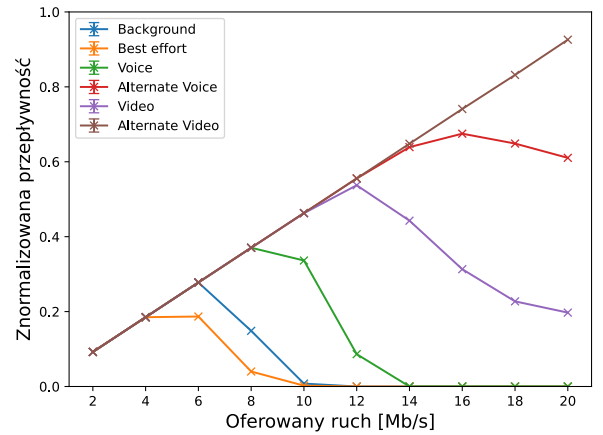


(b) Scenariusz 2

Rysunek 17: Znormalizowana przepływność względem liczby stacji



(a) Scenariusz 1



(b) Scenariusz 2

Rysunek 18: Znormalizowana przepływność względem ruchu oferowanego

Omówienie wyników: Dane uzyskane podczas symulacji w dziedzinie liczby stacji przedstawione na Rysunku 17 pozwalają na określenie iż początkowo wraz ze wzrostem ilości stacji znormalizowana przepływność rośnie. Jednakże po osiągnięciu maksymalnej przepływności standardu pojawia się konkurencja o dostęp do pasma. W związku z tym ruch BK oraz BE zaczyna być dominowany przez kolejki związane z transmisją głosu oraz wideo. Następnie kolejki VO oraz VI są dominowane przez kolejki A_VO oraz A_VI. W przypadku wzrostu ruchu oferowanego przedstawionego na Rysunku 18 z jednej stacji sytuacja jest analogiczna, jednakże ruch jest dominowany w mniejszym stopniu niż w przypadku wzrostu liczby stacji. Dodatkowo wartym zauważenia jest fakt iż w przypadku algorytmu *SP* dominacja kanałów alternatywnych podczas badań w jest mniejsza niż w przypadku algorytmu *CBSA*.

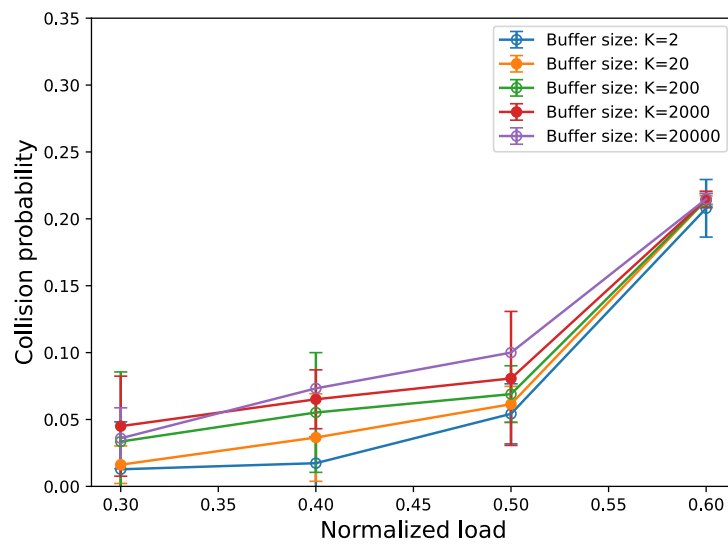
6.5 Symulacja wielkości bufora

Opracowanie: Jan Ściga

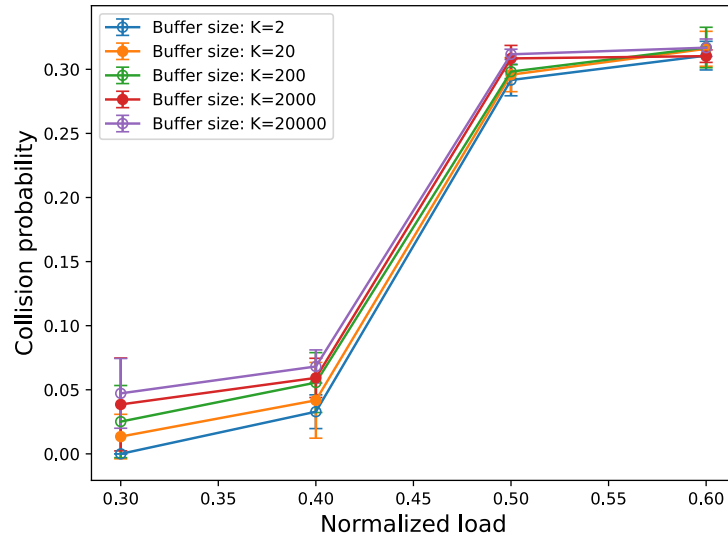
Przeprowadzenie symulacji związanych z kategoriami dostępowymi EDCA 802.11e oraz rozszerzonymi kategoriami dostępowymi 802.11aa, pozwoliło ocenić wpływ różnicowania parametrów mechanizmu *backoff* na wybraną metrykę *Quality of Service*. Nie jest to jednak jedyny sposób na poprawę jakości obsługi w sieci Wi-Fi, innym aspektem jest rozmiar bufora, który dostępny jest w transmitującej stacji sieci 802.11. Przykładem dostępnym w literaturze jest symulacja widoczna na Rysunku 5b. W tej symulacji koncentrujemy się na praktycznej weryfikacji działania tego mechanizmu z wykorzystaniem symulatora ns-3, konfigurowane scenariusze różnią się poziomem konkurencji o dostęp w kanale radiowym.

Tabela 19: Parametry dla symulacji wpływu wielkości bufora

Scenariusz	Wielkość pakietu	Liczba stacji	MCS	Czas symulacji [s]
1	1500	4	7	10
2	1500	8	7	10



(a) Scenariusz 1



(b) Scenariusz 2

Rysunek 20: Wyniki symulacji wpływu wielkości bufora

Omówienie wyników: Przeprowadzone badania pozwalają potwierdzić teoretyczną zależność widoczną na Rysunku 5b, którą omówiono we wstępie teoretycznym. Wyniki uzyskane w poszczególnych scenariuszach potwierdzają również wcześniejsze ustalenie dotyczące faktu osiągania przez system nasycenia. W pierwszym scenariuszu widocznym na Rysunku 20a system osiąga nasycenie wolniej niż w drugim scenariuszu z uwagi na mniejszą ilość transmitujących i rywalizujących ze sobą stacji.

7 Podsumowanie

Opracowanie: Justyna Gręda

W pierwszym podpunkcie analizy wydajnościowej sprawdzono jak odległość od węzła nadającego i wartość MCS wpływają na przepływność w systemie nasyconym. Dla zwiększającego się dystansu przepustowość początkowo pozostawała praktycznie bez zmian, jednak od około 30 metrów zaczęła drastycznie spadać. Po kolejnych 10-15 metrach osiągnęła ona 0. Dla scenariusza 2 przepływność była niższa dla trzech klas ruchu - jedynie dla *video* była ona wyższa niż w scenariuszu 1. Podobnie w przypadku zmiany MCS - im większa wartość, tym wyższa przepływność dla obu scenariuszy. Przy ośmiu stacjach jest ona mniejsza niż przy czterech dla wszystkich klas dostępowych oprócz *video*.

Następnie badano system nienasycony. W ramach pierwszej symulacji przeprowadzono badanie zależności przepływności od parametru K rozkładu Erlanga. Wykazano występowanie piku nasycenia, który szerzej został omówiony we wstępie teoretycznym. W drugiej symulacji analizowano wpływ liczby stacji na przepływność w systemie nienasyconym. Udowodniono, że moment pojawienia się piku nasycenia jest ściśle zależny od prawdopodobieństwa wystąpienia kolizji.

W kolejnym podrozdziale sprawdzono funkcje standardu 802.11aa w systemach nasyconym (6.3) i nienasyconym (6.4). Dla systemu nasyconego wykazano, że kolejki alternatywne cechują się znaczną dominacją pasma przy użyciu algorytmu SP oraz, że małe pakiety wpływają negatywnie na działanie sieci poprzez zapychanie buforów. W systemie nienasyconym po osiągnięciu maksymalnej przepływności dozwolonej przez standard kategorie zaczynają konkurować o dostęp do pasma.

Jako ostatni element projektu przeprowadzono symulację wielkości bufora. Wykazano, że dla mniejszego rozmiaru bufora prawdopodobieństwo kolizji jest mniejsze z powodu dopuszczenia mniejszej ilości pakietów do rywalizacji o dostęp do kanału.

Bibliografia

- [1] Katarzyna Kosek, Marek Natkaniec i Luca Vollero. "Thorough Analysis of 802.11e Star Topology Scenarios in the Presence of Hidden Nodes". W: *NETWORKING 2008 Ad Hoc and Sensor Networks, Wireless Networks, Next Generation Internet*. Red. Amitabha Das i in. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 792–803. ISBN: 978-3-540-79549-0.
- [2] Katarzyna Kosek-Szott, Marek Natkaniec i Lukasz Prasnal. "IEEE 802.11aa intra-AC prioritization - A new method of increasing the granularity of traffic prioritization in WLANs". W: *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 2014, s. 1–6. DOI: 10.1109/ISCC.2014.6912499.
- [3] Zdzisław Papir. *Ruch telekomunikacyjny i przeciążenia sieci pakietowych*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2001.
- [4] Szymon Szott, Marek Natkaniec i Andrzej R. Pach. "Analiza zagadnienia sprawiedliwego dostępu do kanału radiowego realizowanego za pomocą modyfikacji parametrów okna współzawodnictwa w sieciach ad-hoc standardu IEEE 802.11e". W: *Telekomunikacja Cyfrowa – Technologie i Usługi* 9 (2008/2009).
- [5] Ning Wang i Jia Hu. "Performance Analysis of the IEEE 802.11p EDCA for Vehicular Networks in Imperfect Channels". W: *2021 20th International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (IUCC/CIT/DSCI/SmartCNS)*. 2021, s. 535–540. DOI: 10.1109/IUCC-CIT-DSCI-SmartCNS55181.2021.00089.
- [6] Haitao Wu i in. "IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) Throughput Analysis". W: *2006 IEEE International Conference on Communications*. T. 1. 2006, s. 223–228. DOI: 10.1109/ICC.2006.254731.
- [7] Qinglin Zhao, Danny H. K. Tsang i Taka Sakurai. "Modeling Nonsaturated IEEE 802.11 DCF Networks Utilizing an Arbitrary Buffer Size". W: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 10.9 (2011), s. 1248–1263. DOI: 10.1109/TMC.2010.258.
- [8] Qinglin Zhao i in. "SatOpt Partition: Dividing Throughput-Stability Region for IEEE 802.11 DCF Networks". W: *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 69.9 (2020), s. 10278–10290. DOI: 10.1109/TVT.2020.3004476.