

Antoni Masiukiewicz  
Akademia Finansów i Biznesu Vistula – Warszawa

## Metody wyboru kanałów w sieciach 802.11. Przegląd rozwiązań

### Streszczenie

Wybór kanału transmisji danych jest kwestią bardzo istotną w przypadku sieci wykorzystujących standard 802.11. Niezależnie od tego, czy standard służy do budowy sieci WLAN, Hot Spota lub jest wykorzystywany w transmisji kratowej, wybór kanału decyduje o uzyskanych parametrach QoS. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań bezprzewodowych na świecie jest standard Wi-Fi. W zależności od przyjętego kryterium można dokonać kilku jego klasyfikacji. W artykule omówiono podatność i odporność sieci na interferencje. Zaprezentowano także strukturę kanałów w pasmach 2,4, 5 i 60 GHz oraz metody selekcji kanałów. Przedstawiono także problemy i kierunki badań związanych z tematyką poruszaną w artykule.

**Słowa kluczowe:** standard 802.11, sieć bezprzewodowa, kanał komunikacji.

**Kody JEL:** C61

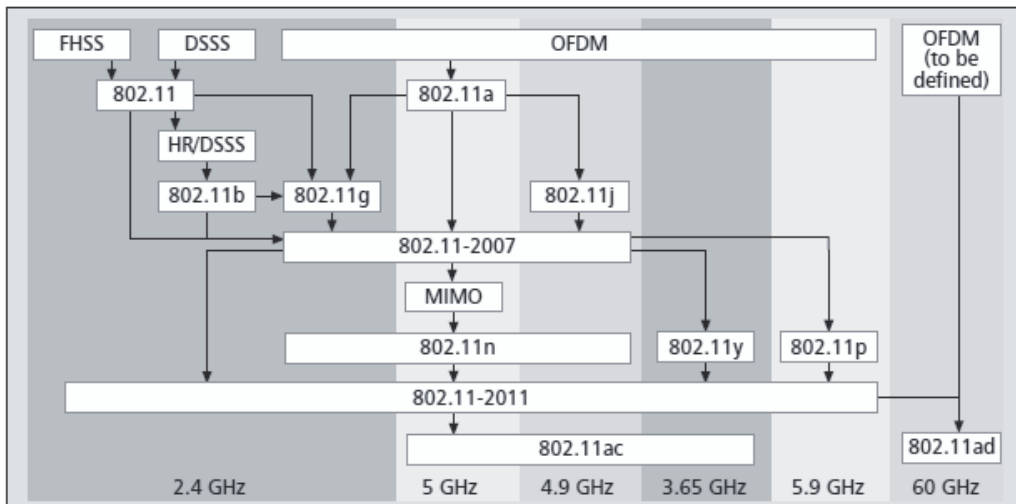
### Wprowadzenie

Wybór kanału, w którym planowana jest transmisja stanowi kwestię bardzo istotną w przypadku sieci wykorzystujących standard 802.11. Niezależnie od tego czy standard służy do budowy sieci WLAN, hotspota lub jest wykorzystywany w transmisji kratowej, wybór kanału może decydować o uzyskanych parametrach QoS. Standard Wi-Fi jest jednym z najpopularniejszych rozwiązań bezprzewodowych na świecie. Nielicencjonowany dostęp do zasobów widma elektromagnetycznego oraz niskie ceny urządzeń doprowadziły do powszechnego wykorzystywania tej technologii (Hiertz *et al.* 2010). Popularność obnażyła pewne istotne ograniczenia standardu 802.11 (Chieochan *et al.* 2010). Podstawowym są interferencje, tzn. wzajemne zakłócanie się stacji działających w standardzie 802.11. Stacje będące w różnych sieciach mogą nadawać na tych samych lub sąsiednich kanałach. Mamy doczynienia z interferencjami wewnątrz i międzykanałowymi. Oprócz zakłóceń wewnętrznych na wybranych pasmach częstotliwości występują również inni użytkownicy, np. Bluetooth na częstotliwości 2,4 GHz i użytkownicy radarów w paśmie 5 GHz. Tym niemniej krytyczne są zakłócenia wewnętrzne. Obecnie najwięcej sieci Wi-Fi pracuje w standardach 802.11b/g/n, wykorzystując częstotliwość 2,4 GHz. Standard 802.11n może pracować w paśmie 5 GHz, jednak ze względu na konieczność współpracy ze standardami 802.11b/g bardzo często i on wykorzystuje częstotliwość 2,4 GHz. Obecnie produkuje się najwięcej *chipsetów* zgodnych ze standardem 802.11n, a przewiduje się że w kolejnych latach będzie

to 802.11ac, jednak ciągle w przypadku struktury rynku urządzeń obecnie działających znaczące miejsce mają chipsety w technologii 802.11b/g (Aruba 2012). Taka struktura rynku powoduje, że większość sieci lokalnych wykorzystuje pasmo 2,4 GHz, niezbyt korzystne ze względu na strukturę warstwy fizycznej. Na schemacie 1 pokazano rozwój warstwy fizycznej standardu 802.11.

## Schemat 1

### Rozwój warstwy fizycznej standardu 802.11



Źródło: Hiertz *et al.* (2010).

Oprócz wymienionych wcześniej częstotliwości również inne pasma i zakresy, takie jak 4,9 GHz, 3,65 GHz i 5,9 GHz zostały zarezerwowane dla sieci Wi-Fi. Jednak nie wszystkie zakresy zostały wykorzystane w rozwiązaniach komercyjnych.

## Klasyfikacja sieci standardu 802.11

Można dokonać kilku klasyfikacji sieci Wi-Fi, w zależności od przyjętego kryterium. Formalnie sieci dzieli się na BSS i ESS, jednak ze względu na podatność na zakłócenia, a szczególnie interferencje, warto wprowadzić również inne kryteria. W tabeli 1 zestawiono różne kategorie sieci występujące w literaturze.

Jedna sieć może jednocześnie spełniać wiele kryteriów. Powstaje pytanie, które sieci są bardziej podatne na interferencje, a które bardziej odporne.

Tabela 1

## Kategorie sieci Wi-Fi

Nr	Kategoria/ kryterium sieci Wi-Fi	Opis
1	BSS	Pojedyncza sieć WLAN z jednym AP
2	ESS	Sieć WLAN złożona z wielu podsieci, z których każda ma swój AP
3	Kratowe	Sieci w których możliwa jest komunikacja bez korzystania z pośrednictwa AP
4	Koordynowane	Posiadające administratora, który za pośrednictwem dostępnych narzędzi zarządza siecią
5	Niekoordynowane	Brak administratora
6	Hotspoty	Punkty dostępne do Internetu
7	O strukturze planowanej	Sieci zazwyczaj zawierające wiele AP, których lokalizacja i przydział kanału jest ściśle określony za pomocą metod dostępnych dla różnych technologii bezprzewodowych
8	O małej i średniej przepustowości	802.11a/b/g
9	O wysokiej i bardzo wysokiej przepustowości	802.11n/ac/ad
10	Pracujące w różnych pasmach	2,4 GHz 802.11b/g/n 5 GHz 802.11a/ac 60 GHz 801.11ad
11	O dużej gęstości użytkowników	Zazwyczaj zawierające dużą liczbę starannie rozmieszczonych AP, budowane w salach konferencyjnych, aulach
12	Domowe sieci prywatne	W mieszkaniach i domach jednorodzinnych, zazwyczaj wykorzystujące jeden AP
13	Ad-hoc	Zestawione dla realizacji konkretnej transmisji
14	Stałe	Realizujące transmisje w danej konfiguracji i lokalizacji w sposób quasi-ciągły
15	Styczne	Pracujące bez zmian położenia AP i kanału transmisyjnego
16	Dynamiczne	Wykorzystujące dostępne technologie do dynamicznej alokacji kanałów
17	Liczba niezakłócających kanałów	3 w paśmie 2,4 GHz, 4 w paśmie 60 GHz, 8 w paśmie 5 GHz
18	Mechanizmy warstwy MAC	DCF, PCF, DCF z wykorzystaniem RTS/CTS
19	Warunki w kanale radiowym	Przeszkody, podłoże, wielodrogowość itp.

Źródło: opracowanie własne.

Sieć typu BSS, pracująca w idealnym otoczeniu w którym nie ma innych sieci, będzie pozbawiona interferencji. Stacje współpracujące z danym AP walczą o dostęp do medium, a mechanizm wbudowany w warstwę MAC w zasadzie zabezpiecza je przed interferencjami. Problemem pozostają kolizje, a próba jednoczesnej transmisji może zablokować kanał,

w zależności od stosowanego wariantu schematu dostępu do nośnika. Można wtedy mówić o interferencjach wewnątrzkanałowych, aczkolwiek w sytuacji kolizji nie dochodzi do transmisji jeżeli zastosuje się schemat DCF z komunikatami RTS/CTS. Kolizje są nieuniknione w sieciach standardu 802.11. Stosuje się określone mechanizmy w celu ograniczenia liczby kolizji, np. zwiększanie wartości CW (Contention Window) ale powoduje to wzrost średniego czasu  $T_{BO}$  (*backoff time*) i w konsekwencji ograniczenie uzyskiwanej przepływności.

W przypadku sieci ESS sytuacja jest trudniejsza. W takiej sieci mamy zazwyczaj do czynienia z wieloma AP i wieloma stacjami. Jeżeli sieć została starannie zaplanowana i jest administrowana, to można tak rozmieścić AP, aby ich sygnały wzajemnie się nie zakłócały. Możliwy jest też taki przydział częstotliwości (kanałów) aby interferencje zminimalizować. W tej strukturze najwięcej problemów generują użytkownicy przypisani do danego AP, przemieszczający się w obszarze przez ten AP obsługiwany. W przypadku gdy stacja robocza znajduje się na skraju zasięgu danego AP, w oczywisty sposób wytwarza interferencje w obszarze innych AP. W przypadku wielu AP w paśmie 2,4 GHz, poziom interferencji będzie wzrastał, ponieważ do dyspozycji są tylko trzy niezakłócające się kanały. W przypadku paśmie 5 GHz sytuacja jest korzystniejsza.

Sieć planowana to taka, w której do rozmieszczenia AP wykorzystano jedną z metod planowania. Wykorzystuje się techniki i software stosowane również do planowania sieci komórkowej lub dedykowane sieci WLAN. W sieciach planowanych można ograniczyć wzajemnie oddziaływanie AP ale zazwyczaj nie ma ograniczeń względem położenia stacji roboczych. Stąd nie da się uniknąć interferencji.

Sieci planowane mogą mieć administratora. Jego ingerencja może ograniczyć poziom interferencji poprzez selekcję kanałów i dobór mocy nadawania.

Osiągnięcie wysokiej przepustowości w sieci wiąże się z koniecznością zagwarantowania minimalnego poziomu mocy, przy którym można rzeczonym przepustowość osiągnąć. Może to być związane ze zwiększaniem poziomu mocy. Ogólnie jest to słaby punkt systemu, ponieważ jeżeli na danym obszarze działa kilka sieci i każda będzie chciała zastosować maksymalny sygnał, to poziom interferencji wzrośnie. Teoretycznie można więc osiągnąć wymagany poziom sygnału jednak ograniczeniem jest poziom szumów. Interferencje w kanale transmisyjnym są traktowane jako wzrost poziomu szumów, a stosunek sygnał-szum (SNR) jest jednym z czynników ograniczających przepustowość.

Bardzo wiele sieci ma obecnie charakter stały i jest wykorzystywane w sposób ciągły. Jeżeli są to sieci prywatne, to ich cechą charakterystyczną jest przywiązanie do ustawień fabrycznych (domyślnych) i wynika zazwyczaj z dość słabej wiedzy oraz możliwości użytkowników. W tego typu sieciach dominuje wybór kanału domyślnego i brakuje zabiegów prowadzących do zmian w konfiguracji. Sieci prywatne domowe kwalifikuje się do kategorii sieci z małym udziałem planowania i koordynacji. Występują w nich duże problemy

z interferencjami. Kwestie związane ze strukturą kanałów, wykorzystywanymi pasmami, liczbą kanałów zostaną omówione w kolejnym rozdziale.

W celu zmniejszenia interferencji opracowano szereg różnych rozwiązań pozwalających na optymalizację doboru kanałów. Zazwyczaj rozwiązania te bazują na dynamicznym przydziale kanałów. Cechy wybranych rozwiązań omówiono i porównano w części Metody selekcji kanałów.

## Struktura kanałów w pasmach 2,4, 5 i 60 GHz

W tabeli 2 zestawiono najważniejsze parametry warstwy fizycznej w tych pasmach.

**Tabela 2**

### Struktura warstwy fizycznej w sieciach Wi-Fi

Standard	Pasmo [GHz]	Dostępne szerokości kanałów [MHz]	Liczba kanałów <sup>1/</sup>	Charakter pasma
802.11a	5,0	20	12 <sup>4/</sup>	UNII <sup>2/</sup>
802.11b	2,4	20	11 lub 13 lub 14	ISM <sup>3/</sup>
802.11g	2,4	20	11 lub 13 lub 14	ISM
802.11n	2,4	20/40	11-14	ISM
	5,0	20/40	8/4	UNII-1
802.11ac	5,0	20/40/80/160	8/4/2/1	UNII-1
		20/40/80/160	11/5/2/1	UNII-2
802.11ad	60,0	2160	4	Pasmo dla komunikacji bezprzewodowej

1/ Liczba kanałów może być różna w zależności od regulacji obowiązujących w danym państwie.

2/ Unlicensed National Information Infrastructure.

3/ Industrial, Scientific, Medical.

4/ 8 kanałów do zastosowań w pomieszczeniach, 4 do pracy PTP (*point to point*).

Źródło: jak w tabeli 1.

Najmniej korzystna z punktu widzenia interferencji jest sytuacja w paśmie 2,4 GHz. Jest ono otwarte dla wszystkich użytkowników. W zakresie częstotliwości dedykowanym dla 802.11 zdefiniowano 11 kanałów (zarówno zakres pasma, jak i liczba kanałów, może się różnić w zależności od regulacji w poszczególnych krajach) o szerokości 20 MHz, z których każdy na osi częstotliwości jest przesunięty o 5 MHz. W konsekwencji są tylko trzy kanały niezakłócające się o numerach 1,6,11, przy czym ze względu na kształt maski spektralnej pewna część mocy szumów i interferencji może zakłócać również te kanały. Dodatkowo w paśmie 2,4 GHz występują zakłócenia generowane przez sieci lub urządzenia pracujące w standardzie Bluetooth. Można przyjąć, że w paśmie 2,4 GHz w przypadku zastosowania

kanału o szerokości 20 MHz na wspólnym obszarze liczba sieci nie powinna przekraczać 3. Kanał o szerokości 40 MHz w paśmie 2,4 GHz można otrzymać w standardzie 802.11n przez połączenie dwóch sąsiednich kanałów. Ponieważ całe pasmo ma około 80 MHz można uzyskać zaledwie dwa wzajemnie niezakłócające się kanały. Pasmo 5 GHz zawiera trzy sub-pasma UNII oznaczane jako I, II i III (nazywane również jako *low*, *middle* i *high*). W tych pasmach mamy do dyspozycji od 8 do 11 kanałów o szerokości 20 MHz lub po 4 kanały o szerokości 40 MHz.

## Metody selekcji kanałów

W celu ograniczenia poziomu mocy interferencji można zastosować kilka różnych rozwiązań (Chieochan *et al.* 2010). Po pierwsze w sieciach koordynowanych, gdzie udział administratora w sterowaniu ruchem jest znaczący, stosuje się metody zintegrowanego zarządzania, w którym uwzględnia się zbalansowany rozkład obciążenia, tak aby zachować warunki *fairness* tzn. równoprawnego traktowania wszystkich klientów danej sieci (Bajerano *et al.* 2004). Drugie rozwiązanie to dynamiczne sterowanie mocą, które może być stosowane również w sieciach bez centralnej koordynacji (Akella *et al.* 2005; Alawieh *et al.* 2009; Dolińska *et al.* 2013a). Trzecim rozwiązaniem jest sterowanie wyborem kanału (Chieochan *et al.* 2010). To rozwiązanie jest przedmiotem szeregu prac, w wyniku których powstało wiele projektów. Wybór kanału jest związany z przeprowadzeniem procesu optymalizacji. Jego celem jest:

- uzyskanie maksymalnej pojemności systemu,
- minimalizacja poziomu interferencji,
- maksymalizacja przepływności (*throughput*) systemu,
- maksymalizacja bezstronności (*fairness*) systemu.

W zależności od rozwiązania, założenia, priorytety i sposób definiowania interferencji mogą się różnić. W większości przypadków przydział kanałów w standardzie 802.11 jest zadaniem złożonym. Planowanie sieci Wi-Fi odbywa się zazwyczaj na niższym poziomie niż to ma miejsce np. w systemach telefonii komórkowej, ale przede wszystkim nieporównywalne są zasoby częstotliwości, np. w systemie GSM 900 są po 124 kanały do transmisji *up* i *down* (od stacji do użytkownika i odwrotnie). Dodatkowym problemem w sieciach Wi-Fi jest sam mechanizm dostępu w warstwie MAC oparty na protokole CSMA i różne schematy dostępu do nośnika, a przede wszystkim DCF i DCF z wykorzystaniem komunikatów RTS/CTS (Dolińska *et al.* 2013b). Inaczej niż w telefonii komórkowej zorganizowano przesyłanie danych kontrolnych i sterujących. W sieciach standardu 802.11 wszystkie informacje są przesyłane w jednym kanale. W konsekwencji powstaje układ kilku zmiennych.

W tabeli 3 zestawiono wybrane techniki doboru kanałów w sieciach standardu 802.11.

Tabeli 3

## Metody wyboru kanałów w sieciach 802.11

Lp.	Nazwa	Opis	Źródło
1	Maps coloring	Technika wykorzystująca planowanie położenia AP, przydział kanałów przez administratora i maps coloring.	Hills (2001)
2	Integer Linear Programming (ILP)	Optymalizacja liczby klientów przydzielonych do danego AP, wymaga dużej ilości informacji na temat sytuacji w sieci.	Choy <i>et al.</i> (2002)
3	Priority Map	Priorytetyzacja punktów dostępowych, analiza rozkładu ruchu w sieci.	Wertz <i>et al.</i> (2004)
4	Patching algorithm	Uwzględnienie <i>fairness</i> , wymaga złożonych obliczeń.	Ling, Yeoung (2005)
5	CFAssign-RaC	Analiza interferencji całym obszarze sieci.	Mishra <i>et al.</i> (2005)
6	Least Congested Channel Search (LCCS)	Wybór kanału o minimalnej liczbie klientów.	Achanta (2006)
7	Pick rand	Wykorzystywana w przypadku zastosowania nakładających się kanałów.	Akl, Arepally (2007)
8	Spectrum assignments for WLAN (SAW)	Wykorzystanie w sieciach domowych.	Herzen <i>et al.</i> (2013)

Źródło: jak w tabeli 1.

W sieciach z udziałem administratora optymalizacja sieci polega na właściwym rozłożeniu punktów dostępowych i sterowaniu przydziałem kanałów, tak aby zminimalizować interferencje i maksymalizować pojemność systemu. W początkowym okresie sieci Wi-Fi były to typowe sieci rozbudowujące firmowy WLAN o dostęp bezprzewodowy. Projektant systemu rozpoczynał od zaplanowania położenia punktów dostępowych, a następnie – znając położenie wszystkich AP – przydzielał kanały. Przydział miał charakter statyczny (jednorazowy). Projektant może uwzględnić takie elementy jak: planowany ruch, niezbędne przepływności pod kątem grup użytkowników oraz ich mobilność. W celu optymalizacji sieci wykonuje się pomiary zarówno w środowiskach testowych, jak i produkcyjnych, które pozwalają na eliminację takich niedogodności jak martwe punkty (obszary z brakiem zasięgu) i obszary z dużym tłumieniem sygnału. Wsparciem dla takiego planowania może być system kolorowych wykresów (*maps coloring*) gdzie każdy punkt dostępowy jest reprezentowany przez inny kolor. Mapa pozwala na ocenę poziomu interferencji na płaszczyźnie.

Nieco inne podejście zaproponowane przez Choy *et al.* (2002) uwzględnia dwa elementy; po pierwsze lokalizacje punktów dostępowych, po drugie rozkład ilości danych pomiędzy różne punkty dostępowe. W przekonaniu autorów liczba klientów obsługiwanych przez punkt dostępowy ma istotny wpływ na całkowitą przepływność systemu. Celem optymalizacji w tym przypadku jest liczba klientów przypadających na jeden punkt dostępowy w sieci zawierającej wiele administrowanych punktów dostępowych, a w konsekwencji – maksymalizacja przepływności systemu. Osiągnięcie celu następuje poprzez przydział klientów do danego AP i określenie poziomu interferencji oraz dystrybucji kanałów pomiędzy różne AP. ILP wymaga



szeregu informacji na temat liczby klientów, poziomu mocy sygnałów oraz poziomu mocy interferencji. Duża dynamika systemu może powodować niską skuteczność optymalizacji.

*Priority map* (Wertz *et al.* 2004) wymaga informacji o potencjalnym ruchu w sieci. Sieć jest planowana z punktu widzenia lokalizacji punktów dostępowych, do których przypisywane są kanały. W sieci identyfikowane są obszary (piksele) o największym potencjalnym ruchu i one otrzymują najwyższy priorytet. Optymalizacja takiej sieci wymaga kilku kroków, w czasie których eliminowane są najmniej wydajne punkty dostępowe przy zastosowaniu kilku algorytmów analizujących poziom interferencji i poziomy sygnałów pożądaných.

W przypadku zastosowania Patching Algorithm (Ling, Yeoung 2005) dodatkowo analizuje się kwestię *fairness*. Przepływność dla danego kanału jest modyfikowana poziomem interferencji pochodzących od sąsiednich obszarów obsługiwanych przez inne punkty dostępowe. W analizie sieci wykorzystywane jest *fairness index*  $F$ . Indeks ten wyraża się następującą zależnością:

$$F = \frac{(\sum_i^N Th_i)^2}{N \cdot \sum_i^N (Th_i)^2} \quad (1)$$

gdzie  $N$  jest liczbą klientów w sieci, podczas gdy  $Th_i$  jest przepływnością osiąganą przez  $i$ -tego klienta. Maksymalna wartość  $F$  to 1 i może ona być osiągnięta gdy wszyscy klienci uzyskali taką samą przepływność.  $F$  dąży do  $1/N$  w przypadku gdy przepływności dla poszczególnych klientów wykazują dużą rozpiętość. Rozwiązanie to wymaga przeprowadzenia złożonych obliczeń.

Metoda CFAssign-RaC (Mishra *et al.* 2005) uwzględnia interferencje pochodzące z wielu źródeł, widziane nie tylko przez AP ale również przez klientów danego AP. Optymalizacja polega na maksymalizacji liczby stacji, dla których brak jest konfliktów w przydziale kanałów w całym obszarze sieci w pierwszym kroku i balansowaniu przepływności dla poszczególnych stacji – w drugim.

Powyżej omówione rozwiązania dotyczyły administrowanych sieci o zaplanowanej strukturze. Obecnie wiele sieci wykorzystujących standard 802.11 ma charakter niekoordynowany. Ich liczba rośnie ze względu na niską cenę i powszechną dostępność urządzeń. Zazwyczaj optymalizacja sieci chaotycznych sprowadza się do optymalizacji doboru kanałów, bez analizy lokalizacji punktów dostępowych, które są rozmieszczone w sposób całkowicie chaotyczny i nieskoordynowany.

LCCS (Achant 2006) pozostawia działania po stronie AP, z których każdy działa niezależnie. Kryterium wyboru kanału jest minimalna liczba klientów związanych z danym AP, wykorzystująca dany kanał. Informacje niezbędne do optymalizacji można uzyskać poprzez analizę danych wysyłanych przez wszystkie AP będące w zasięgu.



Metoda *pick rand* wykorzystuje współczynnik nakładania się kanałów. Celem optymalizacji jest minimalizacja poziomu interferencji przypadku wykorzystywania kanałów, których zakresy częstotliwości częściowo się pokrywają (Akl, Arepally 2007).

SAW jest dedykowany do stosowania w sieciach domowych (Herzen *et al.* 2013). Nie wymaga administratora i w sposób ciągły optymalizuje wykorzystanie kanałów bez nadmiernej liczby pomiarów i zakłócania transmisji dużą ilością danych sterujących. Celem optymalizacji jest uzyskanie minimum interferencji, a w algorytmie wykorzystano metodę łańcuchów Markowa.

Przedstawione metody optymalizacji pozwalają na uwzględnienie następujących kryteriów:

- dynamiczny lub statyczny przydział kanału,
- konieczność centralnego zarządzania siecią,
- wykorzystanie kanałów nakładających się lub nienakładających się,
- metody uczące się lub analityczne,
- poziom interferencji uwzględniający AP, stacje, cała sieć,
- zakres komunikacji pomiędzy AP,
- wielkość sieci,
- *fairness*.

Przedstawione techniki znajdują zastosowanie raczej w sieciach z udziałem administratora. Wykorzystanie zaawansowanych metod optymalizacji wymaga dużej znajomości tematu i przekracza kompetencje zwykłego użytkownika. Ocena skuteczności zaproponowanych rozwiązań jest różna. Najczęściej ocenia się całkowitą przepływność sieci przed i po zastosowaniu określonej metody optymalizacji. Wzrost przepływności autorzy rozwiązań oceniają w przedziale od kilku do kilkudziesięciu procent.

## Problemy i kierunki badań

Optymalny dobór kanałów w przypadku sieci zawierającej więcej niż jeden AP oraz w przypadku, gdy na danym obszarze pracuje wiele sieci i wiele punktów dostępowych, może w istotny sposób poprawić ogólną przepływność systemu, sieci lub grupy sieci na danym obszarze. Powstało wiele rozwiązań dla sieci administrowanych natomiast brak skutecznych rozwiązań dla sieci domowych/prywatnych. Wyjątkiem jest SAW (Herzen *et al.* 2013). Sieci domowe są coraz bardziej popularne, a ich liczba rośnie w sposób całkowicie niekontrolowany. Powoduje to powstanie struktury w standardzie 802.11 składającej się z bardzo wielu sieci wyposażonych zazwyczaj w jeden punkt dostępowy, które pracują na wspólnym obszarze. Wspólny należy rozmieścić w ten sposób, że zasięgi wielu AP i wielu stacji w pewnym zakresie pokrywają się. Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia wydaje się, że prace mogą się koncentrować na rozwoju algorytmów dynamicznych i adaptacyjnych uwzględniających zmienne w czasie otoczenie. Zwiększenie zakresu pomiarów

wybranych parametrów dotyczących np. struktury ruchu w sieci, może pomóc w optymalizacji struktury połączeń. Może to jednak wymagać zwiększenia możliwości pomiarowych danych *chipsetów*, np. połączenie *chipsetu* Wi-Fi z odbiornikiem GPS może pozwolić na określenie położenia wszystkich stacji roboczych, co znacznie ułatwi właściwy dobór kanałów. Dynamiczne zarządzanie kanałami wymaga też implementacji nowych rozwiązań technicznych w *chipsetach*. Istotną kwestią jest np. szybkość przełączania kanałów. Obecnie szacuje się, że zmiana kanału wymaga od 0,1 do 20 ms (Chieochan *et al.* 2010) i jest to związane z szybkością działania *hardware*, jak również z kwestiami komunikacji pomiędzy użytkownikami, którzy oczywiście muszą być skutecznie informowani o zmianach. Czas przełączania na takim poziomie może zakłócić działanie aplikacji wymagających małych opóźnień oraz powoduje ogólne ograniczenie przepływności (wzrost czasu martwego) (Dolińska, Masiukiewicz 2012).

## Podsumowanie

Wiele z przedstawionych rozwiązań ma charakter testowy i nie zostało wdrożonych w szerokim zakresie. W *chipsetach* CISCO używany jest system LCCS, w którym dodatkowo konieczna jest ingerencja użytkownika w zakresie wstępnej preselekcji kanałów. W większości *chipsetów* brakuje wbudowanych narzędzi do automatycznej selekcji kanałów, w związku z czym proces taki musi realizować administrator lub użytkownik.

Jednym z nowych rozwiązań jest Cisco WLAN Controller, który zgodnie z deklaracją producenta który zapewnia automatyczną selekcję kanałów z uwzględnieniem szeregu dynamicznie zmieniających się parametrów, takich jak: poziom mocy sygnału odbieranego, szumów, interferencji, stan wykorzystania kanałów, liczba klientów przypisanych do danego punktu dostępowego, jednak rozwiązanie to wymaga centralnego zarządzania siecią.

Sieci planowane i administrowane mogą w konsekwencji zapewnić znacznie wyższy poziom QoS i lepsze przepływności niż małe sieci domowe/prywatne. W tych ostatnich operator posiada zwykle bardzo przeciętną wiedzę na temat działania i możliwości optymalizacji sieci w standardzie 802.11 (Herzen *et al.* 2013). Sieci takie charakteryzują się m.in.:

- statycznym doбором kanału,
- brakiem optymalizacji wybranego kanału – dominują kanały nienakładające się (*non overlapping*) 1,6,11,
- brakiem zmian kanału w czasie,
- przypadkową lokalizacją punktu dostępowego – wynikającą z zakończenia instalacji, miejsca pracy,
- brakiem świadomości o interferencjach związanych z otoczeniem,
- identyfikowaniem problemów z poziomem mocy,
- brakiem pomiarów i ich interpretacji.

Co można zrobić w sieciach prywatnych?

Użytkownik może zwiększać moc, chyba że pracuje już z mocą maksymalną, ale w ten sposób zwiększa zakłócanie innych AP. Jeżeli wszyscy zrobią to samo, wzrośnie ogólny poziom interferencji na danym obszarze. Wskazane byłoby stosowanie w sieciach prywatnych standardu 802.11n lub ac i częstsze wykorzystywanie pasma 5 GHz. W tym przypadku po pierwsze byłyby do dyspozycji większa liczba kanałów, po drugie następowałoby szybsze tłumienie sygnału ze względu na wyższą częstotliwość sygnału). Z jednej strony tłumienie ogranicza zasięg, a z drugiej zmniejsza interferencje. Rozwiązaniem które mogłoby radykalnie pomóc byłoby takie dopasowanie poziomu sygnału w paśmie 5 GHz aby jeden AP obsługiwał jedno pomieszczenie. Obsługa szeregu pomieszczeń wymagałaby kilku AP bądź repeterów, a zyskiem byłoby radykalne ograniczenie interferencji. Wykorzystanie powyższego sposobu oferuje nowy standard 802.11ad.

## Bibliografia

- Achanta M. (2006), *Method and Apparatus for Least Congested Channel Scan for Wireless Access Points*, US Patent No. 20060072602.
- Akl R., Arepally A. (2007), *Dynamic Channel Assignment in IEEE 802.11 networks*, (in) Proc. IEEE International Conference on Portable Information Devices (PORTABLE'07).
- Akella A., Judd G., Seshan S., Steenkiste P. (2005), *Self-Management in Chaotic Wireless Deployments*, in Proc. ACM Mobicom.
- Alawieh B., Assi C., Mouftah H., Zhang Y. (2009), *Improving Spatial Reuse in Multihop Wireless Networks – A Survey*, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", Vol. 11, No. 3.
- Aruba White Paper (2012), *802.11ac Technology, Chapter 1: Introduction and Technology Overview*, Aruba Networks Inc.
- Bejerano Y., Han S., Li L. (2004), *Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control*, in Proc. ACM Mobicom.
- Chiochan S., Hossain E., Diamond J. (2010), *Channel Assignment Schemes for Infrastructure-Based 802.11 WLANs: A Survey*, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", Vol. 12, No. 1.
- Choi Y., Lee Y., Kim K. (2002), *Optimization of AP Placement and Channel Assignment in Wireless LANs*, in Proc. 27th Annual IEEE Conf. Local Computer Networks.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2013a), *The Mathematical Model for Interference Simulation and Optimization in 802.11n Networks*, Workshop, Concurrency Specification and Programming 2013, Warsaw University.
- Dolińska I., Masiukiewicz A., Rządowski G. (2013b), *Collision Impact on Transmission QoS in 802.11n Networks*, „Elektronika” (LIV), nr 12.
- Dolińska I., Masiukiewicz A. (2012), *Factors Determining the Throughput in 802.11n and ac Networks*, Internal Grant, Vistula University, No. 1.
- Herzen J., Merz R., Thiran P. (2013), *Distributed Spectrum Assignment for Home WLANs*, Proceedings of IEEE INFOCOM.
- Hiertz G.R., Dentener D., Stibor Philips L., Yunpeng Z., Costa X.P., Walke B. (2010), *The IEEE 802.11 Universe*, "IEEE Communications Magazine".

- Hills A. (2001), *Large-Scale Wireless LAN Design*, "IEEE Communications Magazine", Vol. 39, No. 11.
- Ling X., Yeung K.L. (2005), *Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs*, in Proc. IEEE WCNC'05.
- Mishra A., Brik V., Banerjee S., Srinivasan A., Arbaugh W. (2005), *A Client-driven Approach for Channel Management in Wireless LANs*, in Proc. 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'06).
- Wertz P., Sauter M., Landstorfer F., Wolfle G., Hoppe R. (2004), *Automatic Optimization Algorithms for the Planning of Wireless Local Area Networks*, in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, Vol. 4.

## Methods of Choice of Channels on the 802.11 Networks. Review of Solutions

### Summary

The choice of the data transmission channel is a very important question in case of the networks using the 802.11 standard. Regardless of whether or not the standard serves the building WLAN, Hot Spot or is exploited in mesh transmission, the choice of the channel decides the achieved parameters of QoS. One of the most popular wireless solutions worldwide is the Wi-Fi standard. Depending on the adopted criterion, one may make several classifications thereof. In his article, the author discussed network's susceptibility to and immunity against interferences. He also presented the structure of channels in the bands of 2.4, 5 and 60 GHz as well as the methods of channels selection. There are also presented the problems and directions of research connected with the subject matters discussed in the article.

**Key words:** standard 802.11, wireless network, communication channel.

**JEL codes:** C61

Artykuł nadesłany do redakcji w czerwcu 2014 r.

© All rights reserved

Afiliacja:

dr Antoni Masiukiewicz  
Akademia Finansów i Biznesu Vistula  
ul. Stokłosa 3  
02-787 Warszawa  
tel.: 22 457 23 00  
e-mail: a.masiukiewicz\_globalteam@op.pl