

Mirosław OMIELJANOWICZ
Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki
ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok
E-mail: m.omieljanowicz@pb.edu.pl

Adam SOKOŁOWSKI
PLUM Sp. z o.o. Ignatki 27A
E-mail: adam.sokolowski@plum.pl

Symulacja spodziewanej jakości transmisji w sieciach bezprzewodowych wewnątrz budynków (studium przypadku)

1 Wprowadzenie

Aktualny postęp technologiczny sprawia, że coraz większa liczba urządzeń korzysta z dostępu do Internetu. Obserwujemy narodziny kolejnej fazy rozwoju cyfrowej komunikacji określanej jako Internet wszechrzeczy (ang. *Internet of Things*, *The Internet of Everything*) [1, 2]. Pojawia się dążenie, aby każdy element otaczającego świata mógł być określany jako inteligentny, sterowalny z dowolnego miejsca na świecie dzięki połączeniu do globalnej sieci. Idea ta nie jest tylko hasłem do sprzedaży i tworzenia kolejnych gadżetów, lecz stwarza możliwość wzrostu efektywności gospodarki. Doskonałym przykładem są dostępne już na rynku elementy oświetleniowe, które można kontrolować poprzez Internet. Bardzo ważną rolę w tym procesie odegrają istniejące już, ale stale udoskonalane sieci bezprzewodowe (dalej określane jako sieci WiFi lub WLAN), pozwalające minimalnym nakładem kosztów podłączanie do globalnej sieci, urządzeń klienckich, czy też różnego rodzaju czujników. Jednym z większych problemów związanych z upowszechnieniem bezprzewodowego dostępu do Internetu jest zapewnienie pożądanego poziomu przepustowości i stabilności działania. Wiąże się to z odpowiednim zaplanowaniem rozmieszczenia nadajników sygnału, tak aby zapewnić właściwy i stabilny poziom sygnału radiowego w zadanej przestrzeni. Jest to zadanie trudne, przede wszystkim ze względu na zmienność warunków propagacji sygnału. Dostępne oprogramowanie (np. AirMagnet Planner) jest drogie i wymaga pogłębionej wiedzy o zasadach działania sieci WLAN. W publikacji zaprezentowano modyfikację prostego modelu propagacji sygnału, który został następnie wykorzystany do symulacji oczekiwanej przepustowości. Do oceny jakości transmisji zastosowano powszechnie stosowany wskaźnik RSSI – *Received Signal Strength Indication* – przeliczony na poziom mocy odbieranego sygnału i w dalszej kolejności powiązanej z nim możliwej do osiągnięcia przepustowości [3, 4]. Opracowane rozwiązanie zostało zaimplementowane i zastosowane w praktyce. W pracy przedstawiono wyniki jego działania oraz porównano je z pomiarami wykonanymi w rzeczywistych warunkach.

2 Model propagacji sygnału

Źródłem sygnału w sieciach bezprzewodowych najczęściej są nadajniki radiowe w punktach dostępowych (AP- Access Point). O ile w otwartej przestrzeni możliwe jest ogólne sformułowanie równania określającego spodziewany poziom sygnału w zależności od odległości od AP, to wewnątrz budynków jest to zagadnienie w ogólnym przypadku niemożliwe do określenia. Przy symulacjach dotyczących przestrzeni zamkniętych postępowanie polega na uzupełnieniu modelu strat sygnału w wolnej przestrzeni o straty spowodowane przez dodatkowe przeszkody. W budynkach głównym elementem tłumiącym sygnał są ściany.

W niniejszej publikacji wzięto pod uwagę budynek A Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej. Wykonane oględziny i wstępne pomiary wskazały, że dwa najbardziej tłumiące elementy to ściany zbudowane z cegły lub betonu, przy czym występowały różne ich grubości. W celu ustalenia wpływu na propagację sygnału wykonano szereg pomiarów. Jako źródło sygnału wykorzystano, będące na wyposażeniu Wydziału Informatyki, punkty dostępowe Linksys E4200 EE.

Do pomiaru sygnału wykorzystano profesjonalne oprogramowanie firmy FLUKE oraz dostępny jako Open Source Software program inSSIDer. Badania poziomu sygnału radiowego, poziomu szumu wykonywano przy pomocy oprogramowania Air Survey Pro 8.2 oraz Air Spectrum XT. Zostało ona zainstalowane na komputerze przenośnym Dell E5500 i pracowało przy wykorzystaniu karty sieciowej zewnętrznej Orinocco Proxim 802.11 a/b/g/n podłączanej poprzez port USB.

Dodatkowo, w celu identyfikacji ewentualnych zakłóceń, wykorzystywano specjalistyczną kartę analizatora widma współpracującą z oprogramowaniem Air Spectrum XT. Badano tłumienie w najczęściej wykorzystywanym paśmie 2,4 GHz. Wykonane pomiary, których krótkie zestawienie pokazano w tabelach 1 i 2, pozwoliły na wyznaczenie wpływu ścian na propagację sygnału radiowego.

Tab. 1. Średnie wartości tłumienia ścian betonowych

Tab. 1. Average attenuation of the concrete wall

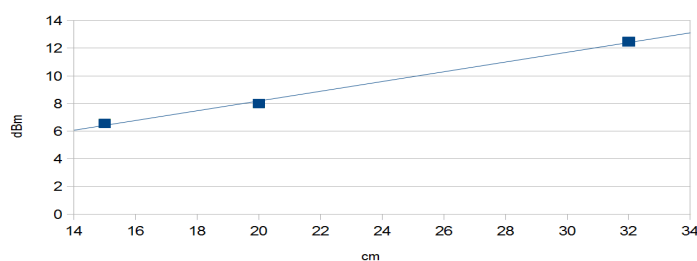
Grubość ściany [cm]	15	20	32
Srednia tłumienia grupa pomiarów 1	6,58dBm	7,86 dBm	12,50 dBm
Srednia tłumienia grupa pomiarów 2	6,42 dBm	7,96 dBm	12,69 dBm
Srednia tłumienia grupa pomiarów 3	6,68 dBm	8,18 dBm	12,22 dBm
Srednia z trzech grup	6,56 dBm	8,00 dBm	12,47 dBm

Tab. 2. Średnie wartości tłumienia ścian z cegły

Tab. 2. Average attenuation of the wall of bricks

Grubość ściany [cm]	6	10	12	15
Średnia tłumienia grupa pomiarów 1	4,14dBm	5,40 dBm	6,67 dBm	8,35 dBm
Średnia tłumienia grupa pomiarów 2	3,04 dBm	5,64 dBm	6,89 dBm	8,62 dBm
Średnia tłumienia grupa pomiarów 3	4,86 dBm	5,70 dBm	6,51 dBm	8,44 dBm
Średnia z trzech grup	4,01 dBm	5,58 dBm	6,69 dBm	8,47 dBm

W celu wyznaczenia matematycznego modelu tłumienia zmierzonych ścian sporządzono wykresy obrazujące uśrednione wyniki pomiarów. Na rysunku 1 pokazano wykres zależności tłumienia ściany betonowej w funkcji jej grubości.



Rys. 1. Tłumienie sygnału w paśmie 2,4GHz przez ścianę betonową

Fig. 1. Signal attenuation in the 2,4 GHz band through a concrete wall

Uzyskana krzywa estymacyjna jest linią prostą i pozwala na opisanie tej zależności prostą funkcją liniową, której wzór przyjął postać:

$$T_{Sb}(x)=0,3522x + 1,1441 , \tag{1}$$

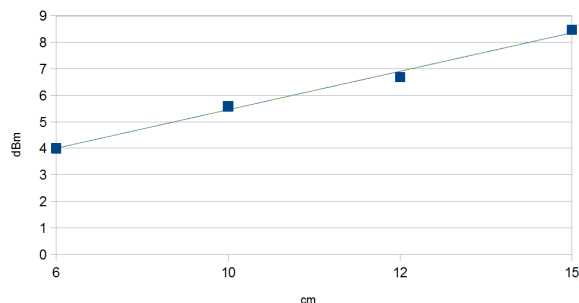
gdzie: T_{Sb} - tłumienie w dBm, x – grubość ściany w cm.

Ustalona zależność została także potwierdzona dla ścian betonowych w budynku wielorodzinnym.

Analogiczne postępowanie wykonano w odniesieniu do wyników pomiarów opisujących tłumienie ścian z cegły. Na rysunku 2 pokazano wykres zależności tłumienia ściany z cegły w funkcji jej grubości. Tak jak w przypadku ściany betonowej uzyskana krzywa estymacyjna jest linią prostą i pozwala na opisanie jej funkcją liniową, której wzór ma postać (2):

$$T_{Sc}(x)=1,452x + 2,225 , \tag{2}$$

gdzie: T_{Sc} - tłumienie w dBm, x – grubość ściany w cm.



Rys. 2. Tłumienie sygnału w paśmie 2,4GHz przez cegły

Fig. 2. Signal attenuation in the 2,4 GHz band through a wall of bricks

Dodatkowo do obliczeń symulacyjnych wykorzystano najczęściej stosowany w literaturze [3] wzór na tłumienie sygnału w otwartej przestrzeni (pasmo 2,4 GHz) – (2):

$T_P(d) = 40 + 20 \log d$ (2), gdzie: T_P – tłumienie w dBm, d – odległość w metrach (2)

Przy wykorzystaniu wyżej przedstawionych zależności poziom sygnału (pasmo 2,4 GHz) w wybranym punkcie wewnątrz budynku jest ustalony zgodnie ze wzorem (3):

$$P = P_N - T_P(d) - \sum T_{Si} \quad (3)$$

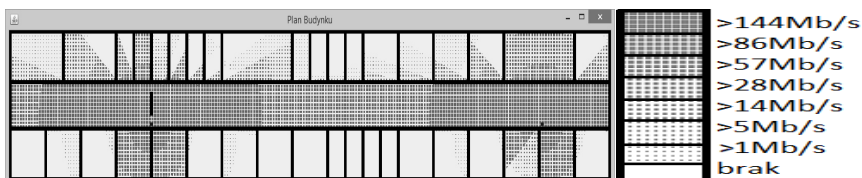
gdzie: P – poziom sygnału w dBm, P_N – poziom nadawania w punkcie dostępowym w dBm, T_{Si} – tłumienie i-tej ściany na drodze od nadajnika do badanego punktu.

Jak wykazały przedstawione powyżej wyniki badań, poziom tłumienia sygnału przez ściany w zależności od jej rodzaju i grubości może być znaczący. Każda dodatkowa ściana na drodze pomiędzy odbiornikiem a nadajnikiem wpływa znacząco na poziom mocy odbieranego sygnału. W związku z powyższym poprawne wdrożenie sieci bezprzewodowej wewnątrz budynków wymaga dokładnego poznania położenia i typu ścian, a skuteczne zaplanowanie rozmieszczenia punktów dostępowych w konkretnej lokalizacji nie jest możliwe bez zbadania tłumienia wprowadzanego przez ściany występujące w rozpatrywanym budynku.

3 Wyniki symulacji

Opisany w rozdziale drugim model propagacji sygnału został zaimplementowany w postaci aplikacji. Kluczowymi informacjami są położenie i grubość ścian, miejsca umieszczenia punktów dostępowych i moc ich nadajników. Napisany program posiada prosty edytor pozwalający w nieskomplikowany sposób wprowadzić dane opisujące geometrię analizowanego obszaru. Jednocześnie wprowadzana jest informacja o rodzaju i grubości ścian. Wyznaczanie spodziewanej mocy odbieranego sygnału odbywa się w kilku etapach. W pierwszym kroku dla każdego punktu na planie budynku (obszary 10cm x 10cm) obliczany jest oczekiwany poziom mocy odbieranego sygnału zgodnie z wcześniej przedstawionymi wzorami. W przypadku, gdy do danego punktu dochodzi sygnał z więcej niż jednego punktu dostępowego, wybierany jest wynik najlepszy. Następnie w każdym wyznaczonym punkcie obliczany jest wskaźnik SNR. Do obliczeń

brany jest wyznaczony empirycznie (poprzez wykonanie pomiarów) średni poziom szumu (w badanych budynkach wynosił średnio -85 dBm). Ostatecznie na podstawie korelacji SNR – przepustowość [4, 5], ustalana jest oczekiwana wartość mocy sygnału. Ze względu na to, iż poziom sygnału jest wielkością, która nie jest istotna dla użytkownika sieci bezprzewodowej, wyniki symulacji pokazano w postaci spodziewanej do osiągnięcia przepustowości.



Rys. 3 Wyniki symulacji na planie II piętra budynku A Wydziału Informatyki PB

Fig. 3 Simulation results for II floor of buiding A Faculty of Computer Science PB

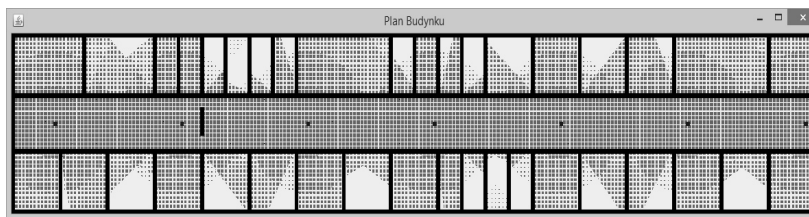
Na rysunku 3 pokazano wynik osiągnięty przy rozmieszczeniu urządzeń zgodnie z ich położeniem w rzeczywistości. Wyraźnie widocznych jest wiele miejsc o bardzo niskiej przepustowości, lub wręcz braku możliwości komunikacji (miejsca te zgadzają się z ustaleniami w praktyce). W celu weryfikacji poprawności obliczeń dokonano pomiarów za pomocą oprogramowania Air Survey Pro oraz Air Spectrum XT.



Rys. 4. Wyniki pomiarów na terenie II piętra budynku A Wydziału Informatyki PB

Fig. 4. Measurements results for II floor of buiding A Faculty of Computer Science PB

Wyniki symulacji i pomiarów okazały się zbliżone do siebie (różnice mocy sygnału na poziomie do 5 dBm). Niewielkie różnice pomiędzy pomiarem a symulacją były najprawdopodobniej spowodowane wpływem sygnałów z niższego piętra nieuwzględnionych w symulacji. Praktyczne potwierdzenie poprawności przyjętego modelu propagacji sygnału oraz algorytmu wyznaczania oczekiwanej mocy sygnału i spodziewanej przepustowości wskazało na sensowność dalszego prowadzenia symulacji według autorskiej metody, dzięki której możliwe będzie zaplanowanie położenia punktów dostępowych, pozwalającej na przykład równomierne pokrycie całego obszaru II piętra. Przykładowy wynik przeprowadzonych obliczeń pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wyniki symulacji na planie II piętra budynku A Wydziału Informatyki PB z 7 punktami AP

Fig. 5. Simulation results for II floor of buiding A Faculty of Computer Science PB with 7 AP

Otrzymane rezultaty wskazują, że możliwe jest uzyskanie lepszej jakości sygnału poprzez zmianę miejsca umieszczenia i zwiększenia liczby punktów dostępowych. Otwartą kwestią pozostaje ocena relacji efektów do nakładów koniecznych do uzyskania zamierzonego celu, gdyż najlepszy przypadek oznacza konieczność dodania aż 5 AP i zmiany ich położenia.

4 Wnioski

Opisane przez autorów rozwiązanie jest pierwszym krokiem ku opracowaniu prostej metody planowania sieci bezprzewodowej. Pierwsza (przedstawiona w publikacji) weryfikacja jest obiecująca i sankcjonuje dalszą pracę nad jej rozwojem. Autorzy są świadomi, że w kategoriach badań naukowych konieczna jest konfrontacja zaproponowanego rozwiązania z innymi metodami. Na opisywanym etapie prac nie dokonano takich porównań. W programach komercyjnych algorytmy są tajemnicą producenta, zaś programów typu *open source* nie udało się odszukać. Z kolei dostępne w literaturze metody nie miały udostępnionych implementacji. Oczywiście ostateczną oceną skuteczności działania wszelkich metod teoretycznych i algorytmów jest zgodność ich wyników z sytuacją w warunkach rzeczywistych i nie każda zaawansowana i dopracowana teoria daje poprawne rezultaty. Przykładem jest znane autorom praktyczne wdrożenie sieci bezprzewodowej wykonane przy użyciu komercyjnego planera przez wyszkolonych specjalistów, które dało niezadowolające obecnych użytkowników rezultaty, mimo znacznych nakładów finansowych. Z wyżej wymienionych powodów autorzy zdecydowali, że w pierwszej kolejności porównanie odbędzie się na poziomie wyników pomiarów w rzeczywistej sytuacji. Opracowana metoda była nastawiona na prostą realizację, aby przeciętny komputer osobisty miał wystarczającą moc obliczeniową do wykonania obliczeń w rozsądnym czasie. Zaproponowany sposób symulacji, mimo swej prostoty, daje wyniki zbliżone do rzeczywistych. Opracowane rozwiązanie może być pomocne przy planowaniu rozmieszczenia punktów dostępowych sieci bezprzewodowej w przestrzeni zamkniętej. Możliwe jest łatwe i szybkie wykonanie wielokrotnych prób zmian ilości oraz rozmieszczenia zastosowanych punktów dostępowych w celu osiągnięcia założonych efektów. Wymagane są, oczywiście, dalsze analizy oraz oceny, a wykonane prace są próbą ustalenia, czy zastosowanie prostych metod (uwzględniających tylko podstawowe czynniki) da efekty sensowne z punktu widzenia zastosowań praktycznych.

Dotychczas zgodność wyników symulacji z pomiarami w warunkach rzeczywistych została zweryfikowana w dwóch przypadkach – w budynkach Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej oraz w mieszkaniu prywatnym w budynku wielorodzinnym. Konieczne są dalsze weryfikacje skuteczności symulacji poprzez porównanie jej wyników z pomiarami wykonanymi po praktycznej zmianie ustawienia AP zgodnie z planem przyjętym w obliczeniach. W przypadku dalszego potwierdzania się skuteczności metody planowane jest stworzenie na jej bazie rozwiązania z automatyczną optymalizacją wyznaczania ilości i miejsc rozmieszczenia punktów dostępowych, a po wykonaniu badań i walidacji podjęcie próby komercjalizacji w postaci oprogramowania do planowania sieci WiFi w pomieszczeniach.

Literatura

1. Ashton K.: That 'Internet of Things' Thing, in the real world things matter more than ideas. *RFID Journal*, 22 June 2009
2. <http://newsroom.cisco.com/feature-content?type=webcontent&articleId=1208342>: *Connections Counter: The Internet of Everything in Motion*, stan z dn. 14.04.2014
3. Bardwell J., *Converting Signal Strength Percentage to dBm Values*, WildPackets, Inc., listopad 2002
4. http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/i/300001-400000/350001-360000/350001-351000/350120.tif/_jcr_content/renditions/350120.jpg: *CCNP Wireless CUWSS Quick Reference*, stan z dn. 04.03.2014.
5. Luciani D.P., Davis A.: RSSI Based Range Analysis of Near-Ground Nodes in Wi-Fi Crowded Environments, *International Conference on HST*, 2013 IEEE, pp. 693-697

Streszczenie

Przedstawiony artykuł dotyczy zagadnień analizy i planowania sieci WiFi. W pracy opisano opracowany przez autorów prosty model propagacji sygnału wewnątrz budynków oraz metodę symulacji pozwalającą na wyznaczenie spodziewanej przepustowości przy zadanym położeniu punktów dostępowych. Autorzy pokazują również praktyczne jej zastosowanie do analizy stanu sieci WiFi w budynku Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej.

Słowa kluczowe: sieci WiFi, symulacja przepustowości, planowanie sieci WiFi

Simulation of the expected transmission quality in wireless networks inside buildings (case study)

Summary

This paper addresses issues of analysis and planning WiFi network. The paper describes, developed by the authors, a simple model of propagation of the signal inside buildings and simulation method that allows to determine the expected throughput at a given positions of the access points. The authors also demonstrate its practical application to the analysis of the WiFi network at the Faculty of Computer Science, Bialystok University of Technology.

Keywords: WiFi networks, throughput simulation, WiFi networks planning

Praca finansowana z badań statutowych Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej nr S/WI/1/2013.