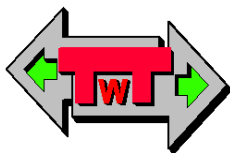


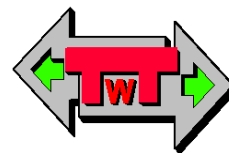
ZESPÓŁ LABORATORIÓW TELEMATYKI TRANSPORTU

ZAKŁAD TELEKOMUNIKACJI W TRANSPORCIE



WYDZIAŁ TRANSPORTU

**POLITECHNIKI
WARSZAWSKIEJ**



LABORATORIUM

Środowisko telekomunikacyjne ITS

Badanie pokrycia radiowego

© TWT WT PW, DO UŻYTKU WEWNĘTRZNEGO

Warszawa 2016

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi metodami pomiarów natężenia pola radiowego wybranej technologii oraz miary i metody obliczania tłumienia sygnałów w wolnej przestrzeni.

2. Stanowisko laboratoryjne

W trakcie realizacji ćwiczenia laboratoryjnego studenci będą korzystać z następujących urządzeń technicznych:

- stanowisko komputerowe PC,
- tablet z systemem OS Windows 8,
- oprogramowanie dedykowane.

3. Wiadomości wstępne

Pojęcie **pokrycia radiowego** dotyczy dostępności pożądanego sygnału radiowego na wymaganym poziomie mocy, wskazanym w decybelach odniesionych do mocy 1 mW [dBm], na obszarze objętym oceną. Z pojęciem tym związane jest inne pojęcie, tj. propagacji fal radiowych. Propagacja fal radiowych jest definiowana, jako rozprzestrzenianie się fal radiowych zależnie od:

- właściwości propagowanej fali (np. częstotliwości, polaryzacji),
- środowiska, w którym fale się rozchodzą.

Nazwa **propagacja** pochodzi od angielskiego słowa *propagation*, oznaczającego rozchodzenie się (rozprzestrzenianie się) między innymi fal radiowych. Zawiera ona w sobie coś więcej niż jej najbardziej zbliżony odpowiednik w języku polskim, gdyż obejmuje też czynniki niezależne – w sferze rozchodzenia się fal radiowych – od woli człowieka. W tym rozumieniu prognozy propagacyjne oznaczają przewidywane, obiektywne warunki rozchodzenia się fal radiowych.

3.1. Czynniki wpływające na propagację fal radiowych

Podstawowym czynnikiem wpływającym na rozprzestrzenianie się fal radiowych jest ich częstotliwość. Pasma częstotliwości radiowych zostało podzielone na pasma. W tabeli przedstawiono zasadniczy podział pasma radiowego.

Tabela 1. Podział pasma radiowego.

Nazwa fal	Skrót	Nazwa angielska	Długość fali	Częstotliwość
fale myriametrowe, fale bardzo długie	VLF	<i>Very low frequency</i>	100 - 10 km	3-30 kHz
fale kilometrowe, fale długie	LF	<i>Low frequency</i>	10 - 1 km	30-300 kHz
fale hektometrowe, fale średnie	MF	<i>Medium frequency</i>	1000 – 100 m	300-3000 kHz
fale dekametrowe, fale krótkie	HF	<i>High frequency</i>	100 - 10 m	3-30 MHz
fale metrowe, fale ultrakrótkie	VHF	<i>Very high frequency</i>	10 - 1 m	30-300 MHz

fale decymetrowe	UHF	<i>Ultra high frequency</i>	1000 - 100 mm	300-3000 MHz
fale centymetrowe	SHF	<i>Super high frequency</i>	100 - 10 mm	3-30 GHz
fale milimetrowe	EHF	<i>Extremely high frequency</i>	10 - 1 mm	30-300 GHz
fale submilimetrowe (fale terahercowe, promieniowanie terahercowe)	THF	<i>Tremendously high frequency</i>	1000 - 100 μ m	300-3000 GHz

3.1.1. Propagacja fal długich

Fale długie obejmują zakres częstotliwości od 30 do 300 kHz (od 10 do 1 km). Fale dłuższe od 20 km nazywają się falami bardzo długimi. Fale długie rozchodzą się w postaci fali powierzchniowej na dość duże odległości. Jednakże już w odległości 1000 do 2000 km od nadajnika natężenie pola fali jonosferycznej przewyższa natężenie fali powierzchniowej. Warunki propagacyjne fal długich ulegają małym i powolnym zmianom w czasie, bardziej zmieniając się w okresach anomalnej jonizacji w niskiej jonosferze, rejestrowanej po rozbłyskach.

3.1.2. Propagacja fal średnich

Fale średnie obejmują zakres częstotliwości od 300 kHz do 3 MHz (od 1000 do 100 m) i rozchodzą się w przestrzeni zarówno jako fale powierzchniowe, jak również jako fale jonosferyczne.

Odbiór tych fal jest zapewniony przez całą dobę na dość równym poziomie w zasięgu około 60–120 km (zależnie od długości fali i mocy nadajnika). Radiostacje bardziej odległe (300–1500 km) są odbierane tylko nocą dzięki falom odbitym od niższych warstw jonosfery. Odbiór fal odbitych ulega dość silnym wahaniom, zaś wzajemna interferencja fali przyziemnej i odbitej od jonosfery, powoduje powstanie zaników sygnału odbieranego, któremu towarzyszą silne zniekształcenia nieliniowe i liniowe. O zasięgu dziennym na falach średnich decydują fale powierzchniowe. Największy zasięg uzyskuje się nad morzem, a najmniejszy w terenie pagórkowatym oraz ponad obszarami o małej przewodności (piaski, nawierzchnie z piaskowca w obszarach zurbanizowanych).

W niekorzystnych przypadkach spowodowanych pracą innych, również odległych nadajników średnionfalowych na tej samej częstotliwości, odbiór jednej radiostacji jest zakłócany interferencjami (przesłuchami). Szerokość pasma emisji może powodować również zdudnienia, zmieniające cyklicznie moc odbieranego sygnału.

Korzyści ze zwiększenia mocy nadajników są niewspółmierne w stosunku do nakładów. Niekiedy ośrodki nadawcze wyposażone w nadajniki o mocy kilkuset kW w wyniku zakłóceń interferencyjnych od innych stacji mogą być odbierane z dobrą jakością w promieniu zaledwie kilkudziesięciu kilometrów.

3.1.3. Propagacja fal krótkich

Fale krótkie obejmują zakres częstotliwości od 3 do 30 MHz (od 100 do 10 m). Fale powierzchniowe tego zakresu zanikają już w odległości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów. Odbiór fal krótkich odbywa się głównie z wykorzystaniem fal jonosferycznych.

Wśród wielu czynników decydujących o propagacji fal krótkich bardzo istotne są zmiany poziomu aktywności słonecznej, tworzące tzw. pogodę kosmiczną. Średnio co 11 lat na powierzchni Słońca, gdy

obserwuje się wiele plam słonecznych, rejestrowane są rozbłyski słoneczne, które ograniczają zakres propagacji fali jonosferycznej.

Badaniem aktywności słonecznej zajmuje się Obserwatorium Astronomiczne w Zurychu, które co miesiąc ogłasza komunikaty, podające średnie miesięczne liczby Wolfa, jak również prognozy tej liczby na przyszłość.

Minimalna wartość natężenia pola w odbiorniku konieczna do względnie dobrego odbioru fal krótkich powinna być rzędu $100 \mu\text{V}/\text{m}$. Dopiero jednak wartość około $1 \text{ mV}/\text{m}$ zapewnia dobry odbiór. Aby jednak odbiór miał wartość programową, natężenie pola sygnału użytecznego powinno być orientacyjnie 1000 razy (+30 dB) większe od natężenia pól zakłócających.

3.1.4. Propagacja fal ultrakrótkich

Zakres **fal ultrakrótkich** obejmuje częstotliwości od 30 do 300 MHz (od 10 do 1 m). Fale te zwykle nie odbijają się od jonosfery. Fale ultrakrótkie dobrze przenikają np. przez mgłę i dym, ale także poprzez jonosferę umożliwiając, poza niektórymi etapami lotu, łączność z kosmonautami i statkami kosmicznymi. Wyjątkiem jest propagacja spowodowana pojawieniem się sporadycznej warstwy Es, dzięki której sygnał stacji radiowej można odebrać nawet od kilkuset do kilku tysięcy kilometrów od nadajnika.

Obszarem najlepszego odbioru fal ultrakrótkich jest zawsze obszar widzialności optycznej. Poza horyzontem optycznym natężenie pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez nadajnik ultrakrótkofalowy szybko maleje.

3.2. Wpływ środowiska na rozchodzenie się fal

Ze względu na środowisko propagacji wyróżnia się:

- falę przyziemną (powierzchniową i nadziemną),
- falę troposferyczną,
- falę jonosferyczną,
- falę w przestrzeni kosmicznej lub w wolnej przestrzeni.

Fala w wolnej przestrzeni odnosi się do fali propagowanej w przestrzeni, którą określa się idealną próżnią. W takiej przestrzeni fale radiowe rozchodzą się w sposób całkowicie swobodny. Jej przykładem jest przestrzeń kosmiczna. Falą w wolnej przestrzeni jest fala biegnąca w linii w zasięgu wzroku, jest to bezpośrednio rozchodzenie się fal radiowych między antenami, widocznymi dla siebie. Jest to najczęściej występujący tryb propagacji fal radiowych w zakresie VHF i częstotliwości wyższych.

Fala przyziemna jest to fala elektromagnetyczna, która rozchodzi się w powietrzu przy granicy powietrze-ziemia. Jest emitowana przez antenę nadawczą, umieszczoną na niewielkiej wysokości nad Ziemią, i rozchodzi się wzdłuż jej powierzchni. Fala rozchodzi się częściowo w ziemi lub wywołuje zjawiska elektromagnetyczne w ziemi wpływające na rozchodzenie się fali. Propagacja takiej fali zależy przede wszystkim od parametrów przypowierzchniowych warstw ziemi, między innymi od struktury gleby, wilgotności, temperatury i przede wszystkim od częstotliwości fali elektromagnetycznej.

Grubość warstwy ziemi, jaka bierze udział w procesie propagacji, jest tym większa, im mniejsza jest częstotliwość fali.

Fala przyziemna może rozchodzić się jako:

- **fala powierzchniowa** – emitowana przez antenę nadawczą, umieszczoną na niewielkiej wysokości nad Ziemią, i rozchodząca się wzdłuż jej powierzchni.
- **fala przestrzenna** – która może mieć dwie składowe: falę bezpośrednią i falę odbitą od powierzchni Ziemi. Jeśli zarówno antena nadawcza i odbiorcza umieszczone są blisko powierzchni Ziemi, wówczas obie te składowe wzajemnie się znoszą (mają jednakowe amplitudy i przeciwne fazy) i jedyną składową fali przyziemnej jest fala powierzchniowa. Fala przestrzenna występuje głównie w zakresie fal ultrakrótkich.

Falą troposferyczną nazywa się falę elektromagnetyczną, której droga propagacji przebiega w najniższej warstwie atmosfery, czyli troposferze. Propagacja takich fal w znacznym stopniu uzależniona jest od warunków meteorologicznych. Wpływ ich objawia się w postaci tłumienia energii fali przez mgły i opady atmosferyczne oraz w postaci załamania się fal. Rozchodzenie się fal radiowych w troposferze w dużym stopniu jest uzależnione od warunków meteorologicznych, które wpływają na wielkość odchylenia fali od prostoliniowej propagacji w warstwie oraz poprzez tłumienie energii fal przez mgłę i opady atmosferyczne.

Rozróżnia się następujące rodzaje tłumienia fal radiowych powodowanego przez troposferę:

- tłumienie spowodowane opadami deszczu, gradu, śniegu lub przez mgłę,
- absorpcję molekularną,
- rozproszenie na cząsteczkach,
- tłumienie w tzw. twardych cząsteczkach, czyli różnego rodzaju pyły, cząsteczki dymu itp.

Falą jonosferyczną nazywa się falę elektromagnetyczną, która odbita w jonosferze wraca z powrotem ku powierzchni Ziemi. Takie zachowanie fali umożliwia odbiór sygnału stacji nadawczych fal długich, ale przede wszystkim średnich i krótkich. Zjawisko to nie zachodzi w zakresie fal ultrakrótkich dla których jonosfera nie jest przeszkodą. Długodystansowa komunikacja radiowa (np. w zakresie od 3 do 30 MHz, czyli fal krótkich) jest wynikiem propagacji właśnie takiej fali jonosferycznej.

Zjawisko odbicia fali radiowej od warstw jonosfery zachodzi dla częstotliwości mniejszej niż tzw. częstość plazmowa. Fale radiowe o większej częstotliwości przenikają jonosferę, dlatego transmisja w zakresie VHF w obszarze atmosfery ziemskiej jest ograniczona tylko do odległości określonych krzywizną Ziemi. Ponieważ fale te nie odbijają się od jonosfery, możliwa jest natomiast komunikacja na tych częstotliwościach z satelitami, w tym także telewizja satelitarna.

Ponieważ głównym źródłem jonizacji atmosfery jest Słońce, dlatego w godzinach rannych i przedpołudniowych wzrasta proces jonizacji i zwiększa się gęstość elektronów. Oprócz zmian dobowych jonosfery występują jej zmiany sezonowe oraz długookresowe, związane z cykliczną zmiennością aktywności słonecznej.

3.3. Jednostki miary sygnałów radiowych

Ze względu na nieliniową charakterystykę propagacji fal radiowych wszystkie jednostki służące do pomiaru natężenia mocy sygnału radiowego są pochodną jednostki miary decybel [dB].

Decybel jest to logarytmiczna jednostka miary równa 0,1 bel, oznaczana symbolem [dB]. Używana jest ona w sytuacji, gdy należy porównywać wielkości zmieniające się liniowo w bardzo szerokim zakresie, a najbardziej interesujące są zmiany względne (np. procentowe). Przykładem takiej sytuacji jest pomiar wielkości natężenia mocy sygnału radiowego. Wartości wyrażane w decybelach odnoszą się do stosunku dwóch wielkości, danej wielkości P do pewnej wielkości odniesienia P_0 .

$$P[dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

gdzie: $P[dB]$ – wielkość P w decybelach, P_0 – wielkość odniesienia.

Korzystając z jednostek [dB] można wygodnie przedstawiać duże różnice między sygnałami pomierzonymi w różnych miejscach przestrzeni. W pomiarach mocy sygnałów często korzysta się z innej jednostki [dBm]. dBm jest to logarytmiczna jednostka miary mocy odniesiona do mocy 1 [mW]. Moc wyrażona w [dBm] informuje o ile decybeli moc ta jest większa (lub mniejsza) od mocy 1 [mW]:

$$P[dBm] = 10 \log_{10} \left(\frac{P[mW]}{1mW} \right) \quad (2)$$

Jednostką mocy odnoszącą się do W jest [dBW]. Ta jednostka miary mocy odnosi się do mocy 1 [W]. Moc wyrażona za jej pomocą informuje o ile wskazana moc jest większa lub mniejsza od mocy 1 [W].

$$P[dBW] = 10 \log_{10} \left(\frac{P[W]}{1W} \right) \quad (3)$$

Przy czym bardzo łatwo jest przeliczyć [dBW] na [dBm], gdyż:

$$P[dBm] = P[dBW] + 30 \quad (4)$$

Ostatnia z przywoływanych wielkości mocy sygnału radiowego odnosi się do miary zysku energetycznego anteny izotropowej. Zysk anteny wyrażony w [dBi] informuje o ile decybeli poziom sygnału jest większy od poziomu sygnału hipotetycznej anteny izotropowej.

$$G_i[dBi] = 10 \log_{10} \left(\frac{U[W]}{P_{pr}[W]} \right) \quad (5)$$

Przy czym zakłada się, że

$$G_i[dBi] = G_i[dBd] + 2,15 \quad (6)$$

gdzie [dBd] – logarytmiczna jednostka miary zysku energetycznego anteny odniesiona do dipola półfalowego (anteny dipolowej). Zysk anteny wyrażony w [dBd] informuje o ile decybeli zysk

energetyczny listka głównego charakterystyki promieniowania anteny jest większy od zysku energetycznego dipola półfalowego.

3.4. Propagacja fali radiowej w pomieszczeniach zamkniętych

Bezprzewodowe sieci lokalne projektowane są najczęściej w obrębie budynków. W przypadku wykonywanego ćwiczenia zachodzi właśnie możliwość przeprowadzenia badań w tym zakresie. Daje to możliwość lepszego poznania efektów propagacji fali w środowisku zamkniętym, w którym występuje duża liczba przeszkód (np.: ściany, okna, drzwi, itp.). W celu oszacowania tłumienia sygnału radiowego warto korzystać z istniejących modeli propagacyjnych fal radiowych lub wykorzystać dostępne narzędzia umożliwiające pomiar rzeczywistego poziomu sygnału w obszarze zamkniętym.

W tabeli (Tabela 2) zaprezentowano tłumienie wybranych elementów charakterystycznych dla środowiska zamkniętego w publicznym paśmie 2,4 GHz.

Tabela 2. Zestawienie obiektów mających wpływ na tłumienie sygnału radiowego

Nazwa elementu	Materiał	Grubość [cm]	Tłumienie [dB]
Strop	Beton	30	11
Ściana zewnętrzna	Cegła	30	9
Ściana wewnętrzna	Cegła	10	7
Ściana działowa	Gips i wełna szklana	7	2
Okno	Szkło	2 x szyba + 1 cm przerwy	4,5
Drzwi	Drewno	4	2,5

3.5. Obliczanie tłumienności w wolnej przestrzeni

Ze względu na złożoność obliczeniową w przypadku wielu modeli propagacyjnych, na potrzeby tego ćwiczenia omówiona zostanie jedynie metoda obliczania tłumienia sygnału w wolnej przestrzeni. Może ona być wykorzystana również w środowisku ITS pod warunkiem zapewnienia „widoczności” anten nadajnika i odbiornika.

Formalną specyfikację metody obliczania tłumienności w otwartej przestrzeni (*Calculation of Free-Space Attenuation*) przedstawiono w rekomendacji ITU sektora radiokomunikacyjnego o nr ITU-R P.525-2.

Propagacja sygnału w otwartej przestrzeni może być obliczana na dwa różne sposoby. Każdy z nich ma zastosowanie do różnego typu usług.

3.5.1. Tryb broadcast

W tym trybie usługowym, w którym nadajnik obsługuje losowo rozproszonych odbiorców informacji, natężenie pola jest obliczane w punkcie oddalonym od nadajnika przy użyciu wzoru:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (7)$$

gdzie: e – natężenie pola r.m.s [V/m], p – (*Effective Isotropical Radiated Power*) efektywna moc wypromieniowana izotropowo¹ w kierunku miejsca znajdowania się odbiornika [W], d – dystans między nadajnikiem a odbiornikiem.

3.5.2. Tryb punkt – punkt

Podczas przeprowadzania obliczeń w tym trybie obliczana jest wartość tłumienności w odległości d , którą ma do pokonania sygnał radiowy. Tłumienie sygnału radiowego określa się symbolami L_{bf} lub A_0 .

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad [dB] \quad (8)$$

gdzie: L_{bf} – wartość tłumienia [dB], d – dystans między nadajnikiem, a odbiornikiem, λ – długość promieniowanej fali (UWAGA: d i λ wyrażone w tych samych jednostkach, np. [m])

Wyrażenie (8) może być również zapisane z użyciem wartości częstotliwości w zamian za długość fali. W tym wypadku będzie miało ono postać:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad [dB] \quad (9)$$

gdzie: L_{bf} – wartość tłumienia [dB], d – dystans między nadajnikiem, a odbiornikiem [km], f – częstotliwość sygnału [MHz]

Obliczenie wartości poziomego natężenia sygnału w określonym miejscu należy obliczać uwzględniając moc wychodzącą ze źródła, czyli z nadajnika. Wówczas otrzymujemy:

$$P_r = P_t - 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (10)$$

gdzie: P_r – moc odebrana izotropowo [dBm], P_t – moc transmitowana izotropowo [dBm], d – dystans między nadajnikiem, a odbiornikiem [km], f – częstotliwość sygnału [MHz]

4. Standard IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Zestaw standardów IEEE 802.11, potocznie znanych pod hasłem Wi-Fi²³, został stworzonych do budowy bezprzewodowych sieci komputerowych. Szczególnym zastosowaniem Wi-Fi jest budowanie sieci lokalnych (LAN) opartych na komunikacji radiowej. Takie bezprzewodowe sieci lokalne określane

¹ Moc jaką musiałaby wypromieniować antena izotropowa (teoretyczna antena o zerowych wymiarach, która emituje fale elektromagnetyczne bez strat, jednakowo w każdym kierunku przestrzeni), aby w odbiorniku otrzymać taki poziom sygnału, jaki wystąpiłby przy wykorzystaniu anteny kierunkowej w kierunku jej maksymalnego promieniowania.

² Wi-Fi jest znakiem towarowym Wi-Fi Alliance dla certyfikowanych produktów opartych na standardach IEEE 802.11. Ten certyfikat gwarantuje interoperacyjność pomiędzy różnymi urządzeniami bezprzewodowymi.

³ Nazwa Wi-Fi jest rozwijana jako skrót od „Wireless Fidelity”, podobnie jak norma jakości dźwięku Hi-Fi to „High Fidelity”.

jako WLAN (Wireless LAN). Sieci WLAN one obecnie niezwykle popularne ze względu na powszechność wykorzystania tego standardu komunikacji urządzeniach mobilnych, jak również wysokie prędkości transmisji, jakie można uzyskać za pomocą tej technologii komunikacyjnej. Zasięg sieci opartych na technologii IEEE 802.11 kształtuje się od kilku metrów do kilku kilometrów. Prędkość transmisji w paśmie radiowym dochodzi do 300 Mb/s, jednak wymaga zastosowania więcej niż jednego kanału radiowego. Sieć Wi-Fi działa w paśmie częstotliwości od 2400 do 2485 MHz (2,4 GHz) lub 4915 do 5825 MHz (5 GHz).

Standardy IEEE 802.11 należące do grupy IEEE 802.x opisują warstwę fizyczną i podwarstwę MAC bezprzewodowych sieci lokalnych. Bazują one na protokołach warstwy fizycznej takich, jak:

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum),
- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum),
- OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).

Grupa 802.11 obejmuje następujące standardy:

Tabela 3. Ważniejsze standardy serii IEEE 802.11

Nazwa	Szybkości (Mb/s)	Pasmo częstotliwości (GHz)	Typ modulacji	Uwagi
802.11	1, 2	2,4	FHSS, DSSS, IR	Pierwszy standard czasami określany jako 802.1y
802.11a	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	5	OFDM	Publikacja 1999, urządzenia w 2001
802.11b	1, 2, 5.5, 11	2,4	HR-DSSS, CCK	Rozszerzenie 802.1y do pracy z prędkością 5.5 oraz 11 Mb/s (publikacja 1999)
802.11g	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54	2,4	HR-DSSS, CCK, OFDM	Zgodny wstecz z 802.11b, 2003
802.11n	100, 150, 300, 450, 600	2,4 lub 5	OFDM	Wyższe wymagania co do prędkości na rynku od 2006, pasmo nadawania o szerokości ok. 20 lub 40 MHz, dzielone na maksymalnie 4 strumienie (przy wykorzystaniu 4 anten MIMO)
802.11ac	433, 867, 1300, 1733, ..., 6928	5	OFDM	Wyższe wymagania co do prędkości na rynku od 2012, max. 8 jednoczesnych kanałów w trybie MIMO

Prace IEEE doprowadziły do powstania kilku innych odmian omawianego standardu, związanych z wybranymi aspektami funkcjonowania sieci WLAN lub powstałych na potrzeby lokalne (np. IEEE 802.11j, jako modyfikacja 802.11a powstała na potrzeby rynku Japońskiego, zawierająca dodatkowe kanały w paśmie 4,9 GHz).

4.1.1. Obszary zastosowań IEEE 802.11 w środowisku ITS

Obszar zastosowań technologii IEEE 802.11 w środowisku ITS obejmuje aplikacje związane z bezpieczeństwem (*safety applications*), usługami informacyjnymi (*infotainments*) oraz wspomaganie

kontroli ruchu (*traffic control*). Aplikacje usług bezpieczeństwa wykorzystują łączność bezprzewodową pomiędzy pojazdami (V2V) lub pomiędzy pojazdem a infrastrukturą (V2I) w celu unikania wypadków drogowych oraz poprawy bezpieczeństwa wszystkich uczestników ruchu drogowego. Aplikacje informacyjne mają na celu podniesienie komfortu jazdy. Trzecia grupa ma charakter mający na celu wspomaganie systemów sterowania srd w zakresie płynności ruchu na drodze. Przykładami zastosowań omawianego standardu w obszarze infrastruktury ITS jest zapewnienie łączności z urządzeniami końcowymi systemów ITS (np. kamery, czujniki drogowe, punkty dostępowe do informacji, itd.).

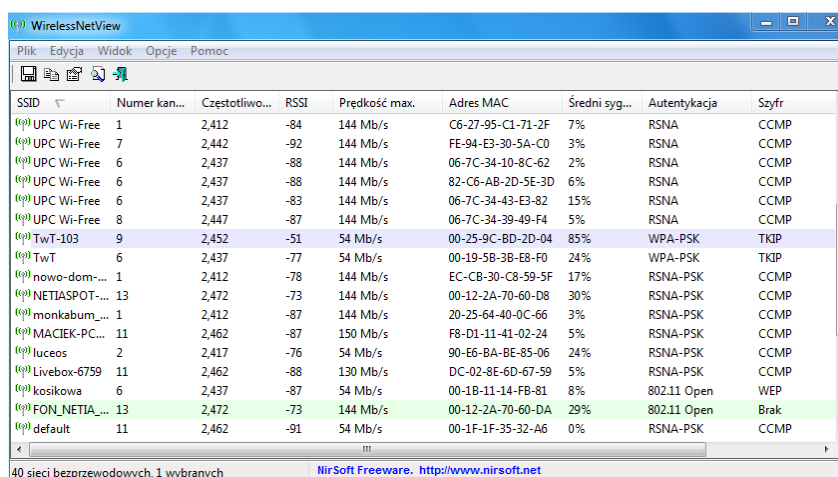
Standardy serii IEEE 802.11x znalazły szerokie zastosowanie jako technologia komunikacji krótkiego zasięgu z obiektami mobilnymi w funkcjonujących architekturach ITS, z tych też względów przedstawiona poniżej propozycja przeprowadzenia badań w zakresie radiowego pokrycia sygnałem w tym standardzie.

5. Narzędzia laboratoryjne

5.1. Wireless Net View

Wireless Net View jest to skaner sieci bezprzewodowych WLAN. Aplikacja pozwala na przeszukanie dostępnego pasma częstotliwości w zakresie obecności sieci Wi-Fi. Wyniki pomiarów widoczne są na liście, którą można następnie zapisać do pliku tekstowego lub raportu w postaci strony internetowej. Wśród wyświetlanych informacji znajdują się: nazwa sieci (SSID), data pierwszego i ostatniego wykrycia sygnału, siła i procentowa dostępność sieci, rodzaj uwierzytelnienia oraz szyfrowanie, adres MAC, RSSI, częstotliwość i numer kanału radiowego, maksymalna prędkość zestawionego połączenia.

Dodatkowo, istnieje możliwość ustawienia szybkości aktualizacji listy, włączenia powiadomień dźwiękowych, ukrycia zabezpieczonych/niezabezpieczonych sieci czy szybkiego zresetowania usługi systemowej odpowiadającej za połączenia bezprzewodowe. Aplikacja jest zainstalowana na tablecie laboratoryjnym.



SSID	Numer kan...	Częstotliwo...	RSSI	Prędkość max.	Adres MAC	Średni syg...	Autentykacja	Szyfr
(99) UPC Wi-Free	1	2,412	-84	144 Mb/s	C6-27-95-C1-71-2F	7%	RSNA	CCMP
(99) UPC Wi-Free	7	2,442	-92	144 Mb/s	FE-94-E3-30-5A-C0	3%	RSNA	CCMP
(99) UPC Wi-Free	6	2,437	-88	144 Mb/s	06-7C-34-10-8C-62	2%	RSNA	CCMP
(99) UPC Wi-Free	6	2,437	-88	144 Mb/s	82-C6-AB-2D-5E-3D	6%	RSNA	CCMP
(99) UPC Wi-Free	6	2,437	-83	144 Mb/s	06-7C-34-43-E3-82	15%	RSNA	CCMP
(99) UPC Wi-Free	8	2,447	-87	144 Mb/s	06-7C-34-39-49-F4	5%	RSNA	CCMP
(99) TwT-103	9	2,452	-51	54 Mb/s	00-25-9C-BD-2D-04	85%	WPA-PSK	TKIP
(99) TwT	6	2,437	-77	54 Mb/s	00-19-5B-3B-E8-F0	24%	WPA-PSK	TKIP
(99) nowo-dom-...	1	2,412	-78	144 Mb/s	EC-CB-30-C8-59-5F	17%	RSNA-PSK	CCMP
(99) NETIASPOT-...	13	2,472	-73	144 Mb/s	00-12-2A-70-60-D8	30%	RSNA-PSK	CCMP
(99) monkabum-...	1	2,412	-87	144 Mb/s	20-25-64-40-0C-66	3%	RSNA-PSK	CCMP
(99) MACIEK-PC-...	11	2,462	-87	150 Mb/s	F8-D1-11-41-02-24	5%	RSNA-PSK	CCMP
(99) luceos	2	2,417	-76	54 Mb/s	90-E6-BA-BE-85-06	24%	RSNA-PSK	CCMP
(99) Livebox-6759	11	2,462	-88	130 Mb/s	DC-02-8E-6D-67-59	5%	RSNA-PSK	CCMP
(99) kosikowa	6	2,437	-87	54 Mb/s	00-1B-11-14-FB-81	8%	802.11 Open	WEP
(99) FON.NETIA_...	13	2,472	-73	144 Mb/s	00-12-2A-70-60-DA	29%	802.11 Open	Brak
(99) default	11	2,462	-91	54 Mb/s	00-1F-1F-35-32-A6	0%	RSNA-PSK	CCMP

Rysunek 1. Okno główne programu WirelessNetView

5.2. NetSpot

Program NetSpot (<http://www.netspotapp.com/>) jest bezpłatnym (dla potrzeb niekomercyjnych) narzędziem służącym do oceny bezprzewodowych sieci lokalnych WLAN. Jego działanie w zasadniczej części jest zbliżone do wcześniej omówionego programu Wireless Net View. W rzeczywistości jest o wiele potężniejszym narzędziem służącym nie tylko do skanowania i inspekcji sieci WLAN w miejscu dokonywanego pomiaru radiowego, ale przede wszystkim do tworzenia wizualizacji przestrzennej (2D) pokrycia radiowego sygnałem dostępnych sieci WLAN. Funkcjonalność narzędzia jest wykorzystywana przy:

- planowaniu radiowym sieci Wi-Fi,
- optymalizacji sieci wi-Fi,
- rozwiązywaniu problemów związanych z dostępem w obiektach do sieci Wi-Fi,
- tworzeniu map pokrycia radiowego pojedynczych lub grup sieci Wi-Fi,
- ocenie ciągłości dostępu sieci,
- uzyskiwaniu precyzyjnych informacji o dostępnych sieciach Wi-Fi.

Okno główne (DISCOVER) przedstawiono na rysunku (Rysunek 2).

SSID	BSSID	Graph	Signal	%	Min.	Max.	Average	Level	Band	Channel	Width	Vendor	Security	Mode	Last seen
UPC0042172	8C04:FF:02:93:54		-	-	-96	-96	-110		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	31 s ago
UPC0045385	28:BE:9B:34:00:98		-	-	-96	-96	-113		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	1 m 32 s ...
UPC0045559	FC94:E3:02:5A:92		-77	22	-108	-77	-97		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	now
UPC0045856	28:BE:9B:34:1CE0		-	-	-96	-77	-103		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	5 s ago
UPC0049690	80:C6:AB:1B:0C:79		-	-	-96	-96	-111		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	5 s ago
UPC0050458	28:BE:9B:33:62:B3		-104	-9	-104	-77	-93		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	now
UPC0050458	FC94:E3:31:41:D8		-	-	-96	-96	-115		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	1 m 57 s ...
UPC0053860	FC94:E3:28:37:C8		-	-	-96	-77	-100		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	21 s ago
UPC1281426	44:32:C8:9B:F7:C9		-	-	-96	-96	-109		2,4	1	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	45 s ago
UPC1281609	44:32:C8:9B:E5:3B		-109	-15	-109	-77	-104		2,4	6	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	now
UPC1377896	8C04:FF:12:95:E3		-	-	-96	-96	-107		2,4	1	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	31 s ago
UPC1382923	8C04:FF:BB:D8:79		-	-	-96	-96	-110		2,4	4	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	5 s ago
UPC1385278	8C04:FF:7D:C1:A8		-	-	-96	-96	-113		2,4	8	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	5 s ago
UPC1386334	8C04:FF:BB:75:48		-	-	-96	-96	-111		2,4	1	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	1 m 21 s ...
UPC1517969	44:32:C8:FD:BE:53		-	-	-96	-96	-109		2,4	1	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	59 s ago
UPC2362047	64:7C:34:54:91:64		-	-	-96	-96	-113		2,4	11	20	Ubee	WPA2 Personal	n	1 m 26 s ...
UPC243736600	FC6F:B7:89:2:FEE		-	-	-96	-77	-107		2,4	1	20	Pace	WPA2 Personal	n	5 s ago
UPC249180379	FC6F:B7:88:CA:A4		-	-	-96	-96	-113		2,4	6	20	Pace	WPA2 Personal	n	10 s ago
UPC2658730	88:F7:C7:50:80:30		-101	-6	-102	-77	-96		2,4	11	20	Technicolor	WPA2 Personal	n	now
UPC5023422	64:7C:34:AA:62:60		-104	-9	-107	-77	-103		2,4	6	20	Ubee	WPA2 Personal	n	now
UPC6444363	64:7C:34:44:69:AB		-	-	-96	-77	-94		2,4	11	20	Ubee	WPA2 Personal	n	36 s ago

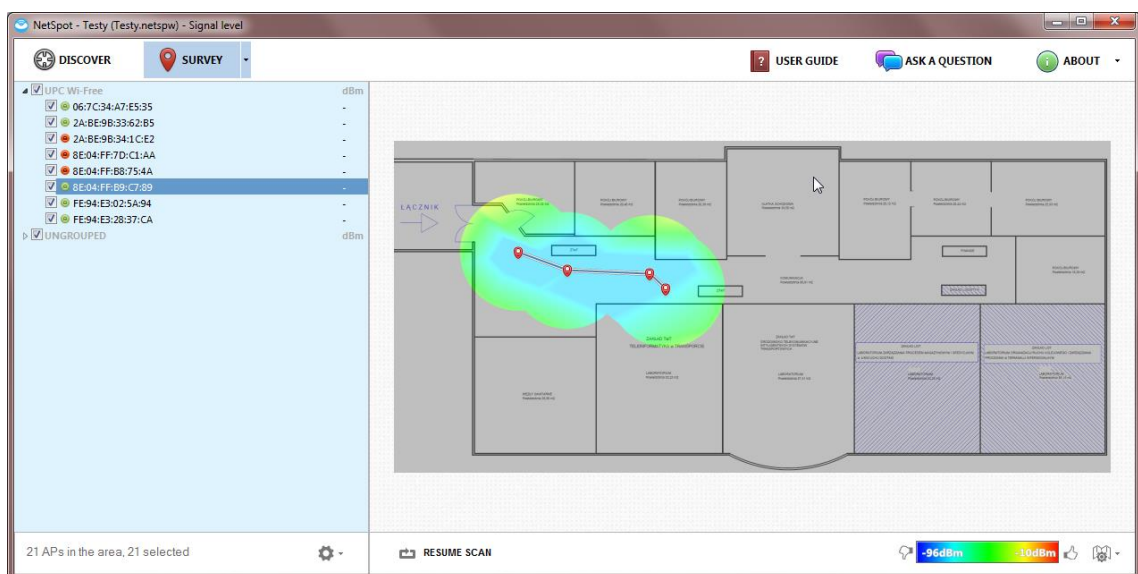
Rysunek 2. Okno główne programu NetSpot

W na przedstawionym rysunku wyświetlona została lista sieci WLAN wraz z opisującymi je parametrami:

- SSID (*Service Set Identifier*) – identyfikator sieci składający się maksymalnie z 32 znaków, dodawany do nagłówek pakietów wysyłanych przez bezprzewodową sieć lokalną.
- BSSID (*Basic Service Set Identifier*) – 48 bitowy numer identyfikujący służy do identyfikacji różnych sieci bezprzewodowych obejmujących ten sam teren. W BSS strukturalnych numer ten jest równy adresowi MAC bezprzewodowego interfejsu punktu dostępowego.
- Signal – aktualny poziom sygnału radiowego danej sieci Wi-Fi.
- Min. – minimalna wartość sygnału w czasie obserwacji dla wybranej sieci.

- Max. – maksymalna wartość sygnału w czasie obserwacji dla wybranej sieci.
- Average – średnia wartość sygnału w czasie obserwacji dla wybranej sieci.
- Level – to samo, co *Signal*, jednak w postaci graficznej.
- Band – pasmo nadawania sieci (2,4 / 5 GHz).
- Channel – kanał, na którym jest nadawany sygnał sieci WLAN.
- Width – szerokość pasma transmisyjnego (zazwyczaj 20 lub 40 MHz).
- Vendor – producent urządzenia sieciowego.
- Security – metoda zabezpieczenia sieci.
- Mode – tryb pracy sieci (aktualnie: a/b/g/n/ac).

Tryb wizualizacji 2D pokrycia radiowego przełącza się naciskając przycisk SURVEY w górnej części aplikacji. Okno główne w trakcie prowadzonych pomiarów przedstawiono na rysunku (Rysunek 3).



Rysunek 3. Główne okno pomiarowe w trybie wizualizacji przestrzennej pokrycia radiowego

Okno trybu SURVEY, programu NetSpot zostało podzielone dwie części. W lewej wyświetlana jest lista widocznych sieci Wi-Fi. Zaznaczenie jednej z sieci umożliwia pozwala na obserwację propagacji sygnału w danym miejscu.

Po prawej stronie przedstawiona jest wczytana uprzednio mapa. Wskazanie aktualnego miejsca przebywania powoduje rozpoczęcie pomiaru. Jego czas trwania może być różny; przeciętnie trwa ok. 10 s. Procedurę badawczą przedstawioną w kolejnych krokach:

1. w górnej części aplikacji przełącz tryb pracy DISCOVER na tryb SURVEY
2. w polu Survey Name: należy wpisać nazwę dla nowego badania, np. „data badania – obiekt”
3. w polu Load a survey map: należy wczytać mapę badanej lokalizacji
4. nacisnąć przycisk Continue znajdujący się w dolnej części okna
5. następnie należy wskazać dwa specyficzne punkty badanej lokalizacji i ustalić odległość w metrach między tymi punktami
6. nacisnąć przycisk Continue znajdujący się w dolnej części okna
7. Od tego momentu rozpoczyna się właściwe badanie

8. W miejscu pomiaru należy się zatrzymać, kliknąć palcem w to miejsce na mapie i poczekać na wykonanie pomiaru
9. Minimalna liczba pomiarów wynosi 7
10. Po wykonaniu ostatniego pomiaru należy nacisnąć przycisk STOP SCAN w dolnej części ekranu
11. Aby zobaczyć poziom pokrycia badanego obiektu należy zaznaczyć na liście po lewej stronie okna głównego programu ocenianą sieć radiową. Przykład przedstawiono na rysunku (Rysunek 3)
12. Poziom sygnału na ocenianym obszarze jest prezentowany w postaci spektrum kolorów (od czerwieni do granatowego)
13. Wskazując palcem miejsce na mapie można sprawdzić (po lewej stronie ekranu) rzeczywiste lub obliczone natężenie sygnału.
14. Wyniki badań można zapisać wybierając strzałeczkę obok przycisku SURVEY.

7. Zapisać liczbę sieci wykrytą przez narzędzie (w sprawozdaniu porównać liczbę i poziomy sygnałów z poprzednio dokonanymi w programie WirelessNetView).
8. Przejść do trybu SURVEY
9. Otworzyć nowy projekt. Nadać mu indywidualną nazwę zawierającą datę wykonania ćwiczenia oraz nr zespołu. Wczytaj mapę pierwszego piętra nowego skrzydła NK (nazwa pliku na pulpicie: plan NK1.jpg)
10. Nacisnąć przycisk „Continue”
11. Przeprowadzić kalibrację narzędzia poprzez wskazanie dwóch punktów charakterystycznych i wykazać rzeczywistą odległość pomiędzy wskazanymi punktami (miejsca wskazuje prowadzący)
12. Nacisnąć przycisk „Continue”
13. Wykonać badanie poziomu natężenia pola radiowego sieci Wi-Fi wskazując na planie miejsca, w których dokonywany jest pomiar. UWAGA: Duża liczba punktów pomiarowych zwiększa dokładność tworzonej dokumentacji badawczej.
14. Zakończ badanie, wróć do sali laboratoryjnej, zapisz wynik pracy do pliku.
15. W sprawozdaniu dokonać porównania wyników pomiarów wykonanych dwoma programami.

Badania tłumienia sygnału radiowego w wolnej przestrzeni:

16. Zidentyfikuj Access Point pn. „TWT-badania” (producent: Planet)
17. Dokonaj pomiaru natężenia sygnału programem NetSpot w trybie DISCOVERY bezpośrednio przy antenie, a następnie w odległości 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 [m]
18. Wykonać algebraiczne obliczenia tłumienia sygnału w wolnej przestrzeni dla ocenianego Access Pointa przyjmując moc, jako nadawaną sygnał zarejestrowany przy antenie. UWAGA: Wzory na tłumienność w wolnej przestrzeni są zamieszczone w zaleceniu ITU-R P.525-2
19. Następnie przeprowadzić obliczenia w mierzonych odległościach 3 i 6 [m]. Czy obliczone wartości różnią się znacząco od wartości pomierzonych?
20. W dalszej kolejności przeprowadzić obliczenia dla odległości od 5 do 100 [m] z krokiem co 5 [m].
21. Sprawdzić tłumienność sufitu budynku NK dokonując pomiaru porównując wyniki z lokalizacji 1 (patrz Rysunek 4) na piętrze I i parterze.
22. W sprawozdaniu sporządzić wykres tłumienności sygnału.
23. Przygotować sprawozdanie z wykonanych pomiarów.

7. Bibliografia

- [1] Bieńkowski Z., Lipski E.: Amatorskie anteny KF i UKF. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.
- [2] Intelligent Transport Systems (ITS) Communications Architecture, ETSI EN 302 665 V1.1.1, 2010-09
- [3] ITS Japan Website, oficjalny serwer The Japan Intelligent Transportation Society, Website, <http://www.its-jp.org/english/>, maj 2011.
- [4] ITSA Website, oficjalny serwer The Intelligent Transportation Society of America, Website, <http://www.itsa.org>, maj 2011
- [5] Katulski R.: Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2014
- [6] Kubacki R.: Anteny mikrofalowe. Technika i środowisko. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2009.
- [7] Oficjalna strona projektu Easy Way, <http://www.easyway-its.eu>, dostęp listopad 2013-styczeń 2014.

- [8] Oficjalna strona organizacji Ertico, <http://www.ertico.com>, dostęp listopad 2013-styczeń 2014.
- [9] Oficjalna strona projektu Co-Gistics, <http://ertico.com/co-gistics>, dostęp listopad 2013-styczeń 2014.
- [10] Szóstka J.: Fale i anteny. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2006