

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

MĚŘENÍ PROPUSTNOSTI WIFI SÍTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV HRABČAK

BRNO 2007



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

MĚŘENÍ PROPUSTNOSTI WIFI SÍTÍ

WIFI NETWORK THROUGHPUT ANALYZE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV HRABČAK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. RUDOLF ČEJKA

BRNO 2007

Zadání bakalářské práce/3459/2006/xhrabc04

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií
Centrum výpočetní techniky

Akademický rok 2006/2007

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Hrabčák Miroslav**
Obor: Informační technologie
Téma: **Měření propustnosti WiFi sítí**
Kategorie: Počítačové sítě

Pokyny:

1. Seznamte se s problematikou WiFi sítí.
2. Vyzkoušejte různé konfigurace a propojení WiFi sítí (režimy ad-hoc, access point a hybrid; různé přenosové rychlosti).
3. Proveďte měření propustnosti při různých konfiguracích WiFi sítí (různá úroveň signálu, vliv rušení u blízkých kanálů atd.) a pomocí analyzátoru Airmagnet Analyser jednotlivá zapojení analyzujte.
4. Vyhodnoťte dosažené výsledky a srovnajte je s předpokládanými hodnotami.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího projektu.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Splnění bodů 1 a 2.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese
<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním paměťovém médiu (disketa, CD-ROM), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Čejka Rudolf, Ing.**, CVT FIT VUT
Datum zadání: 1. listopadu 2006
Datum odevzdání: 15. května 2007

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav informačních systémů
602 00 Brno, Břichova 2



doc. Ing. Jaroslav Zendulka, CSc.
vedoucí ústavu

Licenční zmluva

Licenční zmluva je uložená v archíve Fakulty informačních technologií Vysokého učení technického v Brně.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou priepustnosti WIFI sietí. Rozoberá a analyzuje faktory ovplyvňujúce ich výkon a koncentruje sa na typické problémy rádiových prenosových ciest bezlicenčného pásma. Popisuje možnosti a techniky monitorovania, detekcie a odstraňovania príčin, ktoré spôsobujú pokles priepustnosti sietí.

Súčasťou práce je taktiež experimentálne testovanie a analýza štandardov 802.11b/g a 802.11n v prostredí laboratórnej WIFI siete.

Kľúčové slová

WIFI, bezdrôtové siete, monitorovanie, analýza, priepustnosť, Fresnelová zóna, MAC, MIMO, Infraštruktúra Ad-Hoc, 802.11g, 802.11n.

Abstract

This bachelor project discusses throughput problems of the WIFI networks. Project analyzes typical problems and factors, that affect decrease of their capacity and concentrates on typical problems of their signal path. Describes techniques of monitoring, detection and debugging causes, which affects decrease of network throughput.

The project also includes the experimental testing and analyzes of standards 802.11b/g and 802.11n on the labs WiFi network.

Keywords

WIFI, wireless network, monitoring, analyzes, throughput, Fresnel zone, MAC, MIMO, infrastructure, Ad-Hoc, 802.11g, 802.11n.

Citácia

Miroslav Hrabčák: Měření propustnosti WIFI sítí, bakalárska práca, Brno, FIT VUT v Brně, 2007

Meranie priepustnosti WIFI sietí

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalárskou prácu vypracoval samostatne pod vedením Rudolf Čejka, Ing.

Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Miroslav Hrabčák
15. mája 2007

Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Rudolfovi Čejkovi, za ochotnú pomoc pri konzultáciách a za rýchlu odozvu pri komunikácii prostredníctvom elektronickej pošty.

© Miroslav Hrabčák, 2007.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Úvod	3
1 Základné parametre rádiového spektra WIFI z pohľadu parametrov pre analýzu priepustnosti ...	4
1.1 Analýza faktorov spôsobujúcich straty RF signálu pri prenose	5
1.1.1 Absorpcia vlnenia prostredím (<i>Wave absorption</i>)	5
1.1.2 Odraz vlnenia (<i>Wave reflection</i>)	6
1.1.3 Rozptyl vlnenia v prostredí (<i>Wave scattering</i>)	6
1.1.4 Lom vlnenia (<i>Signal refraction</i>)	7
1.3 Diverzita antén	13
1.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)	14
2 Topológie a technológie WiFi sietí a analýza param ovplyvňujúcich ich celkovú priepustnosť. 16	
2.1 Architektúra 802.11	16
2.2 Typy sietí	17
2.2.1 <i>Ad-Hoc siete</i>	18
2.2.2 <i>Infraštruktúre siete</i>	18
2.3 Asociácia s prístupovým bodom	19
2.4 Rozšírená oblasť služieb ESA (<i>Extended service area</i>)	20
2.5 IEEE 802.11 ISO/OSI – Model pre počítače komunikujúce v sieti	21
2.6 Fyzická vrstva 802.11	23
2.6.1 <i>Rozšírené spektrum (Spread Spektrum)</i>	23
2.6.2 <i>Typy rozšíreného spektra</i>	24
2.6.3 <i>Dostupné frekvencie a kanály rádiového spektra</i>	25
2.6.4 <i>Dostupné rádiové frekvencie a kanály štandardu 802.11a</i>	25
2.6.5 <i>Dostupné rádiové frekvencie a kanály štandardu 802.11b/g</i>	27
2.6.6 <i>Podvrstvy PLCP a PMD</i>	29
2.6.7 <i>Štruktúra PLCP podvrstvy</i>	29
2.7 Linková vrstva a MAC podvrstva	31
2.7.1 <i>Medzirámkové medzery</i>	31
2.7.2 <i>Koordinácia prístupu k médiu</i>	32
2.7.3 <i>CSMA/CA a problém skrytého uzla</i>	33
2.7.4 <i>Architektúra MAC rámca</i>	35
3 Meranie a analýza priepustnosti WiFi sietí	37
3.1 Analýza arch. paketu 802.11 a jej dôsledok na celkovú efektívnu priepustnosť WiFi	38
3.2 Analýza rušivých vplyvov a ich dopad na celkovú priepustnosť siete	41
3.3 Experimentálna analýza priepustnosti štandardu 802.11n	43

4	Záver	46
4.1	Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov	46
4.2	Osobný prínos z riešenia práce.....	46
	Zoznam použitých skratiek	47
	Literatúra	49

Úvod

Bezdrôtové technológie predstavujú rôzne systémy, zariadenia a prostriedky, ktoré eliminujú káblové vedenia, a zároveň zachovávajú rovnaké služby ako poskytujú riešenia založené na metalických či iných vedeniach. V praxi to v konečnom dôsledku znamená, že prenosová cesta signálu nemusí byť fyzicky tvorená káblom ale využívajú sa najrôznejšie prenosové cesty založené na elektromagnetickom vlnení. Prenosové a charakterové vlastnosti takejto technológie, potom závisia na použitom frekvenčnom pásme a použitej frekvencii vlnenia. Vďaka svojej charakterovej vlastnosti šírenia sa vlny priestorom, nevyžadujú takto založené technológie žiadne fyzické uloženie prenosových ciest, čo je pre nich obrovskou výhodou, nakoľko poskytujú “konektivitu” aj v nedostupných priestoroch alebo v špecifických prostrediach, kde by káblové prenosové médiá predstavovali z rôznych príčin nerealizovateľný projekt (múzeá, letiská a pod.). Veľkou výhodou bezdrôtových technológií akou je aj WIFI je bezpochyby to, že poskytujú užívateľovi mobilitu a navyše môžu využívať aj viacsmerový charakter vysielania, kde sú dáta z jedného zdroja prenášané k viacerým príjemcom súčasne. Viacsmerový charakter vysielania je ale výhodný iba pri použití jednosmerného prenosu, zatiaľ čo pri použití opačného smeru je potrebná určitá forma koordinácie záujemcov o vysielanie v príslušnom smere.

WIFI siete používajú ako prenosové médium elektromagnetické spektrum. Pri nízkych frekvenciách elektromagnetické vlny lepšie prekonávajú terénne prekážky ale so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od vysielajúceho zdroja, rýchlo klesá ich intenzita vysielania a zvyšuje sa útlm signálu. Vlny vyšších frekvencií sa šíria priamočiaro, preto lepšie smerujú k cieľu. S rastúcou frekvenciou sa zvyšuje citlivosť na atmosférické vplyvy (dážď, hmla, búrka a pod.). Platí obecný trend zvyšovania prenosových rýchlostí bezdrôtových prenosových médií a garantovanie kvality požadovaných služieb.

Témou tejto bakalárskej práce je Meranie priepustnosti WIFI sietí. Práca je rozdelená do štyroch kapitol. Prvá kapitola popisuje základné princípy a parametre bezlicenčného rádiového spektra. V druhej kapitole sa venujem základným parametrom, technológiám a princípom WIFI sietí. Tretia kapitola obsahuje praktické analýzy priepustnosti WIFI sietí a ich výsledky. V tejto kapitole sa rovnako venujem experimentálnej analýze priepustnosti štandardu 802.11g a 802.11n. Poslednou kapitolou je záver, v ktorom sú zhrnuté dosiahnuté výsledky merania priepustnosti WIFI sietí a celkový prínos tejto práce.

1 Základné parametre rádiového spektra WIFI z pohľadu parametrov pre analýzu priepustnosti

K tomu aby sme mohli správne analyzovať, navrhovať a implementovať siete či už bezdrôtové alebo káblové je nutné pochopiť ISO/OSI model a základné sieťové koncepty. Základný rozdiel WIFI bezdrôtových sietí oproti metalickým káblovým sieťam, tvorí odlišná fyzická vrstva ISO/OSI modelu. Kým u káblových sietí predstavuje fyzická vrstva jednoduchý koncept šírenia sa elektrického signálu metalickým káblom, u bezdrôtových sietí tvorí práve túto vrstvu bezdrôtové prenosové médium tvorené elektromagnetickými vlnami šíriacimi sa voľným priestorom. Zatiaľ čo pre ošetrovanie prenosovej cesty pre spoľahlivý a nerušený prenos signálu nám u metalických sietí postačuje krútená dvojlinka, ktorá pre elimináciu rušenia používa technológiu bifilárneho vinutia cievok, v prípade bezdrôtového média vyvstáva niekoľko problémov ako dosiahnuť čo najspoľahlivejší a zároveň bezpečný prenos signálu.

Preto aby sme mohli správne analyzovať siete založené na technológii bezdrôtového prenosového média 802.11, je nutné aby sme sa oboznámili a mali predstavu o tom ako pracuje koncept týchto sietí na prvej vrstve ISO/OSI.

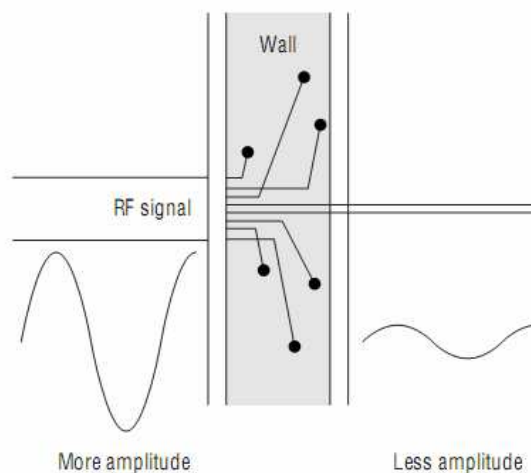
Srdce bezdrôtových médií tvorí všeobecne rádiové spektrum, prostredníctvom ktorého sa šíria elektromagnetické vlny. U WIFI sietí je toto rádiové spektrum posunuté do bez licenčného pásma 2.4Ghz resp. 5Ghz. Nakoľko sa toto rádiové spektrum šíri voľným priestorom je ovplyvňované mnohými aspektmi. Pre dosiahnutie čo najvyššej priepustnosti a výkonu, je nutné si tieto aspekty popísať a ak je to možné vo výslednom koncepte siete ich zohľadniť eliminovať či úplne odstrániť. Je dôležité pochopiť, že oproti metalickým či iným sieťam je chovanie sa bezdrôtových sietí často neočakávané a nepredvídateľné. Ďalšou vecou, ktorú je potrebné si uvedomiť je to, že rádiové spektrum je niečo, čo je ľahko ovplyvniteľné okolitými podmienkami a to napríklad, že pokrytie signálu v miestnosti kde sa nenachádzajú ľudia je úplne odlišné ako v miestnosti plnej ľudí. Preto nám vystupuje problém špecifikácie prekážok, ktoré nám môžu výkon siete a jej priepustnosť výrazne ovplyvniť.

1.1 Analýza faktorov spôsobujúcich straty RF signálu pri prenose

Počas cesty **RF** signálu vzduchom alebo iným prenosovým médium je tento signál ovplyvňovaný prostredím, ktorým sa šíri. Prostredie môže signál ovplyvniť, degradovať alebo zmeniť chovanie signálu do takej miery, že sa stane nepoužiteľným. Straty **RF** signálu vo voľnom priestore zahrňujú absorpciu, odraz, rozptyl, lom, ohyb, straty, straty vo voľno prostredí, viaccestnosť a útlm.

1.1.1 Absorpcia vlnenia prostredím (Wave absorption)

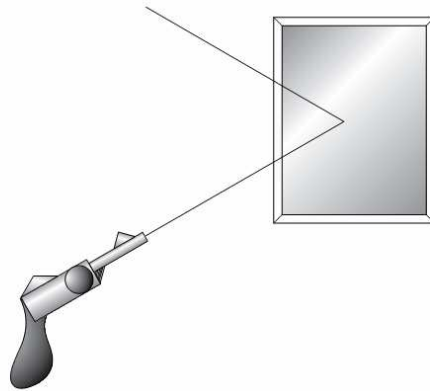
Kľúčovým parametrom pre analýzu **RF** spektra je absorpcia resp. pohlcovanie signálu prostredím, ktorým sa šíri. Pokiaľ signál nemôže prekonať prekážku ktorá mu stojí v ceste dochádza k obtekaniu signálu okolo objektu. Od materiálových vlastnosti prekážky závisí aj správanie sa signálu, ktorý ňou prechádza. V prípade prechodu signálu touto prekážkou môže dôjsť k absorpcii tzv. strate alebo k jeho útlmu. Absorpčné vlastnosti objektov sa špecificky menia od aktuálneho stavu prekážky. Príkladom je napríklad suchá stena tvoriaca prekážku, ktorá pohltí priemerne 10%-15% signálu, kým rovnaká prekážka za dažďa alebo v prípade navlhnutia dokáže postaviť **RF** signálu dokonalú bariéru. Absorpciu **RF** signálu názorne ukazuje nasledujúci obrázok.



Obrázok 1.1.1: Absorpcia vlnenia na rozhraní prekážky

1.1.2 Odraz vlnenia (Wave reflection)

Ďalším z veľmi dôležitých parametrov RF signálu je schopnosť odrazu. V prípade, že elektromagnetická vlna narazí na hladkú plochu alebo objekt, odrazí sa táto vlna do iného smeru a v tomto smere sa ďalej šíri a daný odrazový bod sa stáva ďalším zdrojom vlny. Tento jav nazývame odraz signálu.



Obrázok 1.1.2: Analógia odrazu vlny v prostredí

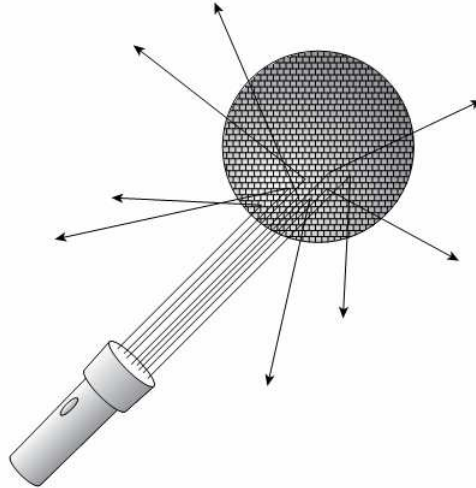
Odraz vlnenia tvorí závažný zdroj problémov výkonnosti v prípade **WLAN** sietí. Vyžiarená vlna z antény sa šíri a rozptyľuje v prostredí. Ak sa časť takejto vlny odrazí vzniká v bode odrazu vlna, ktorá má odlišné fázové vlastnosti. Ak takéto vlny dorazia k prijímaču je nutné zabezpečiť aby prijímač vedel rozlíšiť odrazenú vlnu od primárnej. Problém spojený s odrazom vlny a ich následným šírením sa k prijímaču, nazývame viaccestnosť (multipath). Viaccestnosť zapríčiňuje pokles kvality signálu alebo jeho úplnú stratu v prostredí následkom interferencie. Odraz a s ním spojená viaccestnosť, tvorí závažný problém v bezdrôtových technológiách. Tento jav sa podarilo v poslednej dobe vyriešiť návrhom technológie **MIMO** (Multiple Input Multiple Output), ktorej sa budem venovať v samostatnej kapitole. Technológia **MIMO** využíva práve výhody odrazu a viaccestnosti **RF** signálu.

1.1.3 Rozptyl vlnenia v prostredí (Wave scattering)

Rozptyl vlnenia sa dá jednoducho popísať ako viacnásobný odraz. Tento jav nastáva, ak vlnová dĺžka **RF** signálu je väčšia ako médium cez ktoré sa vlna šíri.

Rozptyl **RF** signálu môžeme rozdeliť do dvoch kategórii. Prvý z prípadov nastáva pri prechode signálu špecifickým typom prostredia akým môže byť elektromagnetický smog, hmla

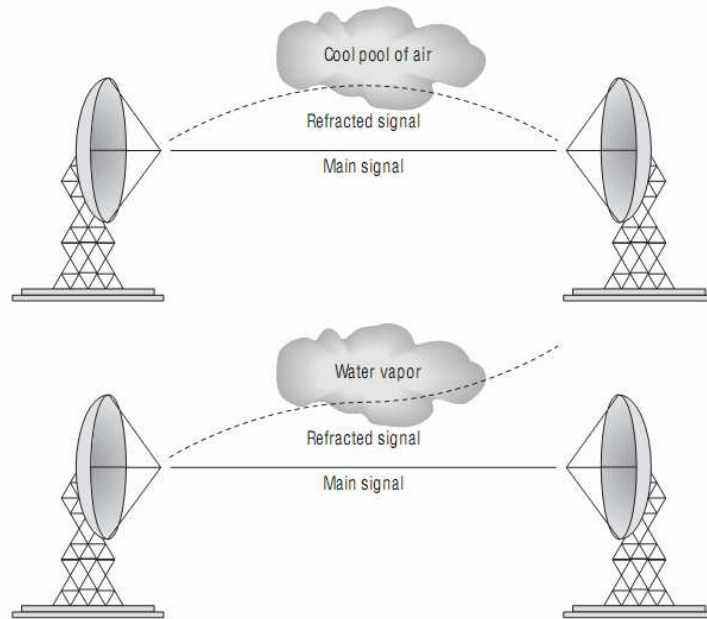
a dážď. Takto odrazené vlny predstavujú iba zlomok pôvodného nosného spektra. Takýto rozptyl má na kvalitu signálu menší vplyv. Druhý typ rozptylu predstavuje závažnejší problém a nastáva pri prechode **RF** signálu nerovným povrchom, čo má za následok vysoký rozptyl signálu, ktorý spôsobuje v konečnom dôsledku jeho energetický úbytok a elektromagnetické vlny sú rozptýlené do okolitého prostredia a pôvodné signálové spektrum stráca svoju energiu.



Obrázok 1.1.3: Analógia rozptylu signálu na rozhraní prostredí

1.1.4 Lom vlnenia (Signal refraction)

Ďalšou z dôležitých vlastností vlnenia je lom elektromagnetickej vlny na rozhraní dvoch nehomogénnych prostredí s rôznou hustotou. K takémuto lomu dochádza najčastejšie pri prechode elektromagnetického spektra rôznymi atmosférickými prekážkami, akými sú mraky, dážď, hmla a pod. Lom vlnenia sa prejavuje vo vonkajšom prostredí rovnako ako aj vo vnútornom kde sa signál láme na rozhraní prostredí, akými sú lesklé povrchy. Lom signálu je dôležitou skutočnosťou pri návrhu **WAN** sietí kde môže tento neduh spôsobiť úplnú stratu alebo znehodnotenie signálu. Príklad lomu vo vonkajšom prostredí demonštruje nasledujúci obrázok.



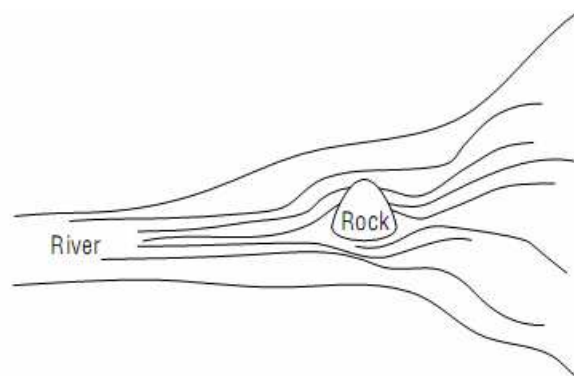
Obrázok 1.1.4: Ukážka lomu vlnenia na rozhraní atmosférických prostredí

1.1.5 Ohyb vlnenia (Wave diffraction)

Ohyb vlnenia sa prejavuje obtekaním vlnenia vo voľnom prostredí okolo stojacej prekážky. Typický ohyb vlnenia sa prejavuje v prípade čiastočnej prekážky **RF** signálu akou môže byť roh budovy či kopec. V prípade, že vlnenie narazí na takúto prekážku dochádza k degradácii jeho amplitúdy čo má za následok pokles celkovej rýchlosti siete.

Pri ohybe vlnenia nastáva za prekážkou jav, ktorý nazývame **RF** tieň. V takomto mieste sa signál buď nenachádza alebo je jeho úroveň tak nízka že sa stáva nepoužiteľný.

Takýto jav môžeme analogicky prirovnať k obtekaniu kameňa na dne rieky, čo zobrazuje aj nasledujúci obrázok.



Obrázok 1.1.5: Analógia lomu vlnenia na čiastočnej prekážke

Ohyb vlnenia je dosť zložitý jav a dá sa vysvetliť podľa Huygensovho princípu. Každý bod telesa, do ktorého dospelo vlnenie (takzvané primárne vlnenie) v určitom časovom okamžiku, sa stáva elementárnym zdrojom vlnenia (sekundárne vlnenie) – pôsobením primárnej vlny sa teleso polarizuje (ak je dielektrické) alebo sa na jeho povrchu indukujú prúdy, ak je vodivé. V ďalšom časovom okamihu je toto teleso obalovou krivkou všetkých elementárnych vlnoploch. Výsledná intenzita poľa kdekoľvek v okolí telesa (aj za ním) je súčtom intenzity primárnej a sekundárnej vlny.

Vlnenie sa teda podľa tohto princípu môže dostať aj za prekážky, kde dochádza k interferencii vlnenia, čo sa prejavuje ako difrakcia alebo ohyb.

Ohyb súvisí ako s rozmermi prekážky, tak aj s vlnovou dĺžkou vlnenia, ktoré na prekážku dopadá. Obecne platí, že ohyb je pri určitom rozmere prekážky a pozorovateľa tým výraznejší, čím väčšia je vlnová dĺžka vlnenia. Smer šírenia je ovplyvnený ohybom vlnenia na prekážkach. Tento vplyv je však tým väčší, čím väčšia je vlnová dĺžka vlnenia.

Strata spôsobená difrakciou:

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (d1 + d2)}{\lambda \cdot (d1 + d2)}}$$

$$Ld(db) = \frac{20 \cdot \log(0.225/v)}{\log(10)}$$

Kde:

H je výška medzi vrcholom antény a vrcholom prekážky v metroch

D1 je vzdialenosť od antény 1 k prekážke v metroch

D2 je vzdialenosť od antény 2 k prekážke v metroch

λ je vlnová dĺžka v metroch, tu dosadíme 0.12 pre pásmo 2.4 GHz

Výsledkom medzi výpočtu je difrakčný parameter v , ktorý dosadíme do druhého vzorca aby sme získali Ld , stratu spôsobenú difrakciou.

1.1.6 Útlm (Attenuation)

Útlm signálu by sa dal v jednoduchosti popísať ako pokles amplitúdy signálu. Samotný útlm nenastáva len na prenosovej ceste signálu ale nakoľko sa jedná o **RF** signál, jeho útlm nastáva aj na aktívnych či pasívnych prvkoch siete ako sú káble konektory a podobne.

Po vyžiarení signálu do prostredia je signál vystavený rôznym vplyvom, ktoré rôznym spôsobom modifikujú jeho amplitúdu resp. zvyšujú útlm signálu. Útlm nastáva ako dôsledok rozptylu, lomu, absorpcie či ohybu vlnenia. Rozdielne materiály majú rozdielny koeficient útlmu. Ako som už spomínal najčastejším činiteľom, ktorý spôsobuje útlm je voda. Nie je však jediný.

Nasledujúca tabuľka uvádza typické prekážky rádiového signálu a útlm, ku ktorému na nich dochádza.

Materiál	Použité pásmo - 2.4Ghz
Železobetón, panel	-15 dB
Tehlová stena	-15 dB
Výťah alebo kovová prekážka	-10 dB
Kovová konštrukcia	-6 dB
Mokrú stenu	-3 dB
Sklenené okno alebo dvere	-3 dB

Tabuľka 1.1.1: Útlm signálu pre špecifické prostredia

1.1.7 Straty vo voľnom priestranstve

Samostatnou a pochopiteľnou skupinou sú straty vo voľnom priestore, teda straty ku ktorým dochádza prechodom voľným priestorom úplne bez prekážok a uvedených vplyvov ako je refrakcia, difrakcia a reflexia. K týmto stratám dochádza vždy a je potrebné ich fixne započítať.

Použijeme k tomu Friisovu formulu, ktorá nám po dosadení rádiovkej frekvencie a vzdialenosti vyčíslí stratu v decibeloch.

Strata vo voľnom priestore:

$$L_p(\text{dB}) = 92.45 + 20 \cdot \log_{10} F + \text{LOG}_{10} \cdot d$$

Kde:

L_p = strata vo voľnom priestore (dB)

f = frekvencia v GHz

db = decibel

d = vzdialenosť v kilometroch

Útlm signálu nenastáva len v dôsledku prekážky v prenosovej ceste. Samotný útlm signálu sa zvyšuje aj so zvyšujúcou sa vzdialenosťou komunikujúcich uzlov. Nasledujúca tabuľka ukazuje ako sa mení útlm signálu so zvyšujúcou sa vzdialenosťou.

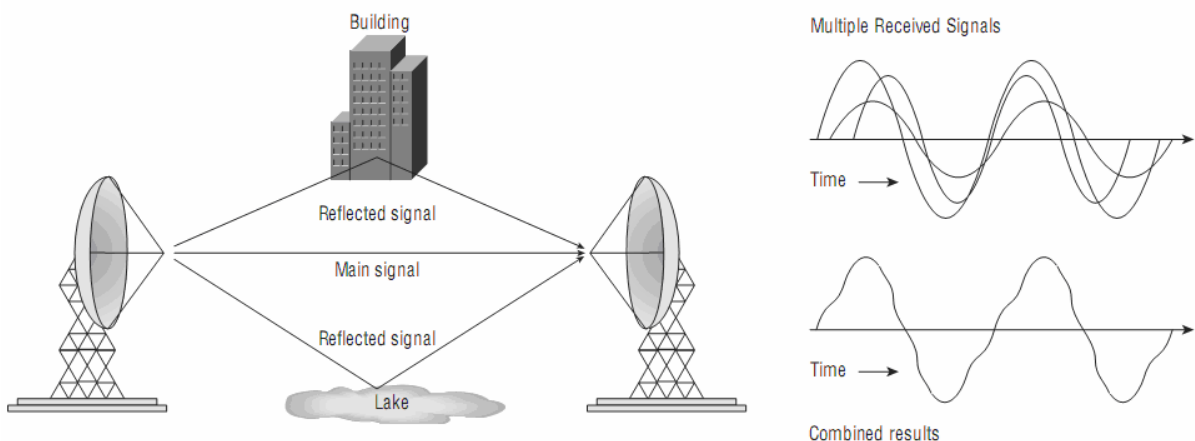
Vzdialenosť [km]	Útlm [dB]	
	2.4 GHz	5 GHz
1	100.4	106.4
2	106.4	112.4
3	112.4	118.5
4	118.5	124.5

Tabuľka 1.1.2: Útlm RF signálu so zvyšujúcou sa vzdialenosťou

1.1.8 Viaccestnosť vlnenia (Wave Multipath)

Viaccestnosť je fenomén, ktorý sa neodmysliteľne viaže s problematikou šírenia sa **RF** signálu. Po vyžiarení signálu anténou sa signál šíri prostredím kde sa okrem primárneho signálu vytvárajú aj jeho frakcie zapríčinené odrazom, lomom a inými činiteľmi. V konečnom dôsledku to znamená, že k prijímaču sa okrem primárneho signálu dostane aj iný odrazený signál s menšou amplitúdou a určitým oneskorením v rádoch milisekúnd. Tento jav spôsobuje značné narušenie signálu nakoľko dochádza k interferencii vlnenia na strane prijímača. Takýto jav signál modifikuje a môže spôsobiť až jeho degradáciu na úroveň, že prijímač takýto signál nedokáže spracovať.

Na strane prijímača dochádza k detekcii poškodenia dát. Ak boli dáta poškodené následkom interferenčných vplyvov prijímač to detekuje pomocou CRC kódu a príslušne reaguje príkazom ACK, definovaným v štandarde 802.11, ktorý danými technikami pre detekciu a odhaľovanie porúch disponuje. V prípade, že prijímač detekuje nekonzistentný CRC sumár, nepotvrdí prijaté dáta signálom ACK a vysielačia strana sa pokúsi o opätovný prenos. Celý tento proces má veľký vplyv na priepustnosť WIFI, nakoľko sa so zvyšujúcou chybovosťou logicky znižuje efektívna priepustnosť, pretože dochádza k redundancii dát spôsobenej ich chybovým prenosom.



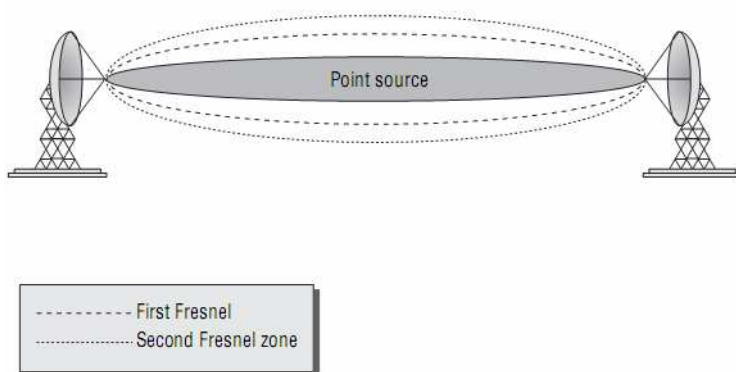
Obrázok 1.1.6: Viaccestnosť a interferencia RF signálu počas prenosovej cesty

1.2 Prvá Fresnelová zóna a analýza jej vplyvu na praktický dosah a priepustnosť

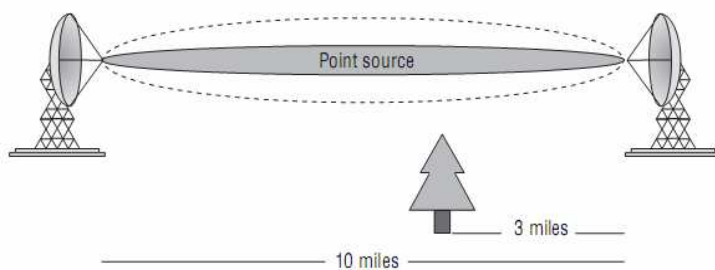
Prvá Fresnelová zóna je jedným z javov, ktorému môžeme pripisovať veľkú časť názorov na to, že šírenie signálu v pásme 2.4GHz resp. 5GHz je „ducharina“. Napriek tomu pojem Fresnelovej zóny je medzi ľuďmi zaoberajúcimi sa problematikou rádio telekomunikácie známy a akceptovaný. Práve

zásahom do Fresnelovej zóny sa ľahko môžeme dočkať toho že, teoreticky priamo viditeľný spoj na teoreticky bezproblémovú vzdialenosť nebude prakticky použiteľný.

Elektromagnetická vlna sa síce šíri po priamke, ale pretože je to vlnenie, podlieha ďalším fyzikálnym zákonom (Huygensov princíp), preto je prevažná časť energie vlny nesená v priestore okolo priamky, spájajúcej vysielajúci a prijímajúci bod. Tento priestor má tvar pomyselného elipsoidu, s najväčším priemerom uprostred trasy. Táto elipsoida, kde sa prenáša cca 90% energie, sa nazýva Prvá Fresnelová zóna.



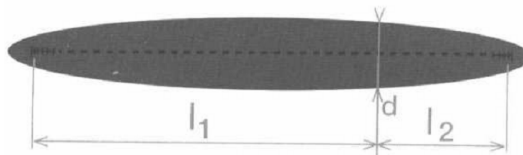
Obrázok: 1.2.1: Fresnelová zóna



Obrázok 1.2.2: Ukážka možnej čiastočnej blokácie Fresnelovej zóny

Na obrázku vidíme, ako Fresnelová zóna vyzerá a ako sa prejavuje vplyv stromov, ktoré do nej zasahujú. Napriek tomu, že spoj je na prvý pohľad v priamej viditeľnosti, vplyvom tienenia vo Fresnelovej zóne bude potrebné použiť kvalitnejšie antény a káble, alebo antény posunúť vyššie pre dosiahnutie požadovanej kvality služieb.

Pre výpočet polomeru Prvej Fresnelovej zóny môžeme použiť nasledujúci vzorec.



Obrázok 1.2.3: Výpočet polomeru Fresnelovej zóny

$$d = \sqrt{\lambda \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2}} [m, m, m, m]$$

λ – vlnová dĺžka (pre pásmo 2.4GHz 12.48cm)

Pre rýchly odhad porušenia Fresnelovej zóny môžeme použiť nasledujúcu tabuľku.

Vzdialenosť medzi anténami	2.4GHz	
	Priemer Fresnelovej zóny	Straty vo voľnom priestore [dB]
300 m	3.4 m	90
1.6 km	6.4 m	104
8 km	13 m	118
16 km	18 m	124
32 km	27 m	130
64 km	36 m	136

Tabuľka 1.2.4: Referenčná tabuľka pre odhad porušenia Fresnelovej zóny

1.3 Diverzita antén

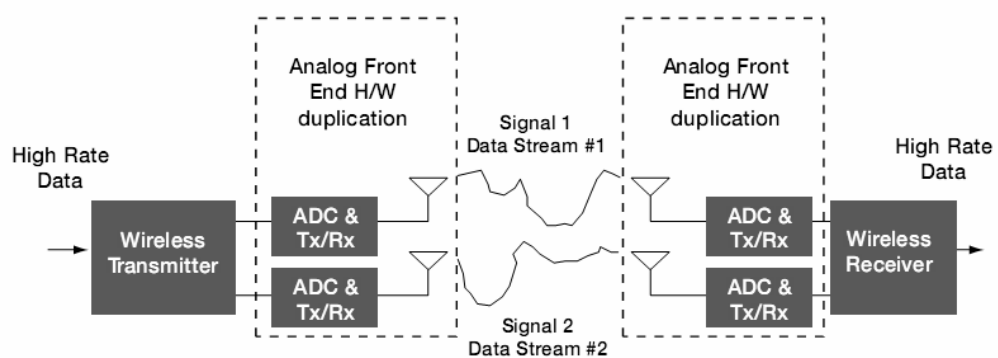
Väčšina prístupových bodov je vybavená dvoma anténami, alebo pripojenie druhej antény umožňuje. V takomto prípade býva prístupový bod vybavený funkciou “*antenna diversity*”, diverzity antén. Ide o možnosť spolupráce oboch antén a to tak, že prístupový bod pre príjem používa tu anténu, na ktorej prijíma menej interferencií spôsobených odrazom signálu. Pokiaľ prístupový bod funguje v režime diverzity antén, používa obe antény a prepína medzi nimi podľa toho, kde má lepší signál pre príjem.

To je dôvod prečo nie je dobré na prístupový bod pripojiť dve sektorové antény na dva konektory bodu a domnievať sa, že takto sme zlepšili pokrytie. Prístupový bod totiž použije iba jednu anténu a to tú, na ktorej nájde lepší signál. Druhý sektor by zostal nepokrytý. V tomto prípade by sme museli použiť anténny zlučovač, ten ale zase generuje útlm signálu okolo 1-1.5 dB, takže musíme pozorne zvážiť, či sa jeho použitie oplatí.

1.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

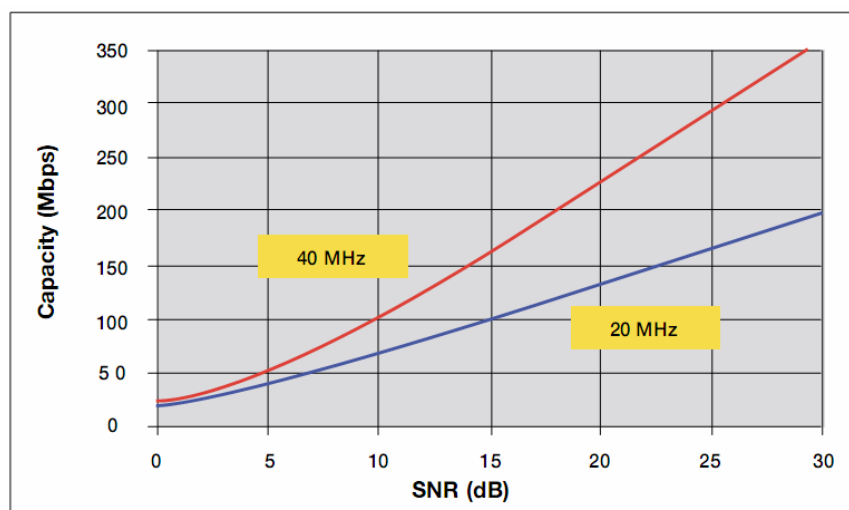
Ide o abstraktný matematický model pre multi-anténne komunikačné systémy. V priebehu niekoľkých rokov sa výraznejšie používa **MIMO** technológia v oblasti bezdrôtovej komunikácie, pre významný nárast dátovej priepustnosti a dosahu pri zachovaní šírky pásma a celkového výdaja vyžarovanej energie. Obecne **MIMO** technológia zefektívňuje spektrálne využitie bezdrôtových systémov.

MIMO bezdrôtová komunikácia využíva fenoménu viaccestného šírenia sa vlnenia k zvýšeniu priepustnosti a dosahu a k zníženiu počtu prenosových bitových chýb, namiesto snahy o elimináciu efektu viaccestného šírenia, o ktorú sa snažia tradičné Single-Input Single-Output (SISO) komunikačné systémy.



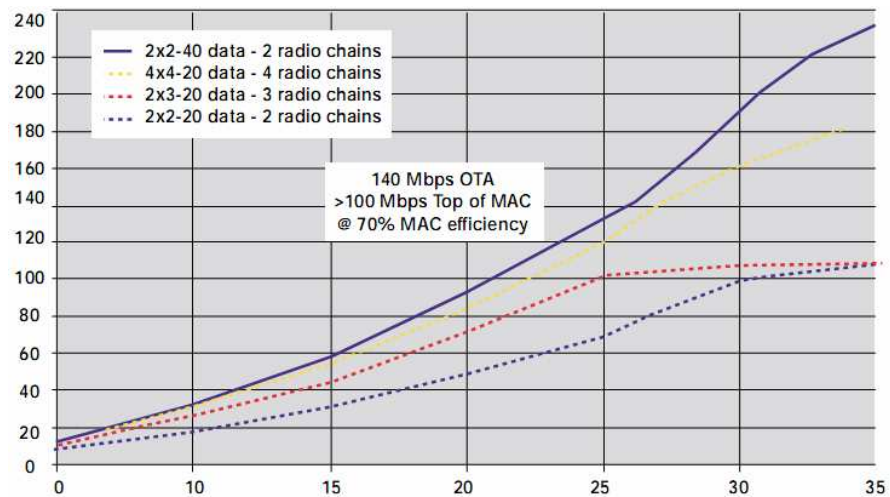
Obrázok 1.4.1: Princíp fungovania MIMO

Kľúčovou záležitosťou pre dosiahnutie vyššej fyzickej priepustnosti je Shannonov teorém pre kapacitu prenosového média $C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$, kde kapacitný limit C je priamoúmerný šírke prenosového pásma B . Túto techniku širšieho pásma na kanál využíva práve **MIMO**. Na nasledujúcom grafe je ukážka ako sa prejaví zväčšenie šírky prenosového kanálu, na nožnej výslednej priepustnosti danej technológie.



Obrázok 1.4.2: Porovnanie kapacitných limitov (Zdroj: Intel labs)

Nasledujúce výsledky ukazujú výkon systému založenom na 2-anténovom vysielači a 2-anténovom prijímači. Výsledok ukazuje, že ani pri použití multi-anténneho systému založenom na 20MHz šírke kanálu, nedosiahneme ani zďaleka taký výkon ako pri použití dokopy 2 prijímacích a 2 vysielačích antén spolu s využitím šírky kanálu 40MHz, ktorý sa pohybuje okolo 200Mb/s teda 100Mb/s na jednu fyzickú vrstvu.



Obrázok 1.4.3: "Over-the-air" priepustnosť na rôznych kanáloch (Zdroj: Intel labs)

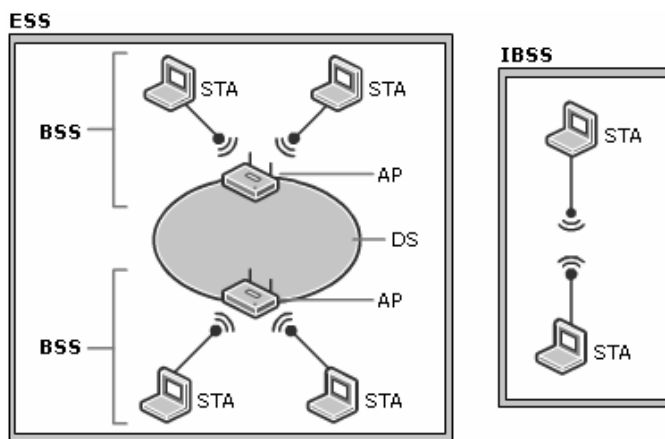
2 Topológie a technológie WiFi sietí a analýza parametrov ovplyvňujúcich ich celkovú priepustnosť

Bezdrôtové siete **WLAN** ponúkajú z princípu podobné služby a flexibilitu, ako siete drôtové. Z hľadiska funkčnosti a výsledku sú, odhliadneme od dosahovaných prenosových rýchlostí, ekvivalentné sieťam drôtovým, napríklad ethernetu. Zásadne sa tieto siete samozrejme líšia v princípe akým fungujú. Ich zásadným rozdielom je fyzické prenosové médium, ktoré som popísal v predchádzajúcej kapitole.

Bezdrôtové siete existujú od roku 1992. Vtedajšie zariadenia pracovali na prevádzkových rýchlostiach okolo 1Mbps. V tejto dobe chýbal akýkoľvek štandard, takže sa museli používať sieťové prvky rovnakých výrobcov. Táto situácia sa ale zmenila s príchodom štandardu IEEE 802.11, ktorým sú moderné WLAN siete definované a štandardizované.

2.1 Architektúra 802.11

Každá 802.11 sieť obsahuje nasledujúce logické a fyzické komponenty:



Obrázok 2.1: Architektúra sietí 802.11

- Distribučný systém (DS)
- Prístupový bod (AP)
- Bezdrôtové médium
- Stanica (STA)
- Basic service set (BSS)

- Independent basic service set (IBSS)
- Extended service set (ESS)

Distribučný systém – v okamihu, keď má viacero prístupových bodov tvoriť rozsiahlejšiu sieť, musia spolu komunikovať a predávať si informácie o pohybe mobilných staníc. Distribučný systém je logická komponenta štandardu 802.11, používaná k presmerovaniu dátového toku na stanicu skutočného určenia, podľa jej aktuálnej polohy v sieti. Samozrejme štandard 802.11 zatiaľ nešpecifikuje žiadnu konkrétnu technológiu distribučného systému, takže komerčné produkty riešia tento problém po svojom, a preto väčšinou nie je možné ich pri stavbe siete kombinovať. Vo väčšine komerčných sietí je distribučný systém riešený ako kombinácia sieťového mostu a distribučného média, ktorým je chrbtová sieť používaná medzi prístupovými bodmi. Takmer vždy túto sieť tvorí Ethernet.

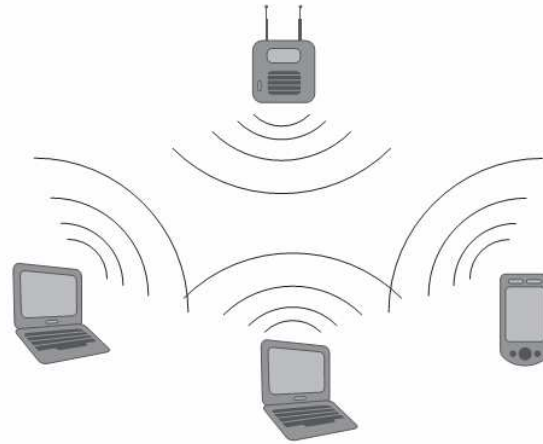
Prístupový bod (Access point) – predstavuje práve spomínané premostenie medzi káblovou a bezdrôtovou sieťou. Prístupový bod poskytuje aj celú radu ďalších funkcií.

Bezdrôtové médium – je pre siete **WLAN** tým, čo predstavuje kabeľáž pre metalické siete – bezdrôtové médium je nosičom dát pri presune od stanice k stanici. Bezdrôtovým médium 802.11 rozumieme dve rádiové frekvencie (2,4 GHz a 5 GHz) a málo využívanú infračervenú fyzickú vrstvu.

Stanica – bezdrôtové siete sa stavajú preto, aby bolo možné prenášať dáta medzi jednotlivými stanicami. Stanica môže byť obecné akékoľvek zariadenie (PC, PDA, notebook). Nikde nie je povedané, že stanica v bezdrôtovej sieti musí byť mobilná a je mnoho sietí WLAN, ktoré prepojujú počítače prakticky neprenášané z miesta, napríklad z dôvodu nemožnosti inštalácie káblového Ethernetu (múzeá, galérie, a pod.) alebo z dôvodu vytvorenia dočasných sietí atď.

2.2 Typy sietí

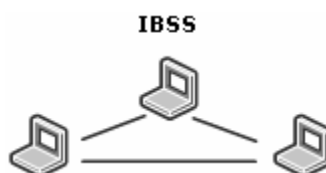
Základný stavebný blok 802.11 siete označujeme ako **Basic Service Set (BSS)**, teda základný súbor služieb. Ide o skupinu staníc, ktoré spolu komunikujú. Táto spoločná komunikácia prebieha na území vymedzenom prienikom dosahu týchto staníc a takéto územie nazývame **Basic Service Area (BSA)**. Pokiaľ sa stanice nachádzajú v rámci BSA, môžu komunikovať s ďalšími členmi BSS. Rozpoznávame dva hlavné typy sietí podľa toho ako komunikácia medzi členmi BSS prebieha.



Obrázok 2.2.1: Base Service Set / Basic Service Area

2.2.1 Ad-Hoc siete

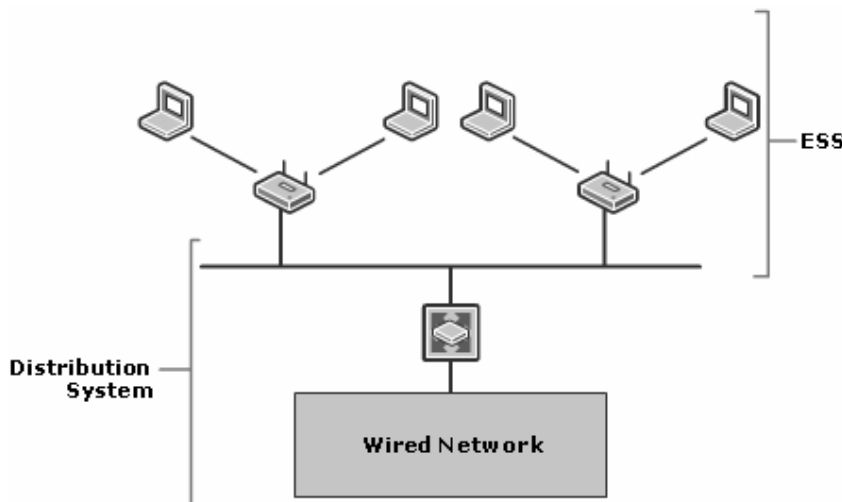
Siete Ad-Hoc sa niekedy rovnako nazývajú nezávislé siete IBSS (Independent Basic Service Set) a to z toho dôvodu, že jednotlivé stanice v takejto sieti spolu komunikujú priamo podľa potreby a teda nezávisle na nejakom centrálnom prvku. Z toho vyplýva, že pokiaľ chcú spolu stanice komunikovať musia byť vo vzájomnom rádiovom dosahu. Pre menšie siete s niekoľkými stanicami vzdialenými pár metrov od seba je to vhodná komunikačná schéma ale v sieti s viacerou počítačmi alebo v sieťach v členitejších a rozsiahlejších priestoroch kde princíp vzájomného rádiového dosahu nemôže byť zaistený je táto schéma nepoužiteľná.



Obrázok 2.2.2: Ad-Hoc sieť

2.2.2 Infraštruktúre siete

Infraštruktúre siete sa takto nazývajú preto, že majú svoju presne vymedzenú infraštruktúru, resp. rolu spojovacieho článku tu prijíma sieťová komponenta nazvaná prístupový bod (access point, AP). Prístupový bod je schopný komunikovať s viac než jednou stanicou, a preto môže prepojiť aj bezdrôtové stanice, ktoré sa nachádzajú v jeho dosahu nezávisle na tom, či tieto stanice chcú používať most do káblového ethernetu.



Obrázok 2.2.3: Infraštruktúrna sieť

Pokiaľ teda chce jedna bezdrôtová stanica komunikovať s inou stanicou v infraštruktúrnej sieti, musia dáta putovať dvoma skokmi – najprv na prístupový bod, a potom z neho na druhú stanicu. V infraštruktúrnej sieti teda môže fungovať každá stanica, ktorá je schopná komunikovať s prístupovým bodom a je v jeho oblasti pokrytia. Nakoľko sa teda zdá, že infraštruktúrna sieť má väčšie nároky na spojovaciu kapacitu, musíme si uvedomiť, že ad-hoc komunikácia predstavuje väčšie nároky na klientskú stanicu, ktorá musí udržiavať spojenie s každou stanicou, s ktorou práve komunikuje. V infraštruktúrnej sieti stačí udržiavať jedno spojenie, a navyše prístupový bod rozpozná, či stanica prešla do úsporného režimu a môže pre ňu ukladať dáta a vyslať ich až sa z úsporného režimu prebudí. To samozrejme šetrí batérie v prípade mobilnej komunikácie.

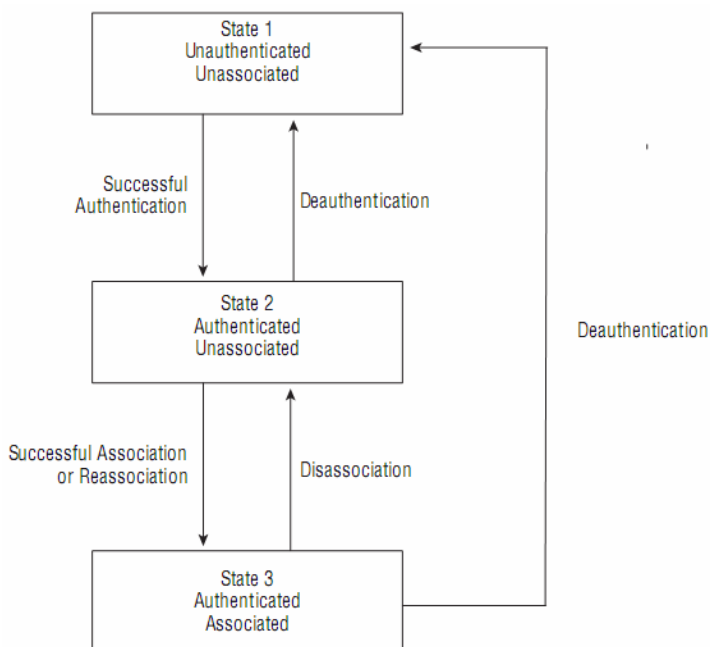
Sekundárnymi efektami, kvôli ktorým použité infraštruktúrnych sietí prevažuje, je samozrejme viac. Infraštruktúrne siete ponúkajú centrálnu správu, čo predstavuje nespornú výhodu oproti ad-hoc sieťam. U rozsiahlejších sietí kde je vyžadovaná smerová anténa by dokonca realizácia ad-hoc siete bola zložitá. Ad-hoc siete by sa mali používať preto, k čomu ich predurčuje ich meno: pre jednorazové, pre konkrétny účel vytvorené krátkodobé siete.

2.3 Asociácia s prístupovým bodom

V infraštruktúrnej sieti sa musí stanica asociovať s prístupovým bodom. Bez toho je vytvorenie siete nemožné. Asociačný proces vždy inicializuje mobilná stanica a prístupový bod pripojenie akceptuje alebo zamietne. Pre stanicu je asociácia jedinečná – nemôže byť asociovaná viacerými prístupovými bodmi. Riešením pripojenia na viacerých prístupových bodov je nákup ďalších WLAN klientov.

Na strane prístupového bodu toto obmedzenie nie je a štandard nepredpisuje koľko staníc môže pristupovať na prístupový bod. Nie je to ani dôležité, pretože zdieľaná šírka pásma by efektívnu prevádzku viacerých staníc na jednom prístupovom bode neumožnila. Väčšina prístupových bodov

v bežnej cenovej kategórii vie zvládnuť teoreticky 253 naraz pripojených staníc. Pokiaľ by sa pripojili všetky naraz a prenášali by dáta, bola by priemerná rýchlosť všetkých staníc niekde na úrovni 40Kbps a to v skutku nie je mnoho. Väčšina prístupových bodov je obmedzená na desiatky staníc z dôvodu výkonu, potrebného napríklad pre šifrovanie.



Obrázok 2.3.1: Postup asociácie a autentifikácie stanice s AP

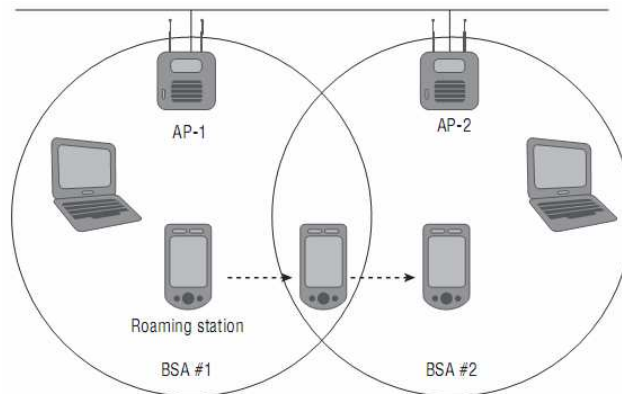
Dôležitým poznatkom z hore uvedených informácií je fakt, že prístupové body eliminujú prenos dát medzi jednotlivými stanicami. Opäť je to ekvivalentné k ethernetovému prostrediu, kde prenos rozsiahlych dát vedie k zníženiu celkovej priepustnosti siete. Moderné ethernetové siete toto riešia pomocou prepínačov s vysokými prenosovými kapacitami. Prístupový bod funguje iba ako medzi skok medzi dvoma stanicami a to je zásadný problém pre ostatných užívateľov, pretože pri prenose väčšieho množstva dát medzi dvoma stanicami zaberie prenos väčšinu kapacity celého zdieľaného pásma. Väčšina prístupových bodov práve tento neduh nerieši. Možným riešením je podpora štandardu 802.11e, ktorý popisuje použité **QoS (Quality of Service)** vo WIFI sieťach.

2.4 Rozšírená oblasť služieb ESA (Extended service area)

BSS je vhodná pre vytvorenie malej siete v kancelárii alebo v domácnosti, ale nie je vhodná pre pokrytie väčších priestorov. Štandard 802.11 umožňuje vytvorenie väčších sietí prepojením **BSS** do rozšírených súborov služieb **ESS**.

ESS tvorí prepojenie jednotlivých **BSS** cez chrbtovú sieť. 802.11 nepredpisuje, akého typu musí byť, len upresňuje aké služby musí poskytovať. Stanice v **ESS** môžu medzi sebou komunikovať, i keď sú v rozdielnych **BSA** a môžu sa pohybovať i medzi jednotlivými **BSS**. Dôležité je pri vytvorení **ESS** dávať pozor na to, že chrbtová sieť musí byť v jednej doménovej vrstve. Rovnako ako ethernet alebo **VLAN**. Je teda nutné prístupové body pripojiť do rovnakého segmentu siete.

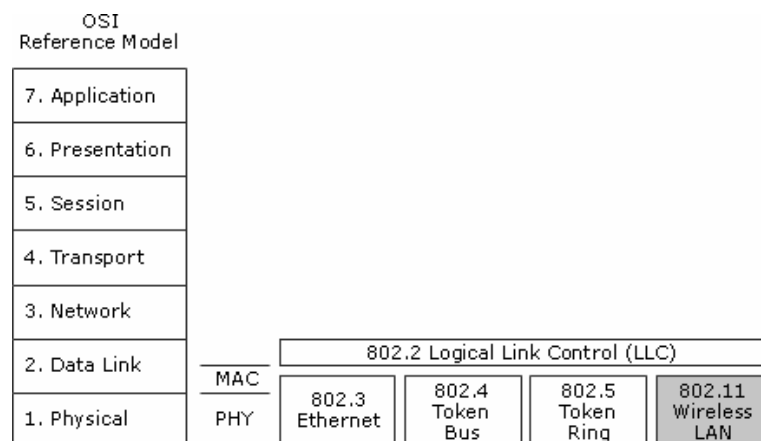
Užívateľ je schopný pomocou **ESS** prechádzať so svojim počítačom rozsiahlou bezdrôtovou sieťou, bez toho aby musel meniť svoju konfiguráciu a môže v ktorejkoľvek časti siete využívať služby siete bez zmien a obmedzení. U **ESS** dochádza k prechodu z jednej **BSA** do druhej. Prechod prebieha tak, že stanica stratí signál jednej **BSS** a pripojí sa k druhej **BSS**.



Obrázok 2.4.1: Rozšírená oblasť služieb (ESS), hladký roaming

2.5 IEEE 802.11 ISO/OSI – Model pre počítače komunikujúce v sieti

Štandard IEEE 802.11 definuje pre komunikáciu v sieti nasledujúci komunikačný ISO/OSI model.



Obrázok 2.5.1: IEEE 802.11 ISO/OSI model

Štandard IEEE 802.11 definuje ako vlastné iba dve najnižšie vrstvy ISO/OSI modelu.

Linková vrstva, respektíve jej pod vrstva **MAC (Media Acces Control sublayer)** umožňuje ovládanie prístupu k médiu. Je to súbor pravidiel, ktoré určujú ako pristupovať k prostriedkom pre prenos dát. Detaily o prenose dát sú ponechané na vrstve fyzickej. Vyššia pod vrstva **LLC (Link Layer Control)**, zaisťuje riadenie logického spoja.

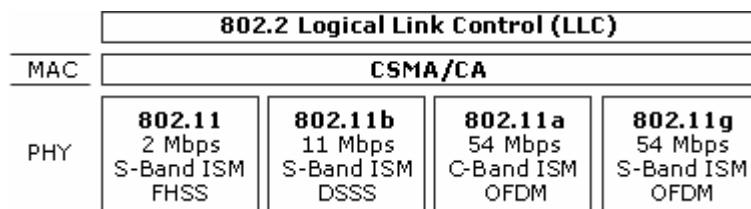
Fyzická vrstva (PHY) je fyzickým rozhraním medzi zariadeniami v sieti. Keďže hovoríme o bezdrôtových sieťach jedná sa teda o bezdrôtovú vrstvu. Zaisťuje spôsob prenosu rádiovým signálom.

V prvom vydaní štandardu IEEE 802.11 v roku 1997 boli štandardizované tri fyzické vrstvy:

- Frequency-hopping (FH) spread-spectrum radio PHY
- Direct-sequence (DS) spread-spectrum radio PHY
- Infračervené svetlo (IR) PHY

V roku 1999 boli tieto vrstvy pri revízii štandardu doplnené o ďalšie dve vrstvy. V roku 2003 potom bola vrstva OFDM použitá aj pre ďalšiu revíziu štandardu 802.11g

- 802.11a a 802.11g: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) PHY
- 802.11b: High-Rate Direct Sequence (HR/DS alebo HR/DSSS) PHY



Obrázok 2.5.2: Prehľad fyzických vrstiev IEEE 802.11

V roku 2007 bol schválený štandard 802.11n, ktorý používa odlišnú fyzickú vrstvu založenú na technológii **Multiple In Multiple Out (MIMO)**. Táto technológia využíva viacero vysielacích a prijímacích antén. Technológii **MIMO** rovnako ako štandardu 802.11n venujem samostatnú kapitolu, nakoľko predstavuje zmenu oproti doposiaľ používaným technológiám (802.11a/b/g). Štandard sľubuje nárast maximálnej rýchlosti až na hranicu 540Mbit/s. Napriek rannému štádiu tohto štandardu som sa mu rozhodol venovať samostatnú kapitolu, nakoľko táto technológiu by mohla predstavovať zlom v použití WIFI sietí, pretože ich súčasný nedostatok predstavuje prevažne nízka priepustnosť súčasných technológií 802.11a/b/g.

V nasledujúcej tabuľke uvádzam prehľad súčasných štandardov 802.11 a ich fyzických vrstiev.

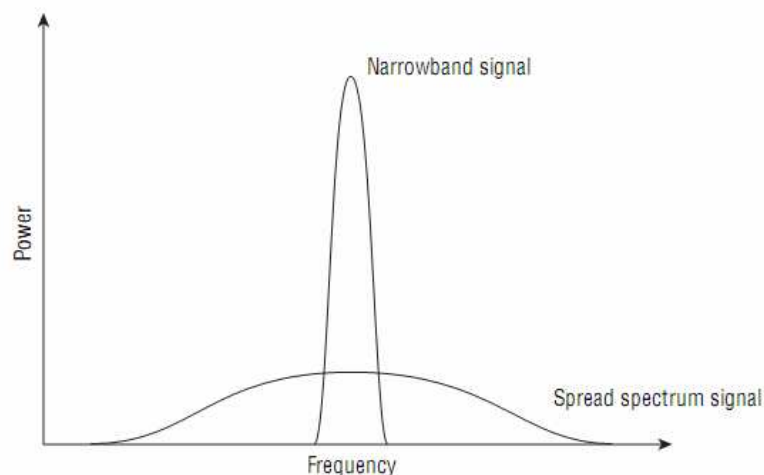
Štandard	Rok Vydania	Pásmo [GHz]	Maximálna rýchlosť [Mbit/s]	Fyzická vrstva
IEEE 802.11	1997	5	54	OFDM
IEEE 802.11a	1999	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n	2007	2,4 alebo 5	200+	MIMO

Tabuľka 2.5.1: Prehľad štandardov 802.11 a ich fyzických vrstiev

2.6 Fyzická vrstva 802.11

2.6.1 Rozšírené spektrum (Spread Spektrum)

Technológia rozšíreného spektra (**SS – spread spectrum**) sa používa pre dosiahnutie rýchlych dátových prenosov v pásme **ISM**. Tradičné rádiové technológie sa sústredia vtesnať čo najväčšieho počtu signálov do relatívne úzkeho pásma. Rozšírené spektrum oproti tomu používa matematické funkcie pre rozptýlenie sily signálu do širokého frekvenčného bloku. Prijímač jednoducho prevedie opačnú operáciu a zloží takto rozprestretý signál do klasického úzko pásmového signálu s ktorým sa potom ďalej pracuje.



Obrázok 2.6.1: Úzke a rozšírené spektrum

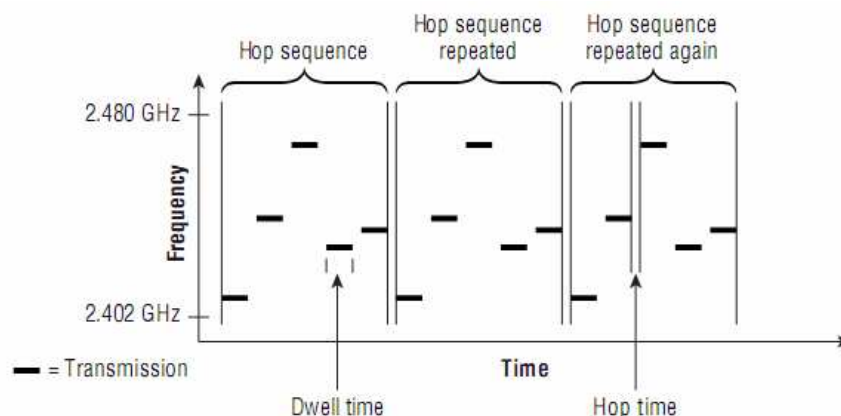
Používanie rozšíreného spektra je požiadavkou pre prevádzku nelicencovaných zariadení a vyplýva z nariadení regulátora, v pásme **ISM** teda nemôžeme používať iný typ prenosu.

Používanie rozšíreného spektra samozrejme neprináša žiadnu zvláštnu odolnosť proti rušeniu - systémy s rozšíreným spektrom môžu byť rušené ďalšími podobnými systémami ale aj interferenciami, a taktiež prevádzkou klasických vysielateľov pracujúcich s úzkym rádiovým pásmom. Aby sa teda aspoň čiastočne predišlo problémom s rušením, predpisujú regulačné orgány obmedzenia týkajúce sa maximálneho vyžarovacieho výkonu.

2.6.2 Typy rozšíreného spektra

2.6.2.1 Frekvenčné preskoky (Frequency hopping – FH, FHSS)

Vysielač skáče v pseudonáhodnom poradí po jednotlivých frekvenčných pásmach a na každom vysielá krátky dátový prúd. Dostupná frekvenčná šírka 83,5MHz je rozdelená do 79 (resp. 75) kanálov o šírke 1MHz. Ostatných cca 4,5MHz slúži ako “ochranné pásmo” proti interferenciám zo susedného frekvenčného pásma. Rádiový signál potom skáče v pseudonáhodnom poradí po týchto kanáloch, pričom každých 30 sekúnd vystrieda aspoň 75 kanálov a na každom vysielá maximálne 400 milisekúnd. Podstatnou výhodou frekvenčných preskokov je väčší počet systémov pracujúcich naraz v pásme 2.4 GHz – teoreticky je to okolo 26, prakticky okolo pätnásť prístupových bodov.



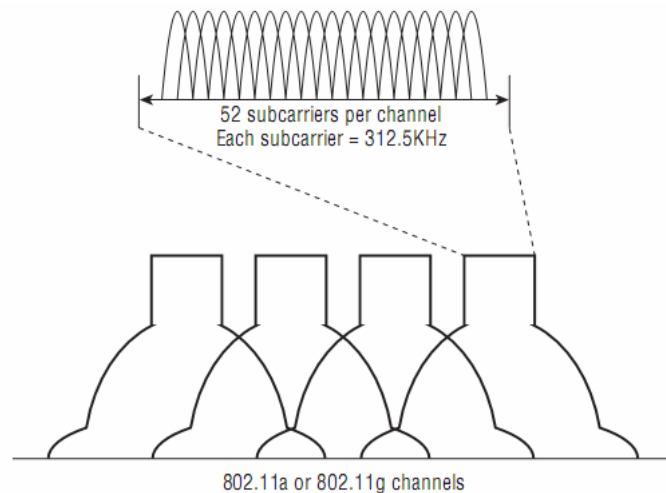
Obrázok 2.6.2: Frequency hopping – FH, FHSS

2.6.2.2 Priama Sekvencia (Direct Sequence – DS, DSSS)

Systémy používajúce priamu sekvenciu rozprestrú po 22 MHz širokom frekvenčnom pásme vysielajú informáciu za použitia matematického kódovania. Celkom sú k dispozícii tri takéto široké pásma. Prijímač inverzným spôsobom signál dekóduje. Pôvodný štandard 802.11 definuje fyzickú vrstvu DS o rýchlosti 2Mb/s, štandard 802.11b potom prináša priamu sekvenciu o vysokej rýchlosti (HR/DSSS/PHY) až do 11Mb/s.

2.6.2.3 Ortogonálny frekvenčný multiplex (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex)

Systém s ortogonálnym frekvenčným multiplexom rozdelí prenosové pásmo na veľké množstvo úzkych kanálov, dáta sa v každom kanále prenášajú relatívne pomaly a signál je tak omnoho robustnejší. Vo výsledku je ale rýchlosť prenosu dát, súčtom všetkých kanálov, až 54Mb/s. OFDM bola prijatá štandardom IEEE 802.11a, teda pre pásmo **ISM 5GHz**, neskôr v roku 2003 bola taktiež adaptovaná pre pásmo **ISM 2,4 GHz** ako IEEE 802.11g.



Obrázok: 2.6.3: Orthogonal Frequency Division Multiplex

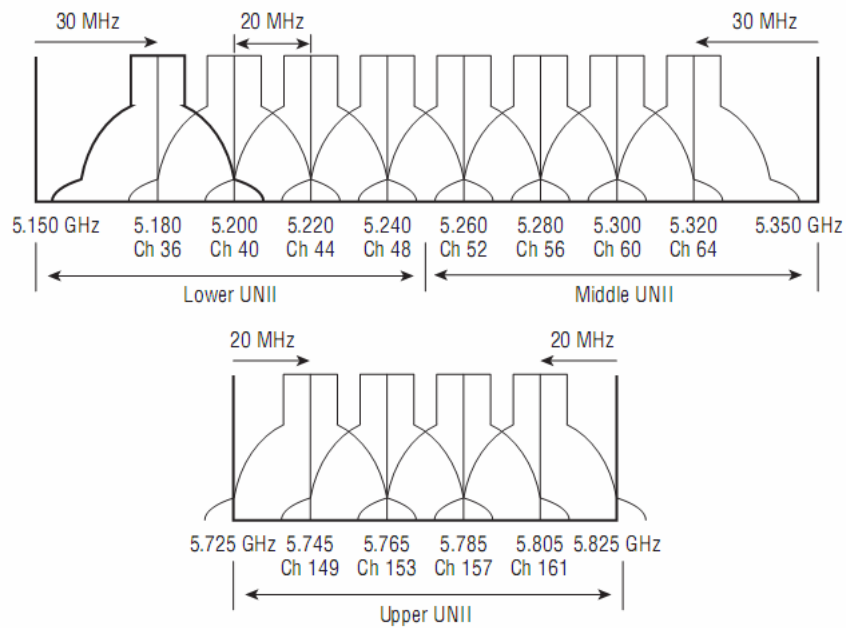
2.6.3 Dostupné frekvencie a kanály rádiového spektra

Zatiaľ čo pre štandard 802.11b a 802.11g je vyhradené pásmo 2,4GHz, pre štandard 802.11 sa pásmo súhrne označuje ako pásmo 5GHz. Toto vyhradené pásmo je podstatne väčšie než **ISM** pásmo 2,4GHz, bohužiaľ ale doposiaľ nedošlo ku zhode medzi americkým regulátorom FCC a európskym regulačným orgánom EU o spoločnom postupe pri uvoľňovaní a využívaní pásma 5Ghz. V poslednej dobe došlo k výrazným zmenám o prístupe a použití pásma vo väčšine krajín EU zahrňujúcich aj Slovensko a Českú republiku.

2.6.4 Dostupné rádiové frekvencie a kanály štandardu 802.11a

Pre štandard 802.11a sú v súčasnej dobe povolené nasledujúce rádiové frekvencie.

- Vnútorne priestory 5,18 GHz – 5,32GHz
- Vonkajšie priestory 5,50GHz – 5,7GHz



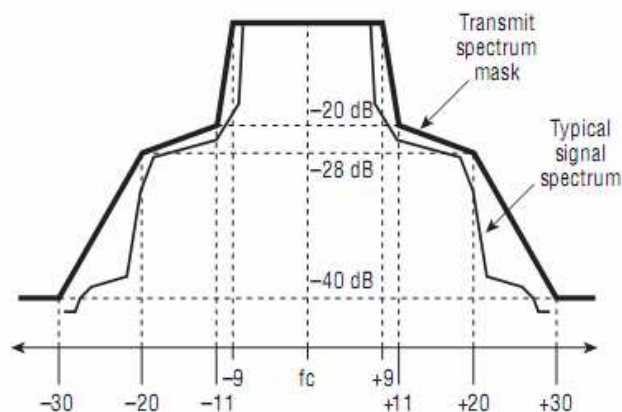
The three commonly used UNII bands are each 100 MHz wide:

UNII-1	Lower	5.15–5.25 GHz
UNII-1	Lower	5.15–5.25 GHz
UNII-3	Upper	5.725–5.825 GHz

Obrázok 2.6.4: Kanálové spektrum štandardu 802.11a

Kanály dostupné pre pásmo vyhradené pre Českú a Slovenskú republiku sú nasledujúce:

- Vnútorne priestory 36, 40, 44, 48, 56, 60, 64
- Vonkajšie priestory 100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136, 140



Obrázok 2.6.5: Vzhľad kanálového spektra na jednom kanále

2.6.5 Dostupné rádiové frekvencie a kanály štandardu

802.11b/g

V prípade štandardu 802.11b a 802.11g ide o nasledujúce frekvencie. Rozdelenie do kanálov je platné pre častejšie používané spektrum do 79 (75) kanálov. Označením frekvencie sa rozumie stred frekvencie.

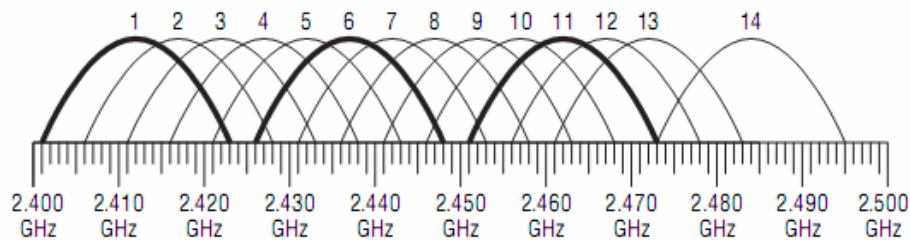
Nasledujúca tabuľka názorne ukazuje v ktorej krajine, ktoré kanály môžeme použiť – pásmo 2.4GHz nie je celosvetovo všade voľne dostupné.

Channel ID	Center Frequency (GHz)	U.S. (FCC)	Canada (IC)	Europe (ETSI)	Japan (MKK)	Spain	France
1	2.412	X	X	X	X		
2	2.417	X	X	X	X		
3	2.422	X	X	X	X		
4	2.427	X	X	X	X		
5	2.432	X	X	X	X		
6	2.437	X	X	X	X		
7	2.442	X	X	X	X		
8	2.447	X	X	X	X		
9	2.452	X	X	X	X		
10	2.457	X	X	X	X	X	X
11	2.462	X	X	X	X	X	X
12	2.467			X	X		X
13	2.472			X	X		X
14	2.484						

X = supported channel

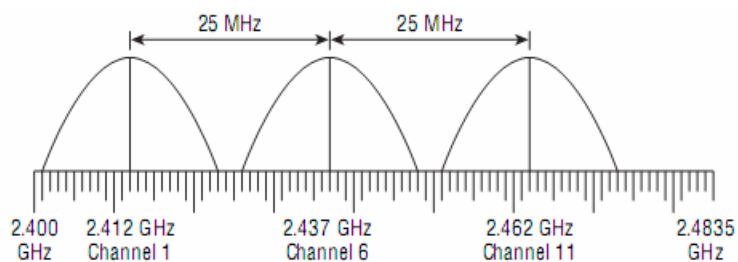
Tabuľka 2.6.7: Prehľad dostupnosti frekvencií a kanálov v jednotlivých krajinách

Česká a Slovenská republika (pridružuje sa konvencie ETSI) má k dispozícii najväčší počet povolených kanálov. Bohužiaľ to neznamená, že je k dispozícii trinásť plnohodnotných frekvencií, nakoľko technológia rozšíreného spektra znamená vysielanie do frekvenčného rozsahu 22MHz. Odstup spektra je iba 5 MHz, teda vysielanie na jednom kanále prekrýva vysielanie na susedných štyroch kanáloch. Pokiaľ chceme prevádzkovať 2 prístupové body tak, aby sa ich signál neprekrýval a nerušil musíme ich nastaviť tak, aby pracovali minimálne 5 kanálov od seba.



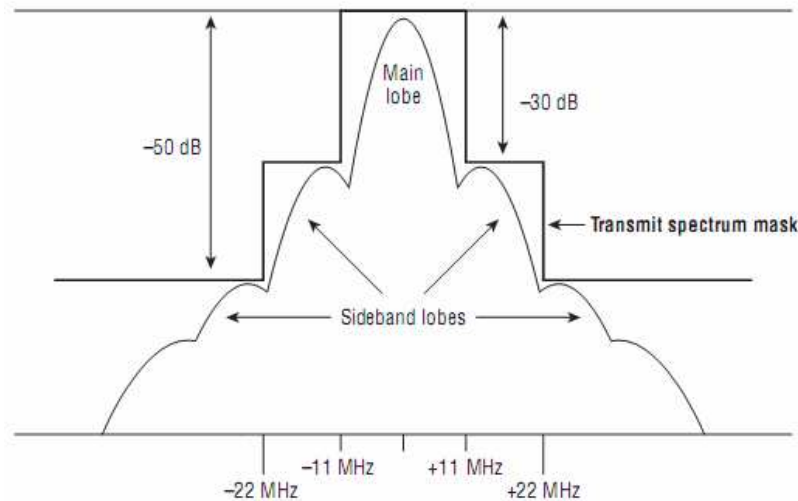
Obrázok 2.6.8: Diagram kanálov IEEE 802.11 b/g

Minimálny odstup medzi centrálnymi frekvenciami je 25MHz, teda toľko aby sa prevádzka do systému rozšíreného spektra vyžadujúca 22MHz vošla. Ako ukazuje nasledujúci obrázok je jasné, že v skutočnosti máme tri samostatné a vzájomne sa nerušiace frekvencie.



Obrázok 2.6.9: Minimálny odstup kanálov medzi stredmi frekvencií.

Spodný detail na nasledujúcom obrázku ukazuje ako v skutočnosti vyzerá vysielanie na jednom kanále. Energia sa pri vysielaní rozprestiera tak, že pri vzdialenosti 11MHz od centrálnej frekvencie klesne o 30dB (pokles oproti centrálnej frekvencii), teda na tisícinu. A pri vzdialenosti 22MHz od centrálnej frekvencie klesne o 50dB, teda na stotisícinu. To je ďalšia z techník akou sa štandard snaží predchádzať interferenciám a rušeniu.



Obrázok 2.6.10: Vzhľad kanálového spektra na jednom kanále

2.6.6 Podvrstvy PLCP a PMD

Fyzická vrstva je rozdelená do dvoch pod vrstiev

- **PLCP – Physical Layer Convergence Procedure** - Protokol konverencie fyzickej vrstvy.
- **PMD – Physical Medium Dependent** - Závislá od fyzického média.

PLCP – predstavuje spojenie medzi prenášanými rámcami MAC podvrstvy a prenosovým médium. Podvrstva PLCP pripája k prenášaným rámcom hlavičky v závislosti na tom, aká bude použitá metóda modulácie. Okrem tohto poskytuje funkciu CCA, teda Clear Channel Assessment, ako odozvu pre vrstvu **MAC**, že prenosové médium je k dispozícii. Vďaka funkcii CCA je možné pre štandard 802.11 používať rôzne prenosové média. V súčasnej dobe sa používa rádiové spektrum a infračervené svetlo.

PMD – sa stará o kódovanie bezdrôtového prenosu, teda o prenos každého jednotlivého bitu z podvrstvy PLCP do éteru pomocou antény.

2.6.7 Štruktúra PLCP podvrstvy

Štandard 802.11 definuje dve prípustné štruktúry podvrstvy **PLCP**: dlhú a krátku preamble. Všetky systémy spĺňajúce štandard musia podporovať dlhú preamble, krátka preamble je v štandarde určená pre zvýšenie priepustnosti siete pri prenášaní špeciálnych typov dát ako je hlasový prenos, **VoIP** či videokonferencie a video prenosy.

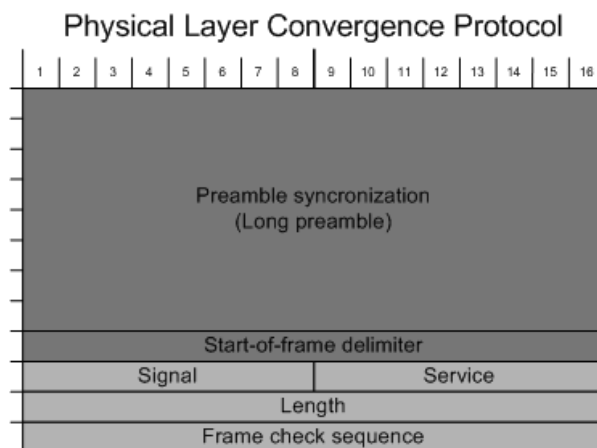
Formát rámca pozostáva z preambuly a hlavičky.

PLCP Preambula

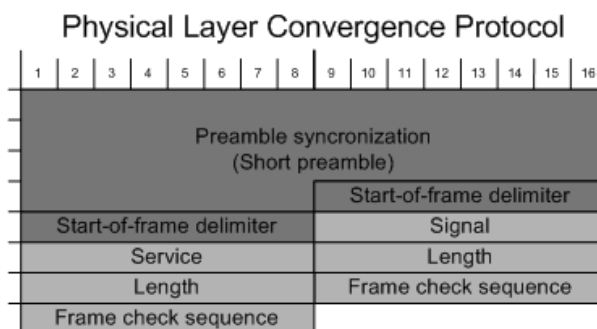
- Synchronizačné pole obsahuje 128 bitov u dlhej a 56 bitov u krátkej preambuly.
- Oddelovač začiatku rámca (SFD – Start frame Delimiter) sa používa pre označenie počiatku každého rámca.

PLCP Hlavička

- 8 bitov, pre určenie dátovej rýchlosti (DR – Data Rate Field) informuje, akou rýchlosťou sa bude komunikovať.
- 8 bitov, vyhradených pre budúce použitie.
- 16 bitov, políčko informujúce o dĺžke prenášaných dát, teda o dĺžke MAC PDU (Media Access Protocol Control Data Unit).
- 16 bitov, CRC kód slúži pre kontrolný súčet k vylúčeniu chýb niekedy označených ako HEC (Header error check). Úlohou HEC je vylúčiť chybu v PLCP hlavičke.



Obrázok 2.6.11: PLCP rámec s dlhou preambulou



Obrázok 2.6.12: PLCP rámec s krátkou preambulou

Aby sa predišlo problémom so spätnou kompatibilitou prenáša sa celý PLCP rámec rýchlosťou 1Mb/s rovnako ako aj modulovací. PLCP rámec celkom predstavuje 24 bajtov, ktoré sú vždy prenášané na rýchlosti 1Mb/s ešte pred tým, než je prenášaný samotný dátový paket. To spôsobuje značnú réžiu rádiového prenosu a vďaka tomu dosahuje 802.11b/g v najlepšom prípade iba 80% rýchlosti fyzickej vrstvy.

2.7 Linková vrstva a MAC podvrstva

Dôležitou vrstvou pre prácu bezdrôtovej siete 802.11 je podvrstva linkovej vrstvy nazývaná **MAC**, teda ovládanie prístupu k médiu. **MAC** podvrstva slúži ako rozhranie medzi fyzickou vrstvou a hositeľským zariadením a taktiež tvorí podporu ad-hoc infraštruktúrneho zapojenia siete.

Pre robustnosť **MAC** podvrstvy sú dôležité dve hlavné vlastnosti:

- CRC (Cyclic Redundancy Check), teda cyklický kontrolný súčet.
- Fragmentácia paketov.

Každý prenášaný paket je opatrený kontrolným súčtom CRC. Vďaka tomu je možné zistiť, či nebol paket behom cesty zmenený, prípadne poškodený.

Možnosť fragmentácie paketov zase rozdeľuje pakety na menšie časti a prenáša ich postupne. Oproti káblovému ethernetu je totiž výrazne vyššia možnosť chyby behom prenosu paketu a opakovaný prenos celého paketu by sieť zbytočne zdržoval – pokiaľ je prenášaná len jeho časť, sieť ušetrí mnoho kapacity. Navyše pravdepodobnosť poškodenia paketu narastá s jeho veľkosťou. Princíp fragmentácie je naznačený na obrázku 2.7.2

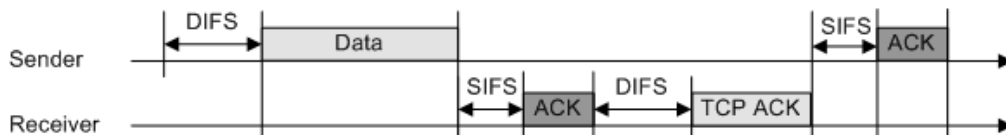
2.7.1 Medzirámkové medzery

Podobne ako u klasického Ethernetu hrajú aj u bezdrôtových sietí dôležitú úlohu medzi-rámkové medzery (Inter Frame Spaceing IFS). Medzirámkové medzery slúžia pre koordináciu prístupu k prenosovému médiu.

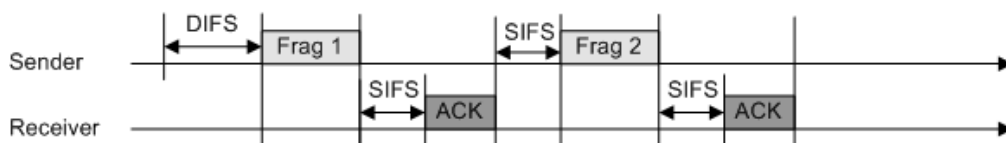
Štandard 802.11 Definuje štyri rôzne typy medzier medzi rámcami.

- **Short interframe space (SIFS)** – najkratšia **IFS**, používa sa pre bezprostredné odpovede – ACK, CTS, odpoveď na výzvu.
- **Poin coordination function IFS (PIFS)** – **IFS** strenej dĺžky, používa sa pre výzvy. Má prednosť pred bežnou prevádzkou. Stanica, ktorá chce prenášať dáta pri súperení asynchrónnych rámcov o prístup, tak môže učiniť po zaslaní PIFS a predbehnúť tak ostatné.

- **DCF interframe space (DIFS)** – najdlhšia **IFS**, minimálna premlka pri súperení asynchrónnych rámcov o prístup. Stanica má prístup k médiu v okamžiku, keď bolo voľné po dobu väčšiu než trvanie DIFS.
- **Extended interframe space (EIFS)** – nejde o fixný interval, používa sa iba vtedy pokiaľ nastala chyba prenosu rámcu.



Obrázok 2.7.1: Sekvencia posielania typického TCP/IP datagramu



Obrázok 2.7.2 Sekvencia posielania fragmentovaného datagramu

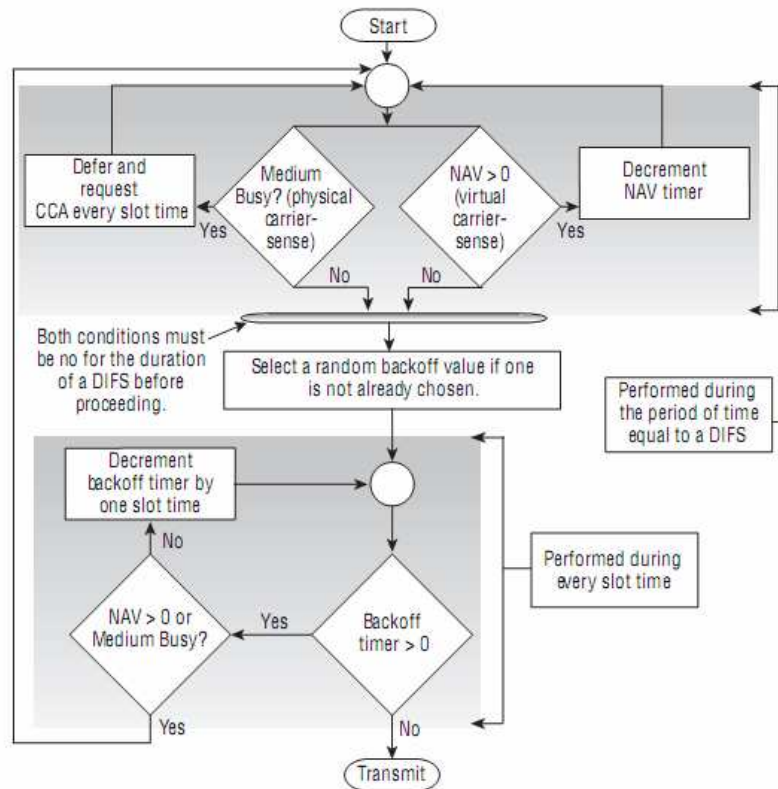
2.7.2 Koordinácia prístupu k médiu

Vo väčšine počítačových sietí používame pre prenos zdieľané prístupové médium – tzn. že počítač pripojený do siete musí „súperiť“ o prenosové médium s ostatnými stanicami pripojenými do siete. Aby nevznikali kolízie a rušenie na spoločnom médiu je nutné prístup nejakým spôsobom koordinovať. U klasického ethernetu sa používa technológia CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Acces / Collision Detection.

Štandard 802.11 pre bezdrôtové siete predpokladá dva koordinácie prístupu k médiu:

- **DCF** – Distributed Coordination Function.
- **PCF** – Point Coordination Function.

DCF - je základom štandardného prístupového mechanizmu CSMA/CA a táto funkcia je v bezdrôtových sieťach WIFI široko používaná. Pre CSMA/CA je vyhradená samostatná kapitola.



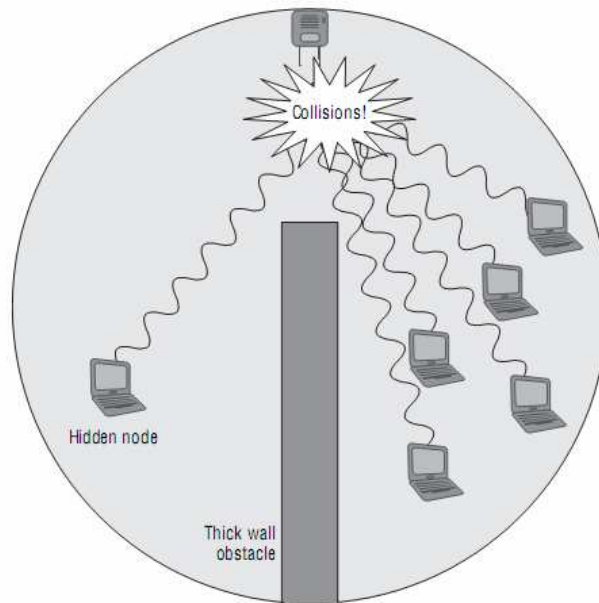
Obrázok 2.7.3: DCF diagram

PCF – je vhodná pre aplikácie blízke reálnemu času, napríklad prenášanie videa. V prípade PCF priradzuje stanica prioritu každej stanici pre určený prenosový rámec. PCF je samozrejme doposiaľ veľmi málo rozšírená.

2.7.3 CSMA/CA a problém skrytého uzla

MAC podvrstva v štandarde 802.11 je veľmi podobná 802.3 ethernetovému štandardu. V ethernete sa používa prístupová metóda CSMA/CD – teda systém detekcie kolízií. Zatiaľ čo štandard 802.11 definuje CSMA/CA – teda systém predchádzania kolíziám, pretože u bezdrôtového média sa problematicky detekujú kolízne stavy.

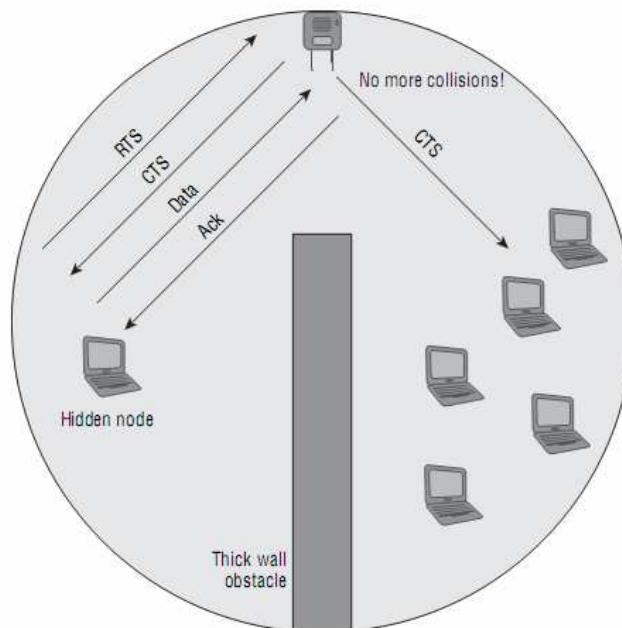
Vážnym problémom z hľadiska výkonu a priepustnosti je problém tzv. “skrytého uzla”, ktorý môže obmedziť komunikáciu v sieti až o 40% a viac. Ide o to, že stanica síce môže detekovať voľné prenosové médium vo svojom okolí ale to neznamená, že prenosové médium je voľné i v okolí prijímacej stanice typicky AP. V tomto okamihu sa totiž môže o komunikáciu s prístupovým bodom pokúšať iná stanica, ktorá nie je v dosahu prvej stanice, a teda ani obe stanice nemôžu vedieť o tom kedy, ktorá stanica vysiela. Ako to v praxi vyzerá ilustruje nasledujúci obrázok.



Obrázok 2.7.4: Problém skrytého uzla

Protokol CSMA/CA zaisťuje minimalizáciu kolízií použitím štyroch rámcov:

- RTS (Request to send)
- CTS (Clear to send)
- ACK (Acknowledge)
- NAV (Network allocation vector)

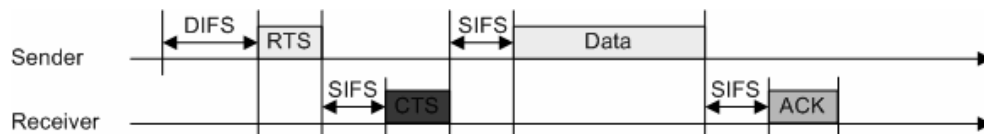


Obrázok 2.7.5: Predchádzanie kolíziám (RTS/CTS)

Pre komunikáciu je použitý mechanizmus predchádzania kolíziám spolu s kladným potvrdzovaním. To znamená, že stanica načúva a pokiaľ je médium voľné počká ešte stanovený čas (DIFS) a až potom začne vysielat'. Prijímacia stanica skontroluje CRC kontrolný súčet prijatého paketu a odošle potvrdenie ACK. Prijatie potvrdzujúceho paketu znamená pre cieľovú stanicu, že nedošlo ku kolízii. Pokiaľ stanica paket ACK nedostane, opakuje vysielanie.

Aby sa znížila pravdepodobnosť kolízií vznikajúcich práve tým, že sa stanice nemôžu „počúť“, definuje štandard virtuálny načúvací mechanizmus. Stanica, ktorá sa snaží vysielat' vyšle najprv riadiaci paket RTS (Request to send), obsahujúci okrem zdroja a cieľa i trvanie nasledujúceho prenosu. Cieľová stanica odpovie riadiacim paketom CTS (Clear to Send), obsahujúcim dobu trvania nasledujúceho prenosu. Stanica, ktorá zachytí paket RTS/CTS, si nastaví indikátor virtuálneho načúvania NAV na dobu trvania prenosu oznámenou v pakete. Po túto dobu bude stanica brať médium ako používané.

Tento mechanizmus je samozrejme efektívny iba pre dlhšie pakety, a tak štandard rovnako umožňuje prenos bez použitia RTS/CTS, a to voľbou RTS Threshold na stanici. Rovnako multicast a broadcast správy nie sú potvrdzované. Tento parameter môže mať za ideálnych a optimálnych podmienok veľký vplyv na priepustnosť siete.

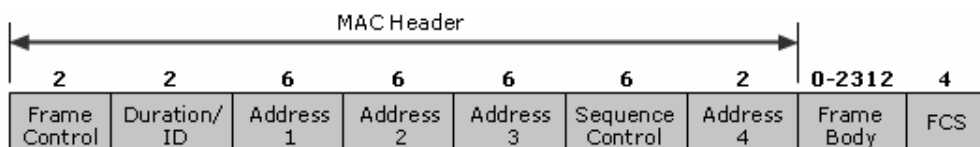


Obrázok 2.7.6 Mechanizmus RTS/CTS potvrdzovania

2.7.4 Architektúra MAC rámca

Rámec pozostáva z MAC hlavičky (MAC header) obsahujúcej informácie o prenášaných dátach a tela rámca (frame body), obsahujúceho samotné prenášané dáta a kontrolný súčet CRC (Frame Control Set FCS).

MAC rámec obsahuje tieto položky:

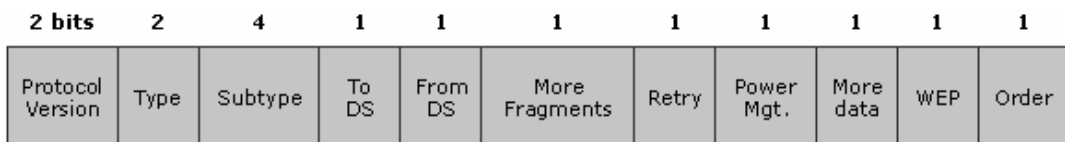


Obrázok 2.7.7: Formát MAC rámca

- **Frame Control** – informácie o verzii protokolu a typu rámca (riadiaci, dátový a kontrolný rámeč).
- **Duration/ID**
 - **Station ID** - identifikátor stanice používaný pre funkciu úspory energie.
 - **Duration Value** – dĺžka trvania rámca používaná pre výpočet rezervácie prenosového média pomocou Network Allocation Vector.
- **Adress 1-4** – sú štyri adresné polia obsahujúce adresy zdroja, cieľa, prenášača a prijímača v závislosti na poli Frame Control.
- **Sequence Control** – sa používa pre defragmentáciu a likvidáciu duplikátnych rámcov.

2.7.4.1 Štruktúra Frame Control

Štruktúra polia Frame Control je na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 2.7.8: Frame Control Field

- **Protocol Version** - indikuje verziu štandardu 802.11.
- **Type and Subtype** – indikuje obsah rámca. Typy sú Management, Control, Data. Subtypy RTS, CTS, ACK atd.
- **To DS** – je nastavené na 1, pokiaľ je rámeč posielaný do distribučného systému.
- **From DS** – je nastavené na 1, pokiaľ je rámeč posielaný z distribučného systému.
- **More Fragment** – je nastavené na 1, pokiaľ je rámeč prijímaný do distribučného systému.
- **Retry** – oznamuje, že ide o znovu vyslaný rámeč už vysielanej časti rámca. Prijímač tak rozpoznáva duplicitu rámca.
- **Power Managment** - je režim úspory energie, v ktorom sa bude stanica nachádzať po prenesení rámca.
- **More data** - oznamuje, že vo vyrovnávacej pamäti je pre túto stanicu uložených viac dát.
- **WEP** - indikuje, že telo rámca je šifrované algoritmom WEP.
- **Order** - indikuje, že rámeč je odosielaný službou Strict-Ordering, teda nebude ďalej spravovaný.

3 Meranie a analýza priepustnosti WIFI sietí

V tejto kapitole sa venujem praktickému meraniu, testovaniu a analýze priepustnosti WIFI siete. Venujem sa architektúre paketu 802.11 a jeho efektívnosti pri WIFI prenose.

Meranie a analýza bola prevádzaná na nasledujúcich WiFi prvkoch:

- Prístupové body
 - AP Linksys WAP54G 802.11b/g
 - AP ASUS WL300g 802.11g Wireless Access Point
 - Cisco Aironet 350 802.11b Wireless Access Point
 - Netgear WPNT834 802.11g RangeMax 240® Wireless Access Point
 - ASUS WL-533gM 802.11g Wireless Access Point
 - Linksys WRT300N 802.11n Wireless Access Point

- WLAN klienti
 - BELKIN Desktop adaptér PCI 54Mbps 802.11g
 - Intel IPW2200BG 802.11g

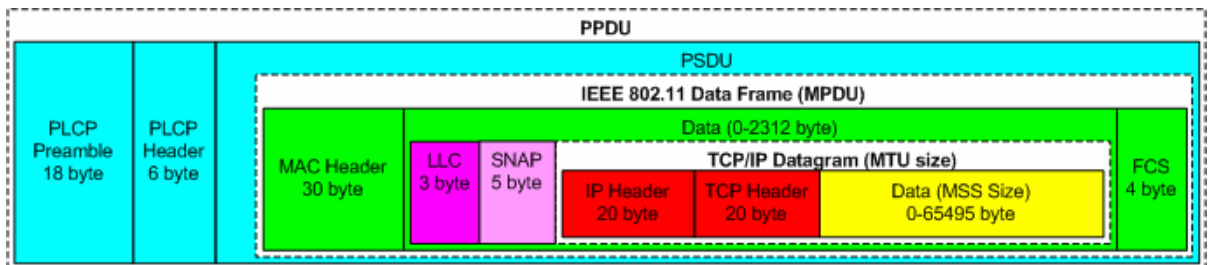
Pre benchmark, analýzu a reportovanie merania boli použité nasledujúce programy:

- PassMark WirelessMon™ - <http://www.passmark.com/products/wirelessmonitor.htm>
- Airmagnet Laptop Analyzer - <http://www.airmagnet.com/products/laptop.htm>
- Airmagnet Handheld Analyzer - <http://www.airmagnet.com/products/handheld.htm>
- NetStumbler - <http://www.netstumbler.com/>
- Iperf Version 2.0.2 - <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

V záverečnej časti tejto kapitoly sa venujem experimentálnej analýze priepustnosti WIFI siete postavenej na najnovšej technológii 802.11n, pričom som vychádzal z informácií z dostupných zdrojov uvedených v použitej literatúre.

3.1 Analýza architektúry paketu 802.11 a jej dôsledok na celkovú efektívnu priepustnosť WiFi

Efektívna priepustnosť WIFI siete sa výrazne odlišuje od rýchlosti udávanej výrobcom. Aj po zanedbaní všetkých rušivých vplyvov, nedosiahne WIFI sieť hodnotu efektívnej priepustnosti presahujúcu 80% uvádzanej rýchlosti. Tento fakt je spôsobený vysokou réžiou servisných hlavičiek, ktoré zo sebou nesie skompletizovaný 802.11 paket. Schéma takéhoto skompletizovaného paketu je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 3.1.1: 802.11b/g paket

- FCS = Frame Check Sequence
- MSS = Maximum Segment Size
- MTU = Maximum Transmission Unit
- SNAP = SubNetwork Access Protocol
- LLC = Logical Link Control
- MPDU = MAC Protocol Data Unit
- PLCP = Physical Layer Convergence Protocol
- PSDU = PLCP Service Data Unit (SDU)
- PPDU = PLCP Protocol Data Unit (PLCP + MPDU)

Pre nasledujúcu analýzu bol použitý prístupový bod Cisco Aironet 350. Tento Prístupový bod podporuje iba štandard 802.11b, teda maximálnu rýchlosť 11Mbit/s, no zvolil som ho z dôvodu širokého portfólia nastavení, ktoré v nemalej miere ovplyvňujú priepustnosť WIFI.

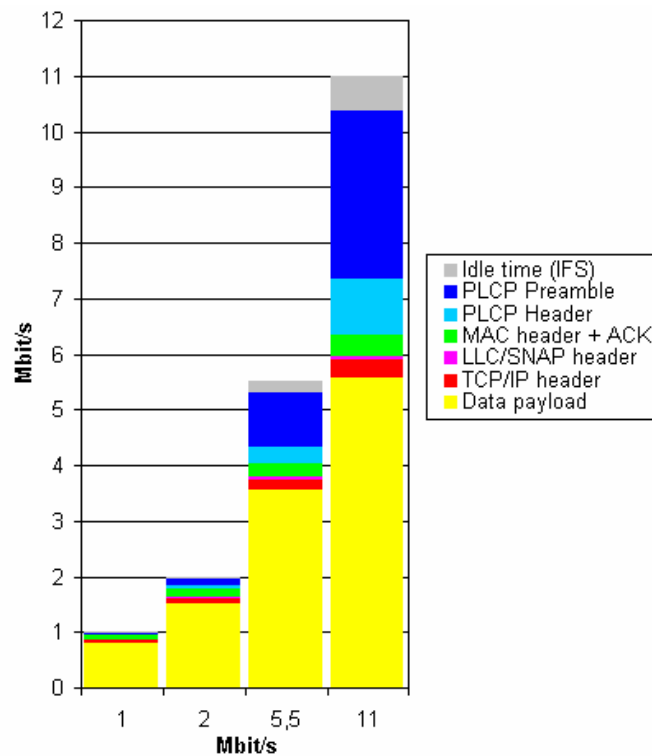
Pre toto meranie boli nastavenia prístupového bodu nasledujúce:

- Fragment Tresholds (256-2338) = 2338
- RTS Tresholds (0-2339) = 2339
- MAX RTS Retries (1-255) = 32
- MAX Data Retries (1-255) = 32

V tejto analýze som sa snažil overiť vplyv dĺžky PLCP hlavičky na výslednú priepustnosť siete. Parameter nastavujúci dĺžku PLCP hlavičky, umožňuje voľby *Long/Short preamble*. O tomto parametre som sa už zmienil v kapitole 2.6.7 *Štruktúra PLCP posvrstvy*. Krátka PLCP hlavička sa používa pre prenášanie špeciálnych dátových typov, akým je hlasový prenos **VoIP** a podobne.

Parameter dĺžky hlavičky výrazne ovplyvňuje efektívnu šírku dátového prenosu. Nasledujúce charakteristiky priepustnosti neuvažujú kolízie a rušenie.

1. Analýza efektívnej priepustnosti s voľbou PLCP Long Preamble:

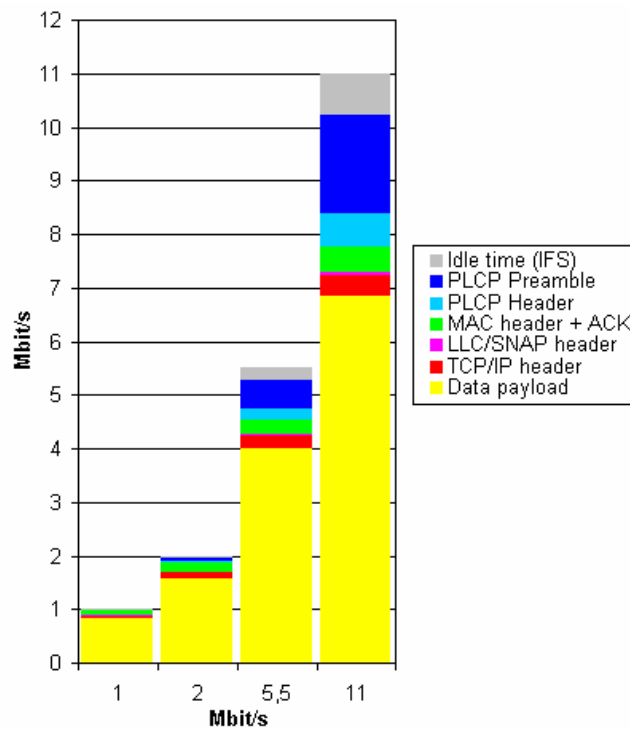


Obrázok 3.1.2: Analýza priepustnosti 802.11b (long preamble)

Mbit/s	Net Mbit/s	Efektivita
1	0.75	74.9%
2	1.41	70.7%
5.5	3.38	61.5%
11	5.32	48.4%

Tabuľka 3.1.1: Efektivita priepustnosti 802.11b (long preamble)

2. Analýza efektívnej priepustnosti s voľbou PLCP Short Preamble:



Obrázok 3.1.3: Analýza priepustnosti 802.11b (short preamble)

Mbit/s	Net Mbit/s	Efektivita
1	0.77	76.9%
2	1.49	74.3%
5.5	3.83	69.6%
11	6.25	59.3%

Tabuľka 3.1.2: Efektivita priepustnosti 802.11b (short preamble)

Z tejto analýzy môžem vyvodit' záver, že nastavením parametrov PLCP hlavičky, môžeme ovplyvniť efektívnu priepustnosť siete. Ako môžeme vidieť, pri použití krátkej preamble sa zvýšila efektívna dátová priepustnosť. Použitie tejto krátkej hlavičky však zo sebou prináša aj nevýhody a to, že je výhodná len pre vyhradený okruh služieb.

3.2 Analýza rušivých vplyvov a ich dopad na celkovú priepustnosť siete

V tejto kapitole sa venujem analýze a skúmaniu rušivých vplyvov a ich následný dopad na výslednú priepustnosť siete.

Ako som už spomínal v predchádzajúcich kapitolách, na priepustnosť WIFI siete má vplyv nespočetne mnoho faktorov. Ja som sa snažil zamerať na tie, ktoré sú ľahko simulovateľné a následne vyhodnotiteľné v laboratórnych podmienkach, a zároveň ku ktorým dochádza v bežnej prevádzke najčastejšie. Konkrétne som sa zameril na vplyv rušenia spôsobeného prekryvaním sa frekvenčných kanálov a s nimi spojených frekvencií. Pri prekryvaní sa kanálov to znamená, že požadovaný odstup kanálov pre dve nezávislé siete nie je päť, dochádza k rušeniu a interferenčným javom, ktoré majú za následok pokles efektívnej dátovej priepustnosti. Zameril som sa na testovanie maximálnej dátovej priepustnosti siete založenej na štandarde 802.11g, ktorý v súčasnosti patrí medzi najpoužívanejšie a najdostupnejšie. V tomto meraní som vyskúšal priepustnosť štandardu pri zapojeniach Ad-Hoc a Infrastructure, pričom som meranie previedol na niekoľkých prístupových bodoch a overil tak ich samotnú výkonnosť v prevádzkových podmienkach. V závere som všetky dosiahnuté výsledky vyhodnotil a porovnal s predpokladanými.

V nasledujúcich meraniach som musel zohľadňovať vplyv fakultnej WIFI siete. Pre podrobnejšie informácie o dostupných sieťach v laboratóriu uvádzam výpis utility *iwlist*. Pre meranie bola použitá utilita *Iperf*, nástroj pre analýzu rádiového spektra WIFI NetStumbler a operačné systémy Debian Linux 4.0 a Windows XP. V nasledujúcich meraniach som nepoužil žiadnu z dostupných metód šifrovania aby som dosiahol rovnocenné výsledky pre rôzny hardware, nakoľko sa výpočtový výkon potrebný pre kryptovanie u rôznych zariadení líši a v konečnom dôsledku by to malo vplyv na dosiahnutý výsledok. Experimentálne som určil, že pri použití WEP šifrovania neklesla výsledná hodnota rýchlosti pod 95% z pôvodnej ani na jednom z prvkov (prístupových bodov).

Zoznam dostupných sietí - výpis utility *iwlist*:

Cell 03 - Address: 00:17:08:22:8B:79

ESSID:"VUTBRNO"

Protocol:IEEE 802.11g

Mode:Managed

Frequency:2.412 GHz (Channel 1)

Quality:0/100 Signal level:-75 dBm Noise level:-256 dBm

Encryption key:off

Bit Rate:54 Mb/s

Cell 04 - Address: 00:17:08:7C:E6:A5

ESSID:"VUTBRNO"

Protocol:IEEE 802.11g

Mode:Managed

Frequency:2.437 GHz (Channel 6)

Quality:0/100 Signal level:-62 dBm Noise level:-256 dBm

Encryption key:off

Bit Rate:54 Mb/s

Meranie maximálnej priepustnosti WIFI 802.11g

Nasledujúca tabuľka je súhrn výsledkov merania maximálnej priepustnosti WIFI siete 802.11g v rôznych zapojeniach. Meranie bolo prevádzané v bezprostrednej blízkosti prvkov s minimalizáciou rušivých vplyvov.

Číslo merania	Zapojenie	Použitý kanál	Dosiahnutá rýchlosť [Mbit/s]
1	Ad-Hoc	11	26.8
2			26.9
3			27.1
1	Infrastructure ASUS WL300g	11	21.5
2			21.1
3			21.1
1	Infrastructure Linksys WAP54G	11	24.1
2			24.2
3			24.1

Tabuľka 3.2.1: Výsledky merania priepustnosti 802.11g

V nasledujúcom meraní som skúmal vplyv rušenia vzájomne blízkych kanálov na celkový výkon a priepustnosť siete. Ešte raz by som chcel upozorniť, že kanály 1 a 6 boli obsadené fakultnou WIFI, a preto som musel voliť vzdialenejšie kanály aby som eliminoval nepriaznivé vplyvy a vyhol sa skresleným výsledkom merania. Ako referenčný kanál som zvolil kanál č. 13, na ktorom bol vysielaný trvalý dátový tok. Na kanáloch 8 až 13 sa postupne pridal ďalší dátový tok a analyzoval som tak dopad vzájomného rušenia dvoch frekvenčne blízkych kanálov na celkovú priepustnosť siete. Pre elimináciu útlmov vznikajúcich na prvkoch som použil zapojenie Ad-Hoc. Výsledky jednotlivých meraní uvádzam ako aritmetický priemer piatich nameraných hodnôt.

Číslo merania	Referenčný kanál	Testovaný kanál	Dosiahnutá rýchlosť Mbit/s
1	13	13	17.3
2		12	17.4
3		11	18.2
4		10	16.5
5		9	9.5
6		8	0.0

Tabuľka 3.2.2: Dopad rušenia na celkovú priepustnosť siete

V predchádzajúcej tabuľke môžeme názorne vidieť vplyv rušenia na efektívnu dátovú priepustnosť siete. V 5. a 6. meraní môžeme pozorovať výrazný rušivý vplyv zapríčinený fakultnou sieťou pracujúcou na 6. kanále.

Z tohoto merania môžem potvrdiť moju predpokladanú teóriu, že efektívna dátová priepustnosť WIFI siete, sa nedostala ani za ideálnych laboratórnych podmienok a eliminovaní možných rušivých vplyvov, nad hranicu 80% udávanej rýchlosti. V druhej časti merania môžeme pozorovať vplyv interferencií, zapríčinených nedostatočným odstupom kanálov, na celkovú priepustnosť siete.

3.3 Experimentálna analýza priepustnosti štandardu 802.11n

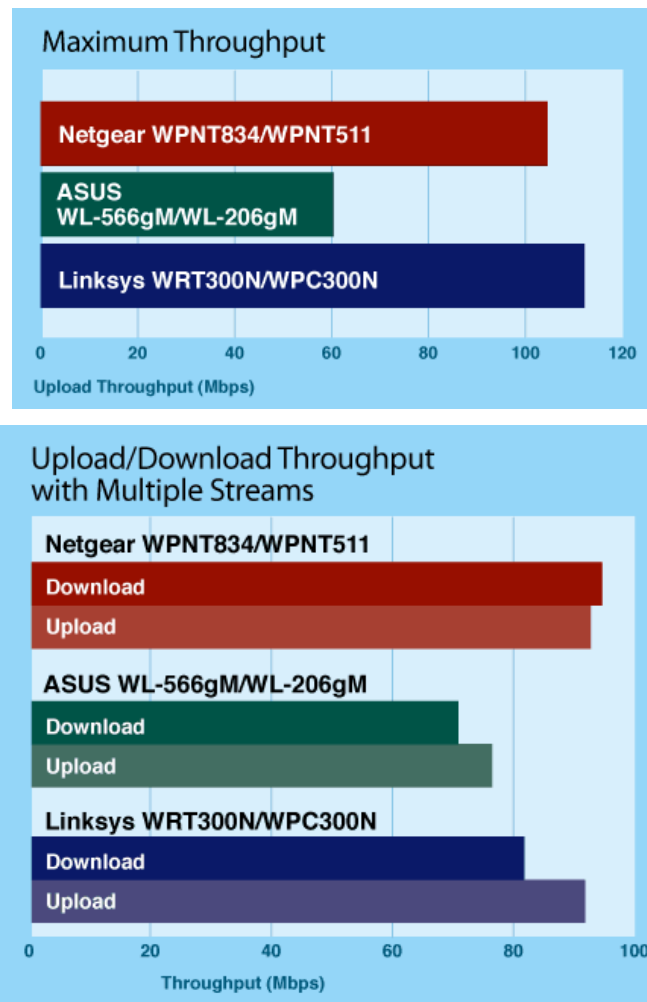
Novo prichádzajúci štandard znamená možnú revolúciu v rýchlosti WIFI technológie a jej využitia. Napriek tomu, že samotný štandard 802.11n ešte nebol definitívne potvrdený a schválený WIFI konzorciom a jeho finálne schválenie je naplánované na koniec roka 2007, na trhu sa objavujú výrobky ktoré tento štandard podporujú. Nakoľko všetky tieto zariadenia podporujú len prvý revision tohto štandardu je otázne, či budú zariadenia navzájom kompatibilné aj po vydaní jeho finálnej podoby nakoľko je okolo schválenia tohto štandardu stále nejasno.

IEEE 802.11n je WIFI štandard, ktorý si kladie za cieľ upraviť fyzickú vrstvu a pod časť linkovej vrstvy **Media Access Control (MAC)** tak aby sa dočielilo reálnych rýchlostí cez 100 Mbit/s. Napriek tomu môže dosiahnuť až 540 Mbit/s. Mal by sa taktiež zvýšiť fyzický dosah a pokrytie. Zvýšenie rýchlosti je dosiahnuté použitím technológie **MIMO (Multiple Input Multiple Output)**, ktorá využíva viacero vysielačích a prijímacích antén.

Nakoľko technológia MIMO používa šírku kanálu 40MHz oproti pôvodným 22MHz, používaným pre štandard 802.11b/g, bude samozrejme aj ináč využívané rádiové spektrum

a dostupné kanály. Pri použití 802.11n sú obsadené dva kanály z pôvodného spektra aby bola zachovaná kompatibilita s predchádzajúcimi štandardmi 802.11b/g.

Na nasledujúcom grafe je zobrazený benchmark maximálnej priepustnosti prvkov WIFI 802.11n. Pre benchmark bol použitý prístupový bod Linksys WRT300N s podporou technológie 802.11n. Na jednotlivých prvkoch neboli použité žiadne špecifické systémové nastavenia a pre samotné testovanie bola použitá utilita *IPerf*. Meranie bolo prevádzané v bezprostrednej blízkosti jednotlivých klientov. Pre porovnanie som do výsledkov zahrnul aj benchmark priepustnosti prístupových bodov ASUS 566g a Netgear WPNT834, ktoré vďaka použitiu technológii MIMO dokážu aj pri zachovaní štandardu 802.11b/g komunikovať rýchlosťou za hranicou 54Mb/s. Samozrejme využitie takejto technológie prenosu si vyžaduje prvky identických výrobcov, nakoľko sa vo väčšine prípadov jedná o proprietárne riešenia.

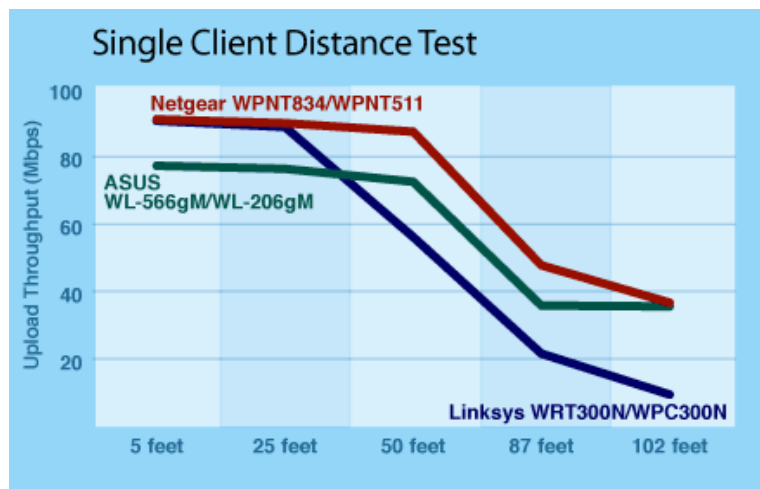


Obrázok 3.3.1 Porovnanie priepustnosti 802.11n a 802.11g(MIMO) (Zdroj: eweek.com)

Prístupový bod	Použitý štandard	Max priepustosť [Mbit/s]	Down/Up [Mbit/s]
Netgear WPNT834	802.11b/g (MIMO)	104.53	92.1/89.5
ASUS WL-533gM	802.11b/g (MIMO)	61.5	72.1/78.6
Linksys WRT300N	802.11n	112.7	81.7/91.6

Tabuľka 3.3.1 Priepustnosti 802.11n a 802.11g(MIMO)

Mojím ďalším objektom analýzy bol dopad vzdialenosti na výslednú priepustnosť dát. Na nasledujúcom grafe môžeme zhladať, že pri štandarde 802.11n (AP Linksys WRT300N) priepustnosť klesala rýchlejšie ako pri prvkoch založených na štandarde 802.11g (ASUS/Netgear) používajúcich technológiu MIMO.



Obrázok 3.3.2: Analýza dopadu vzdialenosti na priepustnosť 802.11n (Zdroj: eweek.com)

Z tejto analýzy môžeme vyvodiť záver, že prichádzajúci štandard 802.11n môže skutočne pre WIFI siete znamenať obrat smerom vpred, čo sa týka ich nasadenia s ohľadom na výkon a priepustnosť. Hoci aj dnes existujú proprietárne technológie založené na súčasnom štandarde 802.11g dosahujúce rýchlosti okolo 90Mbits/s, sú nedostupné hlavne z hľadiska ceny a nutnou podmienkou pre výstavbu väčších sietí je použitie prvkov rovnakých výrobcov nakoľko sa vždy jedná o proprietárnu technológiu využívajúcu **MIMO**.

4 Záver

4.1 Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov

V tejto kapitole sa pokúsim zhrnúť dosiahnuté výsledky mojej práce, ktorou je meranie priepustnosti WIFI sietí.

Výsledkom mojej práce je podrobná analýza faktorov ovplyvňujúcich priepustnosť WIFI sietí a ponúka návod ako tieto faktory eliminovať. V úvode mojej práce som rozobral fundamentálne princípy rádiového spektra, ktorých pochopenie je nutné pre ďalšiu analýzu a ladenie výkonu bezdrôtových sietí. V ďalších kapitolách som sa pokúsil priblížiť a ozrejmiť základné parametre a technológie používané v bezdrôtových sieťach. V záverečnej tretej kapitole som sa venoval praktickej analýze a testovaniu WIFI siete v laboratórnych podmienkach, a to tak aby som dosiahol čo najobjektívnejšie výsledky pre zhodnotenie súčasných WIFI štandardov.

Výsledok svojej bakalárskej práce môžem uzavrieť s konštatovaním, že základnú nevýhodu WIFI dnes predstavuje minimálna možnosť poskytnúť dostatočnú prenosovú kapacitu viacerým uzlom v rámci obmedzeného priestoru, čo v nemalej miere uprednostňuje metalické siete. Rast prenosovej kapacity WIFI sietí dnes výrazne zaostáva za požadovanými nárokmi pre moderné siete, a preto ich takmer vždy používame len ako doplnok k primárnej sieti, napríklad ethernetu. Riešenie neprináša ani najnovší štandard 802.11n, ktorý poskytuje prenosovú rýchlosť len čosi cez 100Mbit/s oproti 1Gb/s, ktorú dnes poskytuje moderný ethernet. WIFI siete poskytujú pohodlný spôsob broadband šírenia signálu, no je potrebné venovať veľkú pozornosť pri dimenzovaní rádiového spoja. Možnou alternatívou vo vonkajších prostrediach by mohla predstavovať technológia WiMax 802.16, ktorá ponúka lepšie prenosové vlastnosti na väčšie vzdialenosti ako súčasné používané 802.11x štandardy.

4.2 Osobný prínos z riešenia práce

Pri riešení tejto práce som si prehĺbil vedomosti týkajúce sa problematiky bezdrôtových sietí. Naučil som sa postupy ako správne navrhovať a implementovať bezdrôtové siete, s ohľadom na dosiahnutie čo najvyššej priepustnosti. Zoznámil som sa s rôznymi prostrediami pre analýzu bezdrôtových sietí a pochopil som ako efektívne prevádzkovať bezdrôtovú sieť. Nakoľko som sa v práci venoval aj technologickým novinkám v oblasti WIFI, vytvoril som si predstavu akými možnými technologickými smermi, by sa mohol budúci vývoj týchto technológií uberať.

Zoznam skratiek a ich vysvetlenie

MAC adresa (Media Access Control) - je jedinečný identifikátor sieťového zariadenia, ktorý používajú rôzne protokoly linkovej vrstvy. MAC adresa sa skladá zo 48 bitov a podľa štandardu by sa mala zapisovať ako tri skupiny štyroch hexadecimálnych čísel (napr. 0123.4567.89ab), častejšie sa ale zapisuje ako šesťica dvojciferných hexadecimálnych čísel oddelených pomlčkami alebo dvojbodkami (napr. 01-23-45-67-89-ab alebo 01:23:45:67:89:ab).

SSID (Service Set Identifiers) – Identifikátor bezdrôtovej siete.

RF (Radio Frequency) – Rádio frekvenčný signál, v tejto práci spektrum 2.4GHz resp. 5GHz.

WEP (Aires Equivalent Privacy) - Protokol, ktorý pracuje ako voliteľný doplnok k 802.11b/g pre obmedzenie prístupu k sieti a šifrovaniu prenášaných dát.

VPN (virtual private network) je prostriedok pre pripojenie niekoľkých počítačov na rôznych miestach internetu do jedinej virtuálnej počítačovej siete, aj keď počítače môžu byť na fyzicky úplne odlišných nezávislých sieťach na rôznych miestach sveta. Prostredníctvom virtuálnej privátnej siete medzi sebou môžu komunikovať, ako keby boli na jedinom sieťovom segmente.

MIMO (Multiple In Multiple Out) - MIMO bezdrôtová komunikácia využíva fenoménu viacestného šírenia sa vlnenia k zvýšeniu priepustnosti a dosahu alebo k zníženiu počtu prenosových bitových chýb, namiesto snahy o elimináciu efektu viacestného šírenia, o ktorú sa snažia tradičné Single-Input Single-Output (SISO) komunikačné systémy.

VoIP (Voice over Internet Protocol) - je technológia, umožňujúca prenos digitalizovaného hlasu v tele paketu rodiny protokolov UDP/TCP/IP prostredníctvom počítačovej siete alebo iného média, priepustného pre protokol IP. Využíva sa pre telefonovanie prostredníctvom Internetu, intranetu alebo akéhokoľvek iného dátového spojenia.

MIC (Message Integrity Check) - kontroluje integritu správ pomocou algoritmu RC4.

WLAN (Wireless Local Area Network) taktiež WiFi (Wireless Fidelity) - Typ miestnych sietí, ktoré ako prenosové médium používajú elektromagnetické rádiové vlny.

IEEE 802.11 – Štandard, ktorým sú moderné WLAN siete definované a štandardizované.

BSS (Basic Service Set) - Základný stavebný blok 802.11 sietí. Je to súbor základných služieb.

BSA (Basic Service Area) - Prienikom vymedzené územie dosahu týchto komunikujúcich staníc.

PLCP - Protokol konvergencie fyzickej vrstvy.

PMD - Zaisťuje kódovanie bezdrôtového prenosu.

CRC (Cyclic Redundancy Check) - Cyklický kontrolný súčet.

IFS (Interframe spacing) – Medzirámkové medzery slúžiace pre koordináciu prístupu k prenosovému médiu.

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces / Collision Avoidance) – Spôsob koordinácie prístupu k prenosovému médiu v bezdrôtových sieťach.

Literatúra

- [1] PATRICK ZANDL: *Bezdrátové sítě WiFi Praktický průvodce*, Brno: Computer Press, 2003.
- [2] DAVID D. COLEMAN, DAVID A. WESTCOTT: *Certified Wireless Network Administrator Study Guide*, SYBEX®: Wiley Publishing, 2006.
- [3] JAMES M. WILSON: *Intel Technology Magazine - The Next Generation of Wireless LAN Emerges with 802.11*, Intel-labs, 2004.
- [4] Wikipedia otevřená encyklopédia URL <http://en.wikipedia.org/>
- [5] Články venované problematice 802.11n URL <http://www.eweek.com/>