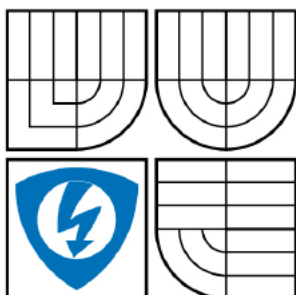


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ STANDARDU 802.11N

MEASUREMENT OF THE 802.11N STANDARD PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

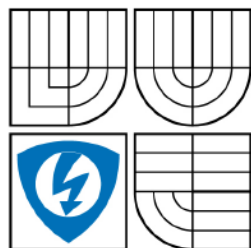
MARTIN SWIETEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PROKOPEC, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Martin Swietek
Ročník: 3

ID: 98693
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Měření vlastností standardu 802.11n

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte vlastnosti návrhu standardu bezdrátových lokálních sítí 802.11n a jeho odlišností od stávajících standardů WiFi (802.11b,g). Navrhněte koncept laboratorní úlohy, která bude zaměřena na měření přenosových vlastností tohoto standardu v závislosti na vlastnostech přenosového kanálu.

Realizujte navrženou úlohu, vytvořte návod k měření a vypracujte vzorový protokol.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] 802.11b IEEE Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. IEEE New York 1999.

[2] 802.11g IEEE Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band. IEEE New York 2003.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na prostudování standardu 802.11n a zjištění odlišností od standardu 802.11b, g. Standard 802.11b byl, jako první používán pro bezdrátovou síť tzn. WLAN. Tento standard byl rozšířen standardem 802.11g, který má větší přenosovou rychlost. Tohle zrychlení je způsobeno modulací OFDM. Další nástupce po těchto standardech je standard 802.11n.

Klíčová slova

Model OSI, Standard 802.11, DSSS, OFDM, MIMO, Wi-Fi, MAC, AP, WLAN.

Abstract

This bachelor's thesis is bent on peruse standard 802.11n and inquest diversity from standard 802.11b, g. Standard 802.11b was, first used for wireless net „WLAN”. This standard was extensive standard 802.11g that the has bigger temporary carrier rate. This acceleration is incurred modulation OFDM. Next successor after these standards is standard 802.11n.

Keywords

OSI model, Standard 802.11, DSSS, OFDM, MIMO, WLAN, MAC, AP, WLAN.

Bibliografická citace mé práce:

SWIETEK, M. *Měření vlastností standardu 802.11n*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj bakalářská práce na téma Měření vlastností standardu 802.11n jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. ledna 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jan Prokopec, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 5. ledna 2009

.....
podpis autora

Obsah:

Seznam obrázků.....	7
Seznam tabulek	8
Obsah:.....	6
1. Úvod.....	9
2. Model OSI	10
2.1 Popis jednotlivých vrstev	11
2.2 Fyzická vrstva.....	11
2.3 Spojovací vrstva	13
2.3.1 MAC vrstva.....	13
3. Standard IEEE 802.11.....	14
3.1 Modulace DSSS	15
3.2 Modulace OFDM.....	19
3.3 Technologie MIMO	20
4. Koncept laboratorní úlohy.....	22
5. Realizace úlohy	23
6. Vzorový protokol a návod k měření	24
7. Závěr	29
8. Seznam literatury.....	30
Seznam zkratk.....	31

Seznam obrázků

Obr 1 Fyzická a MAC vrstva	12
Obr 2 Modulace BPSK a QPSK	15
Obr 3 Modulátor CCK pro IEEE 802.11b	16
Obr 4 Scrambler $z^{-7}+z^{-4}+1$	17
Obr 5 Struktura modulátoru PBCC IEEE 802.11 b	17
Obr 6 Struktura kodéru BCC	18
Obr 7 Modulace OFDM	19
Obr 8 Přenos technologie MIMO (2x2)	20
Obr 9 Přenos technologie MIMO (4x4)	21
Obr 10 Koncept zapojení laboratorní úlohy	22
Obr 11 Asus WL-130N	23
Obr 12 Linksys WAP4400N	24
Obr 13 Schéma zapojení laboratorní úlohy	26

Seznam tabulek

Tab 1 Model OSI

Tab 2 Popis standardů

Tab 2 Popis standardů Tab 2 Popis standardů

1. Úvod

V dnešní době se bezdrátový přenos rozšiřuje ve velkém množství, jelikož většina uživatelů potřebuje být v pohybu se svým PC. Základem těchto bezdrátových sítí je standard 802.11, který se postupně vylepšuje. Cílem v dnešní době je to, aby datová propustnost těchto bezdrátových spojení, byla co nejvyšší a při tom, aby nevznikaly velké přenosové bitové chyby. Takové požadavky v dnešní době splňuje standard 802.11n, který funguje na principu multiple-input multiple-output, neboli více vstupů více výstupů. V tahle bakalářská práce obsahuje 6 kapitol. V kapitole 2 se zabývá rozbořem modelu OSI, ve které jsou nejdůležitější dvě vrstvy, což je vrstva fyzická a vrstva spojovací. Ve spojovací vrstvě je nejdůležitější MAC vrstva. Kapitola 3 je zaměřena na popis standardu IEEE 802.11 a základních modulací těchto standardů. V kapitola 4 je popsán koncept laboratorní úlohy. Realizace laboratorní úlohy je popsána v. kapitole 5, zde také jsou popsány parametry použitých bezdrátových routerů. Kapitola 6 obsahuje návod k měření a vypracovaný laboratorní protokol.

2. Model OSI

Referenční model ISO/OSI vypracovala organizace ISO jako hlavní část snahy o standardizaci počítačových sítí nazvané ISO a v roce 1984 ho přijala jako mezinárodní normu ISO 7498. Kompletní text normy přijala také CCITT jako doporučení X. 200.

Model OSI popisuje vrstvy, jejich funkce a služby. Nejsou zde zařazeny žádné protokoly, které by vyžadovaly zbytečně mnoho detailů.[1]

Dále v této kapitole chci popsat základní principy komunikace v datových sítích a upřesnit vrstvy, které jsou pro tuto práci důležité. Jako nejdůležitější považuji vrstvy fyzická a spojovací. Model OSI (tab. 1), známý pod názvem model OSI (Open System Interconnection), pomáhá nám pochopit, jak mezi sebou zařízení komunikují. Model OSI se skládá ze sedmi vrstev. Do nižší úrovně vrstvy jako např. fyzická vrstva, spojovací vrstva nemůže uživatel zasahovat, zatím co vrstvy s vyššími čísly jsou uživateli více používána jako např. aplikační vrstva, prezenční vrstva atd.

Aplikační vrstva	Vrstvy orientované na podporu aplikací
Prezentační vrstva	
Relační vrstva	
Transportní vrstva	Přispůsobovací vrstva
Síťová vrstva	Vrstvy orientované na přenos dat
Linková vrstva	
Fyzická vrstva	

Tab 1 Model OSI

2.1 Popis jednotlivých vrstev

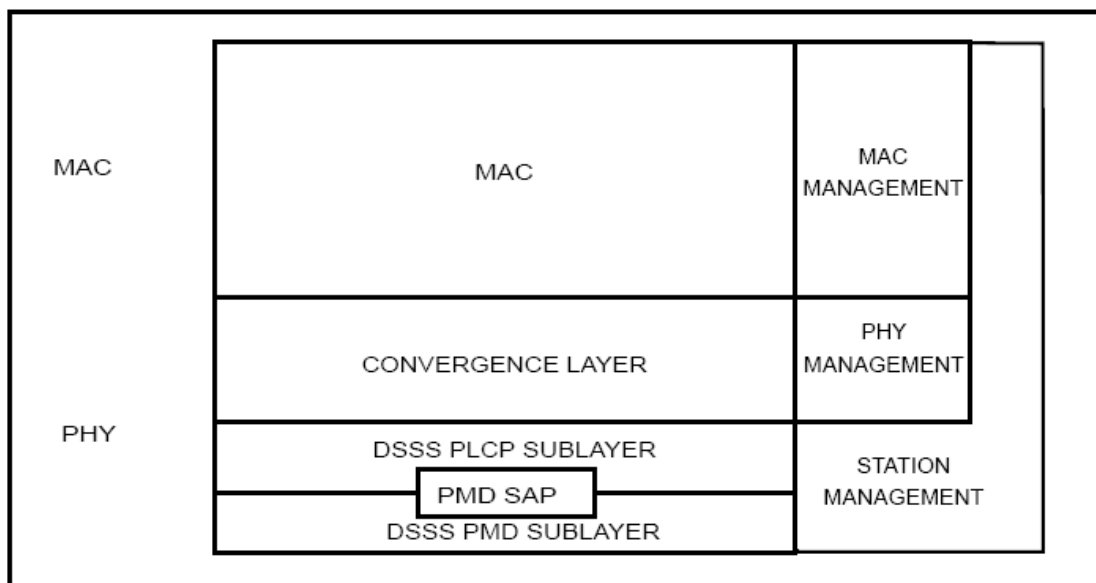
- Fyzická vrstva (Physic layer): je to první vrstva modelu OSI komunikuje na nejnižší hardwarové úrovni, v podstatě řešení vlastního propojení.
- Spojová vrstva (Data link layer): je to druhá vrstva modelu OSI , kterou též nazýváme linková, se zabývá kódováním a přenosem informací.
- Síťová vrstva (Network layer): je to třetí vrstva v modelu OSI a obsluhuje přenosové trasy a zprávy.
- Transportní vrstva (Transport layer): je to čtvrtá vrstva modelu OSI a zajišťuje řízení, doručování informací a kvalitu přenosu.
- Relační vrstva (Session layer): je to pátá vrstva modelu OSI a má na starosti udržování a koordinaci komunikace.
- Prezenční vrstva (Presentation layer): je to šestá vrstva modelu OSI a provádí formátování, konverze a zobrazení přenesených dat.
- Aplikační vrstva (Application layer): je to sedmá vrstva modelu OSI využívána pro přenos informací mezi programy.

Pro nás je důležité, že standard IEEE 802.11 definuje jako vlastní pouze dvě nejnižší vrstvy OSI a to jsou už dříve zmiňované vrstva fyzická a vrstva spojovací. Všechny ostatní vrstvy nás nezajímají, jelikož se standardem IEEE 802.11 nemají nic společného.

2.2 Fyzická vrstva

Úkolem fyzické vrstvy je to, aby se přizpůsobila konkrétním přenosům, vytvořila potřebné rozhraní pro jejich připojení síťových uzlů a ovládání připojení pomocí tohoto rozhraní. Fyzické spojení může být dvoubodové (sériová linka) nebo mnohobodové (ethernet).

Fyzická vrstva je základní síťová vrstva, poskytující spíše prostředky pro přenos bitů než pro přenos celých dat přes síťové uzly. Bitový tok může být seskupen do kódových slov nebo symbolů a převeden na fyzický signál, který je přenesen přes fyzické přenosové medium. Obsahuje rozložení pinů, napěťové úrovně a specifikuje vlastnosti kabelů. Huby, opakovače atd. jsou zařízení, která pracují právě na této vrstvě. Fyzická vrstva pak poskytne elektrické a mechanické vlastnosti přenosovému médiu. Jako všechny standardy řady 802.x zahrnuje popis první a druhé vrstvy OSI modelu, přesněji řečeno fyzické a MAC vrstvy (viz. obr. č. 1).[2]



Obr 1 Fyzická a MAC vrstva

Významné funkce a služby fyzické vrstvy jsou:

1. Bitový přenos mezi dvěma uzly
2. Poskytuje standardizované rozhraní fyzickému přenosovému médium včetně:
3. Mechanické specifikace elektrických konektorů a kabelů,
4. například: maximální délka kabelu
5. Specifikace úrovně signálu a impedance
6. Radiové rozhraní - specifikace intenzity signálu, analogová šířka pásma, atd.
7. Specifikace pro IR přes optické vlákno nebo bezdrátovou IR komunikační linku
8. Modulace
9. Bitová synchronizace sériové komunikace
10. Zpracování signálu

Pro model standard IEEE 802.11 byly v roce 1997 standardizovány tři fyzické vrstvy:

- Frekvenčním skákáním rozprostřené spektrum (Frequency – hopping (FH) spread-spectrum radio).
- Pseudonáhodnou datovou sekvencí rozprostřené spektrum (Direct – sequence (DS) spread-spectrum radio).
- Infračervené spektrum (IR).

V roce 1999 byly tyto vrstvy při revizi standardu doplněny o další dvě vrstvy, v roce 2003 pak byla metoda OFDM použita i pro další standard IEEE 802.11g.

- IEEE 802.11a a IEEE 802.11g: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- IEEE 802.11b: High- Rate Direct Sequence

2.3 Spojovací vrstva

Oznamuje neopravitelné chyby, seřazuje přenášené rámce a stará se o nastavení parametrů přenosu linky. Formátuje fyzické rámce a přiděluje je fyzickou adresou. Datová vrstva poskytuje funkce k přenosu dat mezi jednotlivými síťovými jednotkami a detekuje, případně opravuje chyby vzniklé na fyzické vrstvě. Nejlepším příkladem je Ethernet. Na lokálních sítích, založených na IEEE 802 a na některých IEEE 802 sítích, jako je FDDI, by tato vrstva měla být rozdělena na vrstvu řízení přístupu k médiu (Medium Access Control, MAC) a vrstvu IEEE 802.2 logické řízení linek (Logical Link Control, LLC). Uspořádává data z fyzické vrstvy do logických celků známých jako rámce. Na této vrstvě pracují veškeré mosty a prepínače. Poskytuje propojení pouze mezi místně připojenými zařízeními a tak vytváří doménu na druhé vrstvě pro směrové a všesměrové vysílání.[3]

2.3.1 MAC vrstva

Standard 802.11 definuje dvě přístupové metody – DCF (Distributed Coordination Function) a PCF (Point Coordination Function). PCF je pouze volitelný mechanismus, který slouží pro přenos aplikací citlivých z hlediska času, například hlasu a videa. Základním přístupovým mechanismem neboli distribuční koordinační funkcí je CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

CSMA je mechanismus použitý u klasického Ethernetu. CS (Carrier Sense) znamená, že stanice před vysláním naslouchá na médiu a začne vysílat, pouze pokud je médium volné. MA (Multiple Access) znamená, že je umožněn současný přístup více stanic k médiu. Rozdíl je v tom, že klasický Ethernet používá mechanismus detekce kolizí (Carrier Detection). U bezdrátového Ethernetu je použit mechanismus předcházení kolizí (Collision Avoidance). U klasického Ethernetu, např. na koaxu, může každá stanice slyšet vysílání jiné stanice a detekovat kolizi. Tento základní předpoklad pro detekování kolizí u bezdrátového Ethernetu neplatí. Stanice může detekovat volné médium ve svém okolí, to však neznamená, že je volné i u přijímače. Jak je uvedeno výše, stanice komunikují prostřednictvím AP a nemusí se tak vůbec přímo slyšet s jinými stanicemi ani detekovat její vysílání. Proto je použit mechanismus předcházení kolizím spolu s kladným potvrzováním. To znamená, že stanice naslouchá a pokud je médium volné počká ještě určený čas (DIFS, Distributed Inter Frame Space) a teprve pak začne vysílat. Přijímající stanice zkontroluje kontrolní součet (CRC) přijatého paketu a odešle potvrzení (ACK). Přijetí potvrzujícího paketu znamená pro odesílající stanici, že nedošlo ke kolizi. Pokud stanice ACK paket nedostane, opakuje vysílání.

Pro snížení pravděpodobnosti kolizí způsobených tím, že se stanice nemohou slyšet, definuje standard "virtuální" naslouchací mechanismus. Stanice, která chce vysílat, pošle nejdříve krátký řídicí paket (RTS, Request To Send), který obsahuje kromě zdroje a cíle i trvání následujícího přenosu. Cílová stanice odpoví jiným řídicím paketem (CTS, Clear To Send), který rovněž obsahuje dobu trvání následujícího přenosu. Stanice slyšící RTS a/nebo CTS paket si nastaví indikátor virtuálního naslouchání, tzv. NAV (Network Allocation Vector) na dobu trvání přenosu. Jinými slovy bude po tuto dobu brát médium jako obsazené. Snižuje se tak pravděpodobnost kolize ze strany ostatních stanic v lokalitě příjemce pouze na dobu vysílání RTS, protože pak už zachytí paket CTS a budou brát médium jako obsazené. Takový mechanismus je efektivní pouze pro delší pakety, proto standard umožňuje také přenos bez RTS/CTS mechanismu. Tato možnost je volitelně nastavitelná na stanici (RTS Threshold). Rovněž multicasty a broadcasty se nepotvrzují.[4]

3. Standard IEEE 802.11

Používání tohoto standardu je základem pro bezdrátové sítě. V této době ho využíváme hlavně pro komunikaci přenosných počítačů, notebooků a infrastrukturních sítí. Tyto sítě známe pod názvem WiFi, využívají efektivní metody kódování přenášených dat anebo efektivnější metody modulace.

Standard IEEE 802.11 definuje pro radiový signál mnoho specifikací, které pokrývají celou problematiku bezdrátové sítě. Specifikace pro přenos dat v konkrétním pásmu se dále definují písmeny *b*, *g* a *n*. [5]

- IEEE 802.11b byl standardizován v roce 1999, používá několik technik rozptýlení frekvenčního spektra - především DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Dosahuje přenosové rychlosti až 11Mb/s. IEEE 802.11b+ a ten dosahuje rychlosti až 22Mbit/s.
- IEEE 802.11g byl standardizován v roce 2003, používá modulaci OFDM a dosahuje přenosové rychlosti 54Mbit/s.
- IEEE 802.11n byl standardizován v roce 2008 a používá technologii MIMO (Multiple Input Multiple Output), dosahuje přenosové rychlosti 600Mbit/s.

Standard IEEE 802.11 ve formě, v jaké byl definován v roce 1997, předpokládal přenosové rychlosti 1Mb/s a 2Mb/s a využití tří alternativních přenosových prostředí: frekvenčním skákáním rozptýřené spektrum (FHSS), kódově rozptýřené spektrum (DSSS) a pulsně - kódové modulace v krátkovlnném infračerveném pásmu. Z uvedených tří možností se v praxi prosadila technologie DSSS, dosažitelná přenosová rychlost však byla, ve srovnání s tím, co poskytovaly běžné lokální sítě s metalickou nebo optickou kabeláží, poněkud nízká.

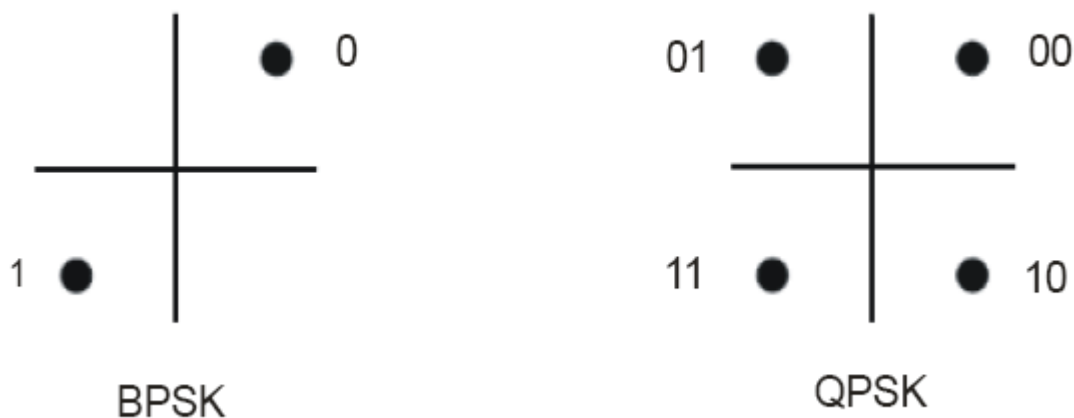
Standard	802.11b	802.11g	802.11n
Schválení standardu IEEE	1999	2003	2008
Maximální rychlost [Mbit/s]	11	54	600
Typická vzdálenost[m]	30	45	45
Modulace	DSSS CKK	DSSS CKK OFDM	DSSS CKK OFDM+
Pásmo [GHz]	2,4	2,4	2,4 5
Šířka kanálu [MHz]	20	20	20 nebo 40
Počet kanálů	3	3	26

Tab 2 Popis standardů

3.1 Modulace DSSS

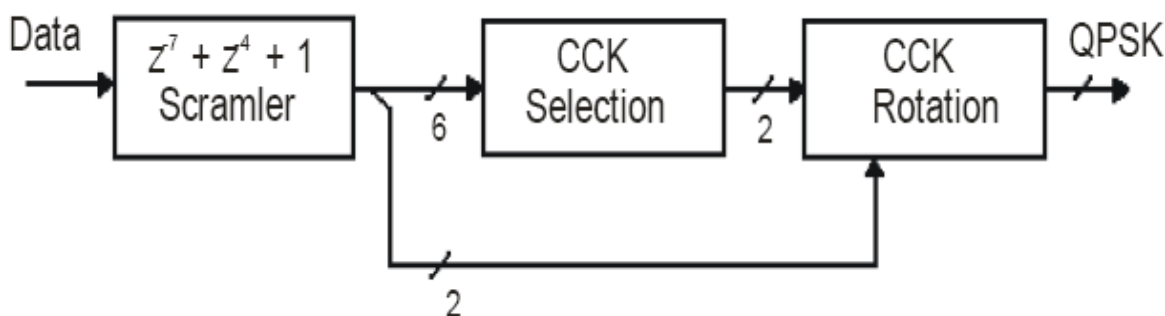
Technologie kódově rozprostřeného spektra DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) podle IEEE 802.11b se opírá o použití jedenáctibitové rozprostírající sekvence – Barkerova kódu. Tato posloupnost (10110111000) generovaná s rychlostí 11MHz je modulárně sečtena (modulo2) s přenášeným datovým signálem o rychlosti 1Mb/s, výsledek je označován jako posloupnost bitových řezů a je použit jako modulační signál pro dvoustavovou fázovou modulaci BPSK (Binary Phase Shift Keying). Sekvence pro logickou nulu a jedničku jsou navzájem inverzní.

Rozprostření pásma je označováno jako DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Rozprostírací posloupnost je pseudonáhodná, bez znalosti této posloupnosti signál připomíná náhodný šum a po modulaci pokrývá široké pásmo kmitočtů. Při dostatečně dlouhých rozprostírajících posloupnostech metoda dovoluje současný přenos více kanálů s ortogonálně volenými rozprostírajícími posloupnostmi na tomtéž pásmu. Používání rozprostřeného spektra ovšem nepřináší žádnou zvláštní odolnost proti zarušení. – systémy s rozprostřeným spektrem mohou být rušeny dalšími podobnými systémy, ale i interferencemi a také provozem klasických vysílačů pracujících s úzkým radiovým pásmem. Aby se tedy alespoň zčásti předešlo problémům s rušením, předepisují regulační orgány omezení týkající se maximálního vyzářeného výkonu. Zvýšené přenosové rychlosti 2Mb/s se dosahuje (při frekvenci bitových řezů 22MHz a stejné modulační rychlosti 11MBd) čtyřstavovou fázovou modulací QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), která je znázorněna na obrázku 3.[6]



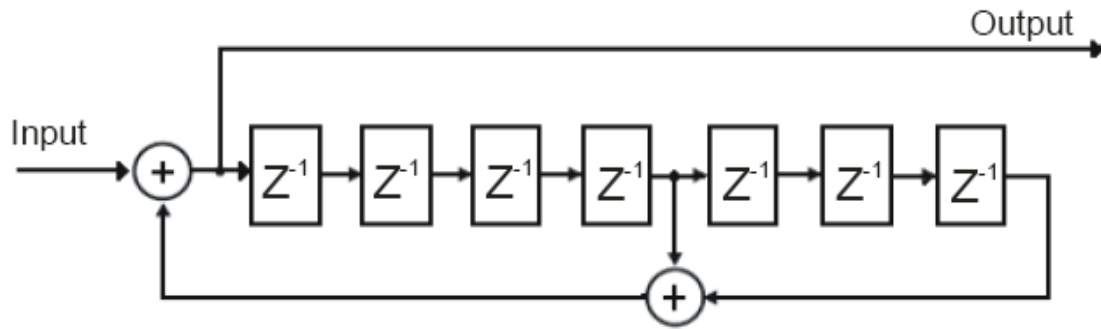
Obr 2 Modulace BPSK a QPSK

Jediná využívaná rozprostírací sekvence dovoluje dosáhnout vysoké citlivosti, pochopitelně však mizí možnost současných přenosů v jedné lokalitě na jednom kmitočtu. Podstatnou výhodou, z hlediska složitosti implementace v době vzniku standardu, je potřeba jediného modulátoru v přijímači. Poměr mezi rychlostí přenosu dat a frekvencí rozprostírající sekvence byl vzhledem k potřebě zajistit přenosové rychlosti srovnatelné s lokálními sítěmi neúnosně vysoký a vedl k náhradě Barkerovy sekvence podstatně efektivnějším mechanismem opírajícím se o komplementární kódy. Metoda, označovaná jako CCK (Complementary Code Keying), kterou vyvinuly Lucent Technologies a Harris Semiconductor, se stala základem modifikace původního standardu IEEE 802.11b.[6]



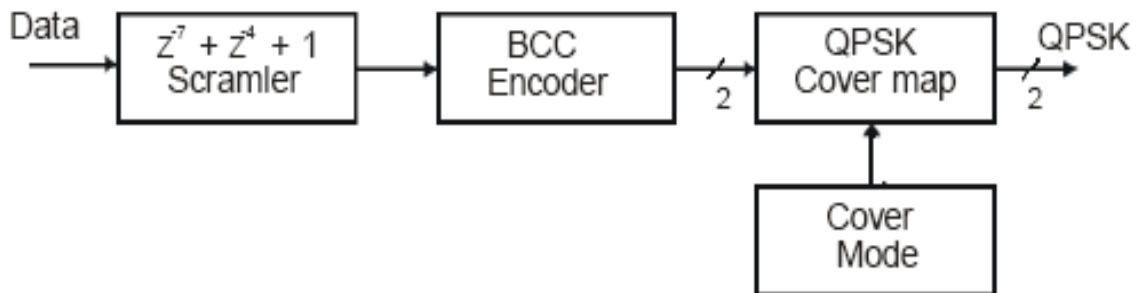
Obr 3 Modulátor CCK pro IEEE 802.11b

Osmibitová slabika přenášených dat je rozdělena na šestici a dvojici bitů, viz. Obrázek 4. Šestice bitů vybírá jednu z 64 sekvencí o délce osmi čtyřhodnotových symbolů, tyto sekvence si můžeme představit jako posloupnosti komplexních čísel $(i+1, i-1, -i-1, -i+1)$. Zbývající dvojice bitů vybírá jedno ze čtyř pootočení základní frekvence, výsledný signál je přímo využit pro řízení modulátoru QPSK. Pro dosažení bitové rychlosti 11Mb/s nám tak při modulaci QPSK postačí modulační rychlost 11MBd. Při použití modulace BPSK je potřeba jeden výstupní symbol modulátoru přenést dvěma změnami fáze, přenosová rychlost je při modulační rychlosti 11MBd snížena na 5,5Mb/s. Vysoká efektivita využití přenosového kanálu je podmíněna tím, že přenášený signál je blízký náhodné posloupnosti bitů. Takový požadavek však reálné datové signály nesplňují. Cestou, jak převést datový signál s dlouhými posloupnostmi jedniček a nul na signál blízký náhodnému, je použití scrambleru. Scrambler používaný v modulátorech IEEE 802.11b má strukturu odpovídající obrázku 5. [6]



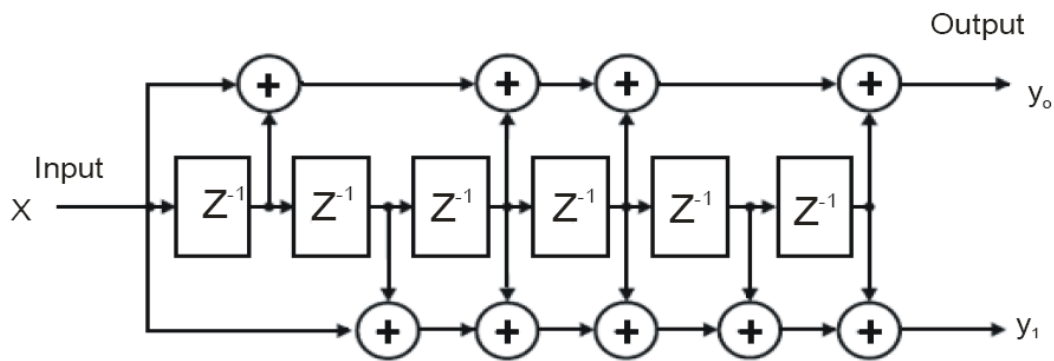
Obr 4 Scrambler $z^{-7}+z^{-4}+1$

Kódování CCK není jedinou cestou, jak dosáhnout přenosových rychlostí 5,5Mb/s a 11Mb/s. Standard IEEE 802.11b nabízí alternativně kódování PBCC (Packet Binary Convolutional Coding), které poskytuje, za cenu složitějšího dekodéru, poněkud lepší výsledky. Struktura modulátoru PBCC je znázorněna na obrázku 6.



Obr 5 Struktura modulátoru PBCC IEEE 802.11 b

Datový signál, překódovaný scramblerem je veden do kodéru BCC, který vytváří dvoubitový signál pro řízení QPSK modulátoru. Ten je ještě modifikován binárním pseudonáhodným signálem (Cover mode), který posouvá fázi modulačního signálu o 90°. Vlastní kodér BCC se opírá o dvojici polynomů s binárními koeficienty a je poměrně jednoduchý, znázorněn na obrázku 7.[6]



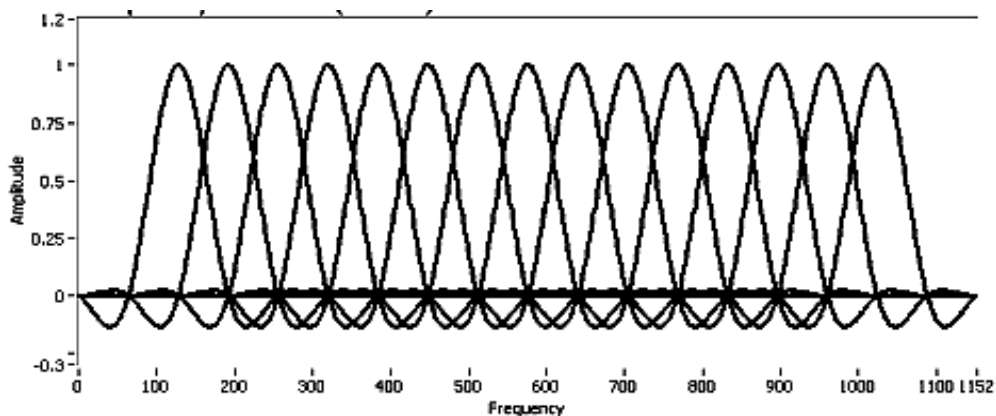
Obr 6 Struktura kodéru BCC

Jeden bit scramblerem překódovaného datového signálu vstupující do kodéru BCC vyprodukuje dvoubitový signál pro řízení QPSK modulátoru. Při modulační rychlosti 11MBd tak dosahujeme přenosové rychlosti 11Mb/s. Při použití modulace BPSK je pro přenos každého bitu použito dvou změn fáze, výsledkem je přenosová rychlost 5,5Mb/s. O kódování PBCC se opírá i nejnovější modifikace IEEE 802.11b, u které byla přenosová rychlost zvýšena na 22Mb/s. Využívá se zde osmistavová modulace 8PSK, každý symbol generovaný rychlostí 11MBd přenáší dvojici bitů scamblovaného datového signálu.

Podstatně zvýšená přenosová rychlost (ve srovnání s 1 a 2Mb/s standardu IEEE 802.11) si vyžádala úpravu rámců. Vedle synchronizační preamble o délce 144 bitů a hlavičky rámce PLCP o délce 48 bitů vysílaných rychlostí 1Mb/s (BPSK) je u technologie IEEE 802.11b možné využít zkrácenou synchronizační preamble o délce 72 bitů (pro kompatibilitu se standardem IEEE 802.11 je vysílána rychlostí 1Mb/s). Hlavička rámce PLCP je pak vysílána rychlostí 2Mb/s (QPSK), vlastní data jsou vysílána s kódování (CCK, PBCC) a rychlostí určenou v poli Signal (tedy 5,5; 11 nebo 22Mb/s).[6]

3.2 Modulace OFDM

Modulace OFDM je založena principu využití většího množství nosných vln. Tato vlny jsou navzájem ortogonální, tzn. Jejich skalární součin je nulový. Díky tomu je možné v přijímači jednotlivé nosné oddělit a získat tak informaci, kterou přenáší. Klíčovým prvkem OFDM modulátoru je inverzní diskrétní fourierova transformace IDFT (inverse discrete Fourier transform), jejíž produkt představuje časovou reprezentaci vzájemně nekorelovaných frekvenčních složek, jejichž amplitudu a počáteční fázi lze ovlivňovat a vtisknout jim tak přenášenou informaci. Opačnou operaci, tedy diskrétní fourierovu transformaci DFT (discrete Fourier transform), pak lze chápat jako sadu korelátorů vstupního signálu s jednotlivými bázovými funkcemi, které jsou tvořeny sinusovkami na kmitočtech odpovídajících jednotlivým nosným. Každý korelátor vybere ze vstupního signálu jen tu část, která má nenulovou energii na kmitočtu odpovídající dané bázové funkci. Je tak umožněna jednoznačná dekódovatelnost přenášeného signálu, přestože spektra jednotlivých nosných kmitočtů se překrývají. Na obrázku 8 je znázorněn průběh modulace OFDM.[7]



Obr 7 Modulace OFDM

3.3 Technologie MIMO

Multiple-input multiple-output (MIMO), česky více vstupů více výstupů, je abstraktní matematický model pro multi-anténní komunikační systémy. Během posledních let se výrazněji používá MIMO technologie v oblasti bezdrátové komunikace pro významný nárůst datové propustnosti a dosahu při zachování šířky pásma a celkového výdeje vyzařovací energie. Obecně MIMO technologie zefektivňuje spektrální využití bezdrátových systémů. MIMO bezdrátové komunikace využívá fenoménu vícecestné propagace k zvýšení propustnosti a dosahu nebo k snížení počtu přenosových bitových chyb, místo snahy o eliminaci efektu vícecestné propagace, o kterou se snaží tradiční Single-Input Single-Output (SISO), česky jeden vstup jeden výstup, komunikační systémy.

MIMO technologie může být také využita ve spojení s OFDM jakožto částí WiMAX standardu a bude součástí IEEE 802.11n standardu vysoké propustnosti, jehož dokončení se očekává v roce 2009.[8]

Typy technologie MIMO:

- Space Time Transmit Diversity (STTD)

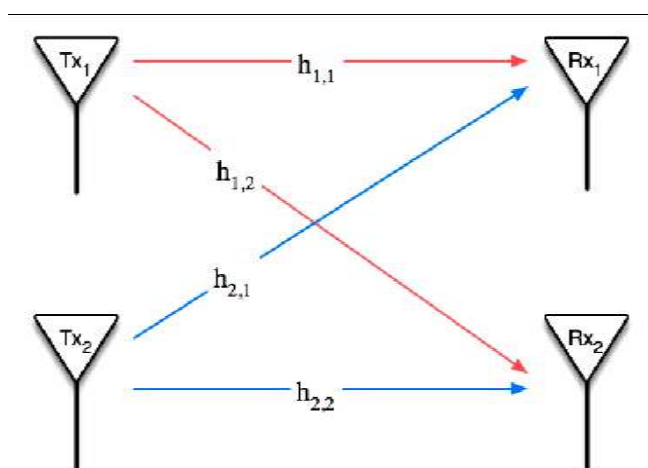
Stejná data jsou kódovány a přeneseny skrz různé antény, které efektivně zdvojnásobují sílu v kanálu. Tím se zlepšil poměr signál šum (SNR) pro okrajový výkon buňky.

- Spatial multiplexing (SM)

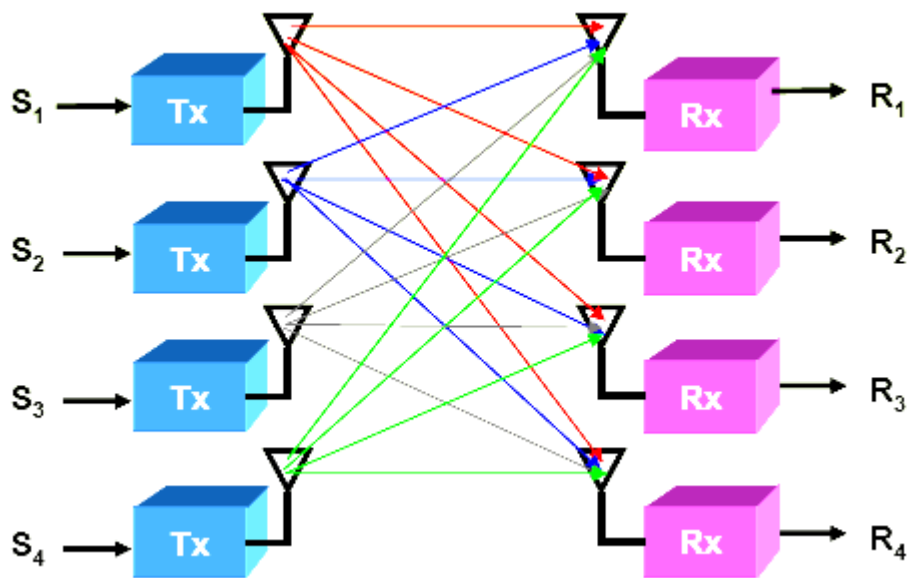
SM preferuje paralelní tok dat CPE. To může zdvojnásobit (2x2 MIMO) viz obrázek 9 nebo čtyřnásobek (4x4) viz obrázek 10 kapacitu a výkonnost. SM má vyšší kapacitu, když RF podmínky jsou příznivé a uživatelé jsou blíž k BTS.

- Uplink Collaborative MIMO Link

Jde o vliv konvenčního jednotlivé výkonového zesilovače (PA) zařízení. Dvě zařízení mohou spolupracovat a přenášet na stejném subkanálu, což může také zdvojnásobit vzestupně kapacitu.[9]



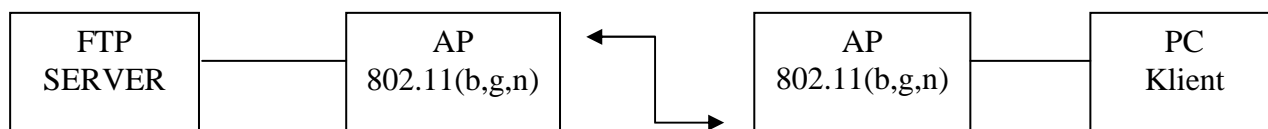
Obr 8 Přenos technologie MIMO (2x2)



Obr 9 Přenos technologie MIMO (4x4)

4. Koncept laboratorní úlohy

Úloha je navržena na principu komunikace klient-server. K přenosu dat jsou použity bezdrátové přístupové body, neboli AP. Budou také použity dvě počítačové stanice. Jedna bude fungovat jako Server a druhá jako klient. Na FTP serveru jsou uloženy data, které si klient může stáhnout. Jak je vidět z obrázku 10 budou použity dva stejné typy AP. Jeden bude fungovat jako vysílač a druhý jako přijímač. Pomocí přenosu dat z FTP serveru zjistíme, jaké přenosové vlastnosti mají různé standardy.



Obr. 2 koncept zapojení laboratorní úlohy

5. Realizace úlohy

Tato úloha byla realizována s pomocí dvou bezdrátových access pointů, které podporují všechny tři bezdrátové standardy. AP Linksys musel být rozdělán, aby mohly být zpřístupněny konektory od antén. Dále se muselo použít dvou pigtailů, aby se mohlo realizovat propojení mezi AP Linksys a slučovačem pro pásmo ISM.

Tyto bezdrátové AP se připojili ke dvou počítačovým stanicím, přičemž jedna stanice funguje jako FTP server a druhá jako klient. FTP server se realizoval pomocí programu Cesar FTP. Na zjištění, která anténa u AP je vysílací a která přijímací se použil spektrální analyzátor, ten slouží také ke grafickému znázornění přenosového pásma.

Parametry použitých bezdrátových routerů:

ASUS WL-130N

- Podporované standardy:
 - IEEE 802.11b - Wireless LAN 11Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 108Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 125Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 54Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11n - Wireless LAN 300Mbps, 2.4GHz
- Typ zařízení PCI karta
- Konektor pro externí anténu 3xRP-SMA
- Modulace:
 - DSSS - Direct Sequence Spread Spektrum
 - OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- MIMO - Multiple Input Multiple Output



Obr 11 Asus WL-130N

Linksys WAP4400N

- Podporované standardy:
 - IEEE 802.11b - Wireless LAN 11Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 108Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 125Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11g - Wireless LAN 54Mbps, 2.4GHz
 - IEEE 802.11n - Wireless LAN 300Mbps, 2.4GHz
- 3x Pevně zabudované antény
- Modulace:
 - DSSS - Direct Sequence Spread Spektrum
 - OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- MIMO - Multiple Input Multiple Output



Obr 12 Linksys WAP4400N

6. Vzorový protokol a návod k měření

Název úlohy: Měření vlastností standardu 802.11n

Zadání:

1. Prohlédněte si zapojení pracoviště pro měření. Seznamte se s ovládáním spektrálního analyzátoru a nastavení Access pointů.
2. Proveďte spojení mezi PC 1 a PC 2 . Prozkoumejte přenosovou rychlost všech standardů, které access pointy podporují.
3. Realizujte spojení pomocí standardu 802.11n, když vysílací antény budou spojeny přes splitter.
4. Ze získaných hodnot sestavte přehlednou zprávu o měření a sproveďte naměřené hodnoty s teoretickými předpoklady.

Úvod:

Wi-Fi je standard pro bezdrátové lokální síť WLAN (Wireless Local Area Network). Vychází ze specifikace IEEE 802.11. Wi-Fi lze obecně použít dvěma způsoby: jako WLAN pro bezdrátové propojení přenosných zařízení a s použitím směrových antén také pro bezdrátové připojení do sítě Internet (jako technologie tzv. poslední míle).

Použité kmitočtové pásmo, maximální vyzářený výkon a maximální přenosová rychlost závisí na typu standardu. 802.11b využívá pásmo ISM 2,4 GHz, maximální přenosová rychlost je 11 Mbit/s, maximální vyzářený výkon je 100 mW EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power). Jako 2 rozprostírací metoda se používá DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Standard používá 13 kanálů, každý o šířce pásma 22 MHz.

Standard 802.11g používá kmitočtové pásmo ISM 2,4 GHz, maximální přenosová rychlost je až 54 Mbit/s. Standard používá modulaci OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) Modulace OFDM využívá 52 subnosných, mezi kterými je kmitočtový odstup 312,5 kHz.

Standard 802.11n využívá kmitočtové pásmo ISM 2,4 GHz nebo 5GHz, maximální přenosová rychlost až 600Mbit/s. Tento standard využívá také modulace OFDM. Standard 802.11n dosahuje takových rychlostí díky technologií MIMO (multiple input multiple output), která využívá vícero vysílacích a přijímacích antén.



Obr 13 Schéma zapojení laboratorní úlohy

Přehled nastavení některých zařízení viz. Obr 13

Access point Linksys

IP: 192.168.1.1, Heslo: žádné, Uživatelské jméno: admin

Access point Asus

IP: 192.168.1.1, Heslo: admin, Uživatelské jméno: admin

Pc1

Uživatelské jméno: student

Heslo:

Pc2

Uživatelské jméno: student

Heslo:

Postup měření:

2. Prvně nastavíte přes PC 1 Access point Linksys. Nastavení provedete tak, že zapnete internetový prohlížeč a napíšete IP adresu daného Access pointu. Poté zadáme login a heslo. Po potvrzení by vám měla naběhnout modrá stránka Linksys, která slouží k nastavení. Zde kliknete na ikonu WIRELESS. Dále na pod ikonu Basic wireless setting. Tady nastavíte používaný standard a kanál. U Linksys to bude standard MIX (b, g, n) a kanál sedm. Tohle nastavení zůstane po celé měření stejné.

Na druhém PC nastavíte access point ASUS také přes internetový prohlížeč. Stejným způsobem jako u prvního access pointu. Rozdíl je v zadání Hesla a Uživatelského jména viz. Přehled nastavení některých zařízení. Zde se budou měnit standardy podle zadání prvně na 802.11b, pak 802.11g a nakonec 802.11n.

V PC 2 otevřete ASUS wireless controller a připojí te se k AP Linksys, který je připojen k PC 1.

Na PC 1 kliknete na ikonu programu Cesar FTP, který si sám definuje svoji IP adresu. Tuto adresu si zapište a program nevypínejte.

Zapněte Total Commander na PC 2 a pomocí ikony FTP-připojit se navažte spojení s FTP serverem a stáhněte soubor TEST.ISO. Stopujte u každého standardu délku přenosu a vypočítejte přenosovou rychlost. Výsledky zapište do tabulky.

Standard	Velikost souboru [Mb]	Čas [s]	Přenosová rychlost [kbyt/s]
802.11b	684	420	1628
802.11g	684	214	3196
802.11n	684	61	11 213

Tab. 3 Vypočtené a naměřené hodnoty 1

3, Na začátku této úlohy musíte sundat vrchní kryt na Linksys a s pomocí spektrálního analyzátoru zjistíte, které antény jsou vysílací a které přijímací. Vysílací mají vyšší úroveň na spektrálním analyzátoru. Dále připojíte vysílací antény ke slučovači pro pásmo ISM.

Nastavíte spektrální analyzátor následně: FREQ – CENTER 2446 MHz, SPAN – SPAN MANUAL 2 MHz, SWEEP – SWEEPTIME MANUAL 250 ms; BW – RES BW MANUAL 100 kHz, VIDEO BW MANUAL 100 kHz; AMPT – RF ATTEN MANUAL 20 dB, REF LEVEL -20 dBm, RANGE LOG MANUAL 20 dB, UNIT dBm. Spojení s FTP serverem realizujeme stejně jako v bodě dva. Naměřené hodnoty zapište do tabulky 4.

Standard	Velikost souboru [Mb]	Čas [s]	Přenosová rychlost [kbyt/s]
802.11n	684	360	1900

Tab. 4 Vypočtené a naměřené hodnoty 2

Použité přístroje:

- Počítačová stanice, OS Microsoft Windows XP
- Notebook, OS Microsoft Windows XP
- Spektrální analyzátor RODHE&SCHWARZ FSP3, 9kHz až 3GHz
- Slučovač pro pásmo ISM,
- Bezdrátový router Linksys WAP4400N
- Bezdrátový router ASUS WL - 130N
- Návod k obsluze spektrálního analyzátoru FSP3,

7. Závěr

V bakalářské práci se prostudovalo všech sedm vrstev modelu OSI, přičemž nejdůležitější dvě jsme probrali podobněji. Zjistilo se, že vrstva MAC zajišťuje řízený přístup mediu, fyzické adresování a je hardwarově závislá. Zatím co fyzická vrstva poskytuje elektrické mechanické vlastnosti přenosovému mediu. Na přenosové rychlosti dat u standardů 802.11 je velmi podstatná modulace, jaký daný standard používá. U standardu 802.11b je to modulace DSSS. Standard 802.11g, který je vylepšením 802.11b, používá modulaci OFDM. Další standard je 802.11n kde se také používá modulace OFDM, ale navíc využívá technologii MIMO, která zvyšuje propustnost, dosah a snížení přenosových chyb.

Při měření se zkoumalo, jaké budou přenosové rychlosti jednotlivých standardů v normálním prostředí bez přidaného rušení. Naměřené hodnoty jsou nižší než teoretický předpoklad, ale to je způsobeno rušením prostředí a malou vzdáleností mezi přijímací a vysílací anténou. U měření kde se vysílací antény připojily na slučovač pro pásmo ISM a měřený standard byl 802.11n se zjistilo, že přenosová rychlost je velmi nízká. Přenosová rychlost se dala srovnávat se standardem 802.11b. Tenhle výsledek mohl vzniknout tím, že ve slučovači pro pásmo ISM vzniká útlum a vývodní kabel na anténu není dostatečně dlouhý, Také tím, že při přenosu dat se standardem 802.11n jsou pouze dvě antény, nemůže fungovat technologie MIMO, která je základním prvkem standardu 802.11n.

8. Seznam literatury

- [1] http://cs.wikipedia.org/wiki/OSI_model
- [2] http://cs.wikipedia.org/wiki/Fyzick%C3%A1_vrstva
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Referen%C4%8Dn%C3%AD_model_ISO/OSI
- [4] <http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=115&clanekID=121>
- [5] http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [6] JANEČEK, J., BÍLÝ, M. Lokální síť. *Vydavatelství ČVUT*. Praha: 2004. 180s. ISBN: 80-01-02900-X
- [7] ŘÍČNÝ, V.; KRATOCHVÍL, T. *Základy televizní techniky*. Brno: VUT, 2002. 178 s. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [8] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/480701-mimo>
- [9] Dr. Jacob Sharony Director, Network Technologies Division Center of Excellence in Wireless & IT Stony Brook University www.ece.sunysb.edu/~jsharony
- [10] 802.11b IEEE Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. IEEE New York 1999.

Seznam zkratek

AP.....	(access poin) – přístupový bod
BCC.....	kodér bezdrátové sítě 802.11b
BPSK.....	(Binary Phase Shift Keying) – dvoustavová fázová modulace
CCK	(Complementary Code Keying) – kódování komplementárním kódem
CSMA/CD.....	(Carrier Sense Multiple Access) - pravděpodobnostní protokol
DSSS	(Direct Sequence Spread Sprectrum) – kódově rozprostřené spektrum
IEEE.....	(Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
MAC.....	(Media Access Control) – jedinečný identifikátor síťového zařízení
MIMO	(Multiple-input multiple-output) – abstraktní matematický model pro multi-anténní komunikační systémy
OSI	(Open Systems Interconnection) – propojení otevřených systémů
OFDM.....	(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
QPSK.....	(quadrature phase shift keying) –kvadrurní fázová modulace
PBCC	druh kódování v systému 802.11b
PLCP	podvrstva standardu IEEE 802.11
Wi-Fi.....	(Wireless Fidelity) –bezdrátová věrnost
WiMAX	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – bezdrátová technologie pro přenos dat