

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA



Analýza spolehlivosti datových bezdrátových přenosů

Bakalářská práce

VEDOUcí PRÁCE: Ilja Mašík

AUTOR: David Kysela

PRAHA 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Kysela

obor Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Analýza spolehlivosti datových bezdrátových přenosů**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Bezdrátové přenosy v současnosti
4. Nástroje pro analýzu bezdrátových přenosů
5. Analýza reálného bezdrátového přenosu
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

Zandl, P.: Bezdrátové sítě WiFi, Praha: Computer Press, 2003, ISBN 80-7226-632-2.

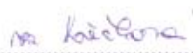
Pechač, P.: Šíření vln v zástavbě, Praha: BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-186-1

Crownhill Associates Ltd.: Home of MetaGeek's Wi-Spy in Europe, 2009 <<http://wi-spy.co.uk/>>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ilja Mašík**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Čestné prohlášení:

Já, David Kysela, student Technické fakulty ČZU v Praze prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením ing. Ilji Mašíka a veškeré materiály, z nichž jsem čerpal pro svoji práci, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne:

podpis:

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Ilju Mašíkovi za poskytnuté informace a odbornou konzultaci.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navržení postupu a prostředků pro analýzu spolehlivosti datových bezdrátových spojů se zaměřením na malé domácí počítačové sítě. Zaměřením na tuto skupinu uživatelů vyplývají požadavky na jednoduchost dané metody a nízké finanční náklady na použité prostředky. V teoretické části této bakalářské práce je stručně nastíněn potenciál bezdrátových přenosů s popisem současně používaných technik pro zajištění spolehlivého bezdrátového datového přenosu s požadovanou přenosovou kapacitou. V kapitole věnované reálnému bezdrátovému přenosu, jsou teoretické poznatky převedeny do praxe a na základě získaných výsledků je stanovena spolehlivost reálného spoje spolu s možnostmi zlepšení stávajících vlastností tohoto přenosu.

Klíčová slova: WiFi, spolehlivost, modulace, elektromagnetické vlnění.

Summary

The goal of this bachelor work is proposing a process and means for the analysis of data wireless connection reliability with focusing on small home computer nets. Focusing on this group of users there are following requirements for simplicity of a given method and low financial costs of used facilities. In the theoretical part of this bachelor work there is a short outline of wireless transmission potential with the description of present used technique for ensuring reliable wireless data transmission with required transmission capacity. In the chapter devoted to real wireless transmission there is the theoretical knowledge put into practice and on the base of obtained results there is determined the reliability of real connection together with the possibilities how to improve the existing features of this transmission.

Key words: WiFi, reliability, modulation, electromagnetic wave.

Obsah:

1.	Úvod.....	- 1 -
2.	Cíl práce a metodika	- 1 -
3.	Bezdrátové přenosy v současnosti	- 2 -
3.1.	Trendy současných bezdrátových přenosů.....	- 2 -
3.2.	Vlastnosti elektromagnetických vln.....	- 4 -
3.3.	Současné principy bezdrátových datových přenosů	- 6 -
3.3.1.	Modulace	- 6 -
3.3.2.	Dvoustavové modulace	- 6 -
3.3.3.	Vícestavové modulace.....	- 7 -
3.3.4.	Zvýšení spolehlivosti bezdrátových datových přenosů.....	- 9 -
3.4.	Jak to funguje	- 11 -
3.4.1.	Mobilní telekomunikační služby	- 11 -
3.4.2.	Bezdrátové sítě WiFi	- 12 -
3.4.2.1.	IEEE 802.11b.....	- 13 -
3.4.2.2.	IEEE 802.11g.....	- 13 -
4.	Nástroje pro analýzu bezdrátových sítí.....	- 15 -
4.1.	Modely šíření elektromagnetických vln.....	- 15 -
4.1.1.	Šíření ve volném prostoru	- 15 -
4.1.2.	Šíření v poloprostoru	- 17 -
4.1.3.	Mechanismy šíření vln v zástavbě	- 18 -
4.2.	Rozdělení modelů pro šíření radiových vln	- 20 -
4.2.1.	One – Slope model	- 20 -
4.2.2.	Multi – Wall model	- 20 -
4.2.3.	Optické modely	- 21 -
4.3.	Reálná úroveň signálu	- 21 -
4.4.	Analýza provozu sítí	- 22 -

5.	Analýza reálného bezdrátového přenosu	- 23 -
5.1.	Podmínky pro testování.....	- 23 -
5.2.	Průběh testování	- 25 -
5.3.	Výsledky testování	- 26 -
5.4.	Možnosti zlepšení pokrytí signálu sítě.....	- 29 -
5.5.	Výběr nápravného řešení.....	- 32 -
6.	Závěr	- 33 -
7.	Seznam literatury	- 34 -
	Seznam obrázků.....	- 36 -
	Seznam tabulek	- 36 -
	Seznam použitých zkratk	- 37 -
8.	Přílohy.....	- 39 -

1. Úvod

Mobilní bezdrátové služby jsou v současnosti jednou z nejrychleji rozvíjejících se oblastí, proto je sledování jejich spolehlivosti důležitou a v mnoha aplikacích klíčovou otázkou, která se prolíná celou řadou vědních oborů a jejich základní principy jsou uvedeny ve 3. a 4. kapitole této bakalářské práce.

Z počátku 3. kapitoly jsou rozebrány základní fyzikální popisy elektromagnetických vln, jejich podstata a šíření. Pozornost je věnována viditelnému záření, jehož vlastnostmi se zabývá samostatná část fyziky zvaná optika a pásma ultrakrátkých vln a mikrovln, které v současné době stojí v popředí zájmu moderní radiotechniky. V této kapitole jsou dále rozebrány současné metody radiotechniky pro přenosy digitálních signálů se zaměřením na typy v současné době používaných modulací s popisem jejich výhod a nevýhod se zaměřením na odolnost a kapacitu přenášených informací, z kterých vyplývá nutnost dalšího zabezpečení bezdrátových přenosů zavedením ochranného kódování. V závěru 3. kapitoly je popsáno použití těchto technologií na konkrétních v současné době masově používaných systémech mobilních telekomunikačních služeb GSM a WiFi.

Ve 4. kapitole věnované analýze bezdrátových přenosů jsem se zaměřil na modelování šíření elektromagnetických vln s důrazem na šíření těchto vln v zástavbě. Tato část 4. kapitoly obsahuje rozdělení modelů, podle způsobu řešení problematiky šíření signálu. Podrobněji popisují empirické modely, pro jejich snadné a rychlé použití související s nízkými nároky na vstupní hodnoty, při zachování dostačující přesnosti výstupních hodnot. V závěrečné části 4. kapitoly se věnuji problematice údržby počítačových sítí. Kapitola obsahuje základní principy a nástroje k analýze provozu sítě s přihlédnutím k provozu sítí bezdrátových.

V 5. kapitole se věnuji analýze reálného spoje. Popisují zde způsob prováděného měření spolu s podmínkami, za kterých měření probíhalo. Ve střední části této kapitoly prezentují výsledky měření a poukazují na možné souvislosti mezi jednotlivými jevy s následným vyhodnocením výsledků. V závěru se věnuji možnostem nápravy nedostatků v signálovém pokrytí dané sítě za pomoci empirických modelů pro šíření elektromagnetických vln. V zástavbě jsem navrhl několik možností pro nápravu stávající situace, ze kterých jsem nakonec vybral jedno řešení s ohledem na požadavky a finanční možnosti uživatelů dané sítě.

2. Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je seznámení se současnými metodami datových bezdrátových přenosů a trendy jejich vývoje s důrazem na zajištění spolehlivosti datových přenosu těchto spojů při požadované přenosové kapacitě a následné využití těchto poznatků v praxi. Za praktický cíl jsem si stanovil analýzu malé bezdrátové domácí sítě se stanovením postupů pro činnost výběr či vývoj použitých nástrojů.

K řešení problematiky analýzy spolehlivosti datových bezdrátových přenosů jsem si opatřil informace, které jsou podrobněji popsány v 3. a 4. kapitole této práce. Na jejich základě jsem se rozhodl k analýze bezdrátových WiFi sítí použít test dostupnosti nástrojem Ping. Pro automatizaci měření jsem si vytvořil program ve Visual Basicu a stáhl program NetworkStumbler pro měření úrovně signálu. Z nedostatků sítě, získaných testování, jsem na základě modelů šíření elektromagnetických vln v zástavbě popsaných ve 4. kapitole, navrhl nápravné řešení.

3. Bezdrátové přenosy v současnosti

3.1. Trendy současných bezdrátových přenosů

Mobilní radiokomunikační služby jsou v současnosti jednou z nejrychleji rozvíjejících se oblastí.

Velký potenciál bezdrátových přenosů se projevil již v dobách počátku telegrafie. První telegrafy byly propojeny metalickým vedením a nutnost zavedení kabelových tras ke všem místům, kde by byl telegraf zapotřebí, bylo zdoluhavé a nákladné. Z těchto důvodů již v roce 1860, tedy pouhých 16 let od představení Morseova telegrafu, spatřil světlo světa bezdrátový telegraf založený na principu radiových vln. Tím začal rychlý rozvoj telegrafie, který trval déle než sto let.

V současné době dochází v oblasti bezdrátových přenosů k vytlačování analogových technologií technologiemi digitálními, které jsou méně náchylné k rušení a umožňují lepší využití oblasti radiového spektra. Skutečnost, že přenos konečného počtu stavů je snazší než přenos spojitěho signálu, tedy signálu s nekonečně velkým počtem stavů, je znám již delší dobu. První nespojitě bezdrátové přenosy byly používány z počátku v kosmickém výzkumu a v náročných průmyslových podmínkách. K jeho masovému rozvoji došlo až v okamžiku, kdy samotná data určena k přenosu již ve svém původním stavu byli digitalizovány. Ke zvýšené potřebě přenosu informací v digitální podobě vedl rozvoj výpočetní techniky zasahující do všech možných činností lidstva a s tím související rozvoj počítačových sítí

Dobrym příkladem pro vytlačování analogových technologií je přechod z analogového televizního vysílání na vysílání digitální v systému DVB-T, k jehož dokončení by mělo dojít právě v současné době. Vzhledem k tomu, že jde o přechod týkající se celé České republiky, zaznamenaná výhoda digitalizace skoro každý obyvatel ČR minimálně výrazným nárůstem počtu televizních stanic, který je právě důsledkem lepšího využívání radiového spektra digitálními technologiemi. Zatím co při analogovém přenosu byla potřeba pro přenos vysílání jedné stanice jedno frekvenční pásmo, současný standard digitálního vysílání umožňuje v jednom frekvenčním pásmu přenos až 5 televizních stanic. Na druhou stranu spousta uživatelů již zaznamenala i stinné stránky digitálního vysílání, které je více náchylné na kvalitu přenosové trasy obzvláště na kvalitu přijímání signálu. Zatím co u analogového vysílání se signál se zhoršujícími se podmínkami přenosu zhoršoval postupně a bylo možno přijímat i hodně nekvalitní signál, tedy za cenu hodně nekvalitního obrazu, u digitálního přenosu si přenášená zpráva stále uchovává své kvality bez ohledu na kvalitu přenosové trasy, ale jen do určité míry, kdy signál překročí mez poškození, kterou již přijímač není schopen korigovat. V úzké oblasti kolem této hodnoty se obraz začíná trhat a kostičkovat a již při dalším nepatrném zhoršení signálu obraz mizí zcela, zatím co u analogu by bylo ještě možno vysílání sledovat i když s duchy.

Rozhlasové vysílání v současné době pracuje jak v podobě digitální, tak že veřejnoprávní rozhlasové stanice byly přidány do televizního multiplexu, ale to je v současné době jediný digitální bezdrátový rozhlasový vysílání s celorepublikovým pokrytím. Jinak rozhlasové vysílání setrvává u analogové formy vysílání, u kterého rozhlasové vysílání ještě setrvává z několika důvodů. Jedním z nich je, že České radiokomunikace jsou v současné době finančně zatíženy přechodem od analogového televizního vysílání k digitálnímu a nemá ani podporu od jednotlivých vlastníků radiových stanic, které mají strach ze ztráty posluchačů z důvodu nutnosti pořízení přístrojů pro příjem digitálního rozhlasového vysílání.

Opravdový boom v rozvoji mobilních technologií přinesly mobilní telefony, založené na buňkových sítích, které původně vznikly pro zavedení telefonů do řídky osídlených

a těžce přístupných oblastí, do kterých bylo obtížné a nerentabilní zavádět kabelovou telefonní síť. Možnost být neustále ve spojení vyvolala opravdovou revoluci mobilních technologií, možnosti mobilních telefonů neustále rostly od krátkých textových zpráv (SMS) přes multimediální zprávy (MMS) k přístupu na internet. Tím se integrace mobilních telefonů a počítačů začaly stále více prolínat. Právě přiblížení všemožných mobilních zařízení počítačům a požadavek jejich častého propojení vedl v této oblasti k rozvoji bezdrátových technologií se zaměřením na osobní sítě (PAN) či lokální sítě (LAN). Člověk si přeci nepořídí mobilní zařízení, aby pak k němu nosil spoustu propojovacích kabelů. Ne, že by možnost bezdrátového přenosu nebyla známa již dlouhou dobu před tím, ale až zvýšená poptávka po těchto technologiích vedla k jejich zdokonalení a poklesu ceny na přijatelnou úroveň pro masové rozšíření. V dnešní době je mobilní telefon multifunkční zařízení obsahující v sobě digitální fotoaparát s možností úpravy fotografií, přehrávačem hudby různých formátů, malým televizorem, obsahuje různé technologie přístupů do celosvětové počítačové sítě internet ať již prostřednictvím buňkové sítě GSM či prostřednictvím integrovaných technologií pro přístup do sítí LAN či PAN jako jsou systémy WiFi a Bluetooth až po družicovou komunikaci, to ale jen v případě, kdy daný mobilní telefon obsahuje i satelitní telefon, což ještě stále není příliš častá kombinace, ale spíše jen z důvodu nižší poptávky po této službě, která se většinou využívá jen v případech odlehklých částí naší planety, které nejsou pokryty buňkovými sítěmi mobilních operátorů. Mnohem častěji je v mobilních telefonech integrován systém GPS, který je založen na příjmu satelitního signálu. Takže jen těžko rozhodnout, které zařízení je ještě telefonem a které už malým počítačem. Obliba mobilních zařízení šla tak rychle nahoru, že v současné době v civilizovaném světě má mobilní telefon skoro každý, nebo by bylo přesnější napsat multifunkční číslicové zařízení.

Družicová komunikace je založena na myšlence celosvětového pokrytí signálem z umělých satelitů obíhajících kolem Země. Největší zájem a v současné době i nejméně místa je na geostacionární oběžné dráze, která se nachází ve výšce necelých 36 000 km nad zemí a její oběžná doba kolem země se rovná době jednoho otočení Země, tedy přibližně 24 hodinám, takže z pohledu uživatele na zemském povrchu se satelit jeví nehybným dojmem. Z této dráhy je satelit schopen pokrýt zhruba jednu třetinu zemského povrchu, takže teoreticky na pokrytí celé planety postačí tři satelity, ve skutečnosti se používají čtyři a několik záložních satelitů. Vzhledem k velkým vzdálenostem od země je pro uskutečnění spojení zapotřebí rozměrných úzce směrových antén s volným výhledem na oblohu, takže tato mobilní zařízení mají rozměry příručního zavazadla ne zrovna o nezanedbatelné hmotnosti. Vzhledem ke své neměnné pozici nad zemským povrchem geostacionární dráha poskytuje stabilní komunikační spojení v případě nepohybujícího se účastníka, pro spojení pohybujícího účastníka je zapotřebí vybavit anténu systémem korigujícím pohyb účastníka vzhledem k satelitu. Problém s velikostí antén pro satelitní komunikaci řeší umístění družic na nízké oběžné dráze ve výškách 650 až 1 450 km nad zemským povrchem. Vzhledem k podstatně menší vzdálenosti satelitu od země vystačí zařízení na povrchu země s malými všesměrovými anténami. Vzhledem k tomu, že družice na nízké oběžné dráze oběhne zemi za 80 až 140 minut, je všesměrová anténa nutností vzhledem k vysoké rychlosti družice vůči zemi, tato rychlost má i špatný vliv na stabilitu udržení spojení za stabilní se považují přenosy v době trvání 5 až 20 minut. Vzhledem k nízké oběžné dráze satelit pokryje i menší plochu země a pro pokrytí planety je tedy zapotřebí větší množství satelitů v tomto případě 50 až 80. Střední oběžná dráha ve výšce nad 10 000 km se využívá převážně pro navigační účely například systémy GPS nebo GALILEO a provoz komunikačních služeb je zde spíše výjimečný.

3.2. Vlastnosti elektromagnetických vln

V současné době jsou pro bezdrátový přenos dat používány systémy založené na principu vyzařování a přijímání elektromagnetických vln.

„Elektromagnetická vlna má navzájem dvě neoddělitelné složky. Elektrickou charakterizuje vektor intenzity elektrického pole a magnetickou charakterizuje vektor magnetického pole. Tyto vektory jsou navzájem kolmé, mají souhlasnou fázi a jejich kmity probíhají kolmo ke směru, kterým se vlna šíří. Elektromagnetické vlny jsou ve fyzice charakterizovány vlastnostmi vlnovými a kvantovými. Za vlnové vlastnosti pokládáme odraz, lom, ohyb, interferenci a polarizaci vln. Za kvantovou vlastnost považujeme např. představu fotonu, který vyvolává fotoelektrické jevy.“[15]

Rychlost šíření elektromagnetických vln závisí na prostředí, kterým se vlna šíří. Rychlost šíření elektromagnetických vln ve vzduchu je přibližně stejná jako ve vakuu a je možno počítat s rychlostí $v = 3 \times 10^8$ m/s.

Charakter chování elektromagnetické vlny určuje primárně její pracovní frekvence. V popředí zájmu moderních bezdrátových přenosů je vlnění z oblasti UHF, mikrovln a viditelného záření. Přehled elektromagnetického spektra viz příloha 1.

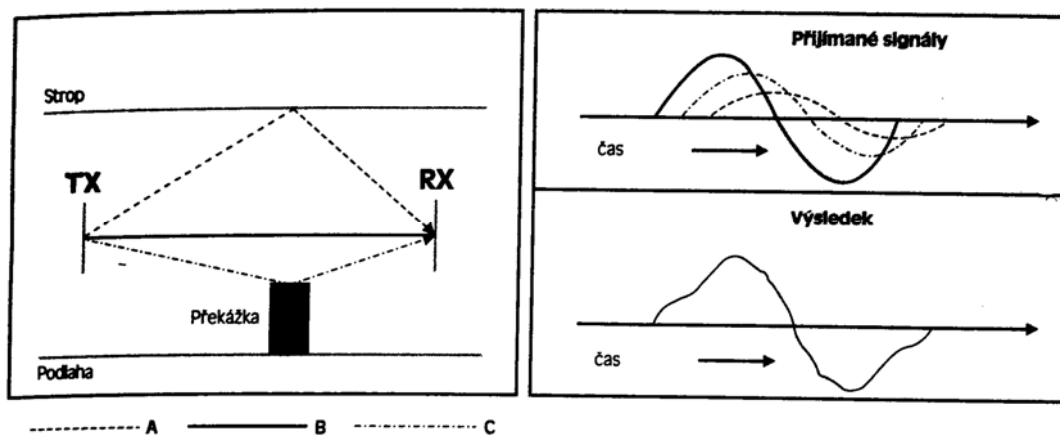
UHF Ultra Krátké Vlny je část radiového spektra s frekvencemi od 0,3 GHz do 3 GHz a vlnových délek od 1 m do 0,1 m Důvodem jsou vhodné vlastnosti elektromagnetických vln pro daný způsob bezdrátových přenosů. Tyto frekvence vykazují relativně malé ztráty šířením, dobrá schopnost odrážet se, ohýbat se a pronikat překážkami v zástavbě, tyto jednotlivé mechanismy šíření se uplatňují podle okolního prostředí, ve kterém se signál šíří.

Mikrovlny jsou část radiového spektra s frekvencemi od 3 GHz do 300 GHz a vlnových délek od 0,1 m do 10^{-6} m. Z této oblasti jsou pro radiové přenosy v současné době nejvíce využívaná oblast blízká UHF a vlnění zde má podobné vlastnosti. S klesající vlnovou délkou klesá prostupnost záření překážkami a záření je těmito překážkami pohlcováno za vzniku tepla. Mikrovlny jsou nejvíce pohlcovány vodou a organickými látkami. Například frekvence 2,4 GHz je přímo rezonančním kmitočtem vody. Každá částice hmoty, zahřátá na teplotu vyšší než absolutní nula, kmitá kolem rovnovážné polohy vlivem přitažlivých sil mezi jednotlivými částicemi hmoty. Částice kmitají tím intenzivněji, čím je vyšší teplota dané látky. Molekuly vody kmitají právě kolem frekvence 2,4 GHz a pokud se setkají s mikrovlnným zářením o této frekvenci, se vlivem skládání těchto kmitů, začnou molekuly vody rozkmitávat, dochází k rezonanci a rostoucí amplituda kmitání vody se na venek projevuje její zvyšující se teplotou. Díky této rezonanci frekvence okolo 2,4 GHz nejlépe rozkmitá právě molekuly vody, na jiné molekuly toto záření již takový vliv nemá. Tohoto jevu se například využívá u mikrovlnné trouby, tím že potraviny obsahují velký podíl vody, od kterého se následně ohřeje i zbylá část pokrmu. Schopnost mikrovln zahřívát různé látky vede k jejich dalšímu využití jako zdroje tepla, kde se ale používá diametrálně vyšších vyzářených výkonů, než v radiotechnice. Tyto velké výkony jsou u mikrovlnné trouby samozřejmě odstíněny a nemohou tedy působit mimo troubu, toto odstínění samozřejmě není zcela dokonalé a nepatrná část tohoto záření stíněním pronikne. Tato část sice neohrožuje uživatele mikrovlnné trouby, ale již není zanedbatelná vůči výkonům používaným pro datové přenosy na těchto frekvencích. Z tohoto důvodu chod mikrovlnné trouby má negativní vliv na tyto přenosy.

Vlnové délky z horní části UHF a mikrovln umožňují konstrukci relativně malých antén vhodných pro mobilní zařízení. Přesto, že požadavky na stále větší přenosovou rychlost směřují k využívání vyšších frekvencí nosných vln, současná radiotechnika využívá z oblasti mikrovln její spodní část takzvanou oblast Super krátkých vln, které si ještě zachovávají poměrně dobré vlastnosti s ohledem na pronikání překážkami.

Pokud je signál zachycen mimo přímou viditelnost antén jde o signál odražený, ohýbaný anebo prostupující překážkami s velkým rizikem vícecestných interferencí. Problematice vícecestného šíření se při využívání prostorových povrchových vln prakticky nevyhneme a je potřeba s nimi počítat. Vliv mnohacestného šíření je znázorněn na obr. 1, kdy vysílač i přijímač používají všesměrové antény a signál je tedy vysílán do všech směrů i přijímán ze všech směrů. Vzhledem k tomu, že signál se odráží od zdí, stropů i předmětů, vznikne velké množství signálových cest od vysílače k přijímači. Na obr. 1 vlevo pro názornost zobrazuje tři cesty, „B“ je přímá viditelnost, tento signál dorazí k přijímači nejdřív a nejsilnější, vzhledem k tomu, že jde nejkratší možnou cestou. Po té postupně dorazí signály „C“ a nakonec „A“, které jdou delšími cestami a jsou i slabší vzhledem k tomu, že urazili delší cestu a část své energie spotřebovali i na odraz, toto znázorňuje obr. 1 vpravo nahoře. Jenže radiový signál je vlnění, které se v každém bodě skládá a výsledný signál je tedy složen ze všech přichozích signálů. Toto skládání s výsledným signálem neprovede nic pěkného, jak ukazuje obr. 1 vpravo dole.

obr. 1 Vícecestné interference zdroj [17]



Viditelné záření neboli světlo je část elektromagnetického spektra viditelná lidským okem a zaujímá oblast vlnových délek od 400 nm do 700 nm a frekvencích 10^{14} Hz a část fyziky zabývající se vlastnostmi světla se nazývá optika. Vzhledem ke svým velmi krátkým vlnovým délkám má světlo horší vlastnosti šíření co se odrazu od překážek a průchodu překážkami týká. Denní světlo je chromatické, tedy složené z většího počtu vlnových délek. Pro datové přenosy se používá světlo monochromatické, tedy o jedné vlnové délce. Typickým představitelem monochromatického světla jsou například lasery, které se také k datovým přenosům nejčastěji používají. Jde tedy o úzce směřovaný paprsek, který optické přenosy předurčuje ke spojení bod bod, tedy takzvané mosty. Výhodou optických přenosů je velká datová propustnost stejná jako u optických kabelů a proto se tato bezdrátová technologie dá bez větších problémů využít i jako článek v optických kabelových trasách. Díky vysoké směrovosti přenosu je paprsek prakticky nemožné odposlouchávat.

3.3. Současné principy bezdrátových datových přenosů

3.3.1. Modulace

Trvale vysílaná vlna se stálým kmitočtem a amplitudou nepřenáší žádnou informaci. (jedinou informací, kterou nese, je informace o jejím kmitočtu a rozkmitu), proto se frekvence popřípadě fáze nebo amplituda nosné vlny ovlivňují signálem přenášené zprávy. Tento proces, ovlivňování základních parametrů nosné vlny, se nazývá modulace. V současné době převládají modulace digitální, tedy základní parametry nosné vlny jsou ovlivňovány daty v digitální podobě. Při radiovém přenosu jsou data přenášena v sériové podobě, pro kterou je potřeba zajistit synchronizaci přenášených dat. Tuto informaci si musí nést sám signál. Synchronizace probíhá na hrany signálu, z tohoto důvodu jsou pro radiový přenos absolutně nevhodné přenosy dat obsahující dlouhé sekvence nul nebo jedniček, ke kterým v digitálních datech v počítači docházet může. Proto se data vstupující do modulátoru dále vhodně kódují, aby nedocházelo k dlouhému přenosu po sobě jdoucích stejných stavů vysílaného signálu. Toto je důležitý, ale ne jediný požadavek na data vstupující do modulátoru. S rostoucím počtem změn stavů nosné vlny za jednotku času, tedy na modulační rychlosti, roste požadavek na šířku přenosového kanálu. Modulační rychlost používá jednotky zvané Baud. Tedy čím širší přenosové pásmo, tím kvalitněji můžeme signál přenést, a nebo můžeme zvyšovat modulační rychlost. Harry Nyquist v roce 1928 zjistil, že v optimálním případě může být modulační rychlost rovna dvojnásobku šířky pásma.

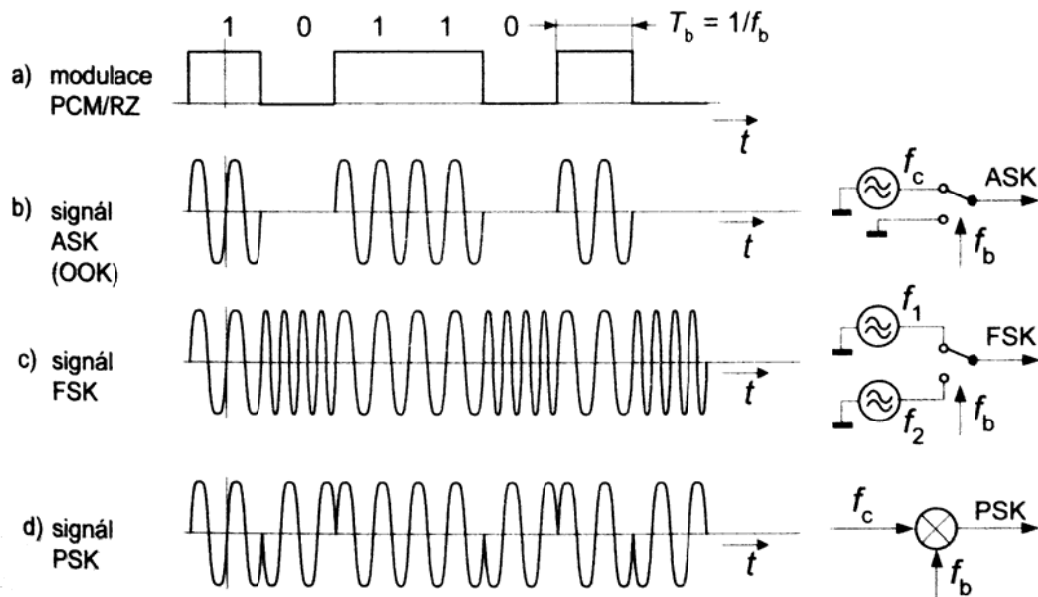
3.3.2. Dvoustavové modulace

U dvoustavové modulace se modulovaný parametr nosné vlny mění pouze mezi dvěma diskrétními stavy, mezi kterými může být nosný signál skokově přepínán. Základní typy dvoustavových modulací jsou založeny na třech základních principech popsaných již výše:

- ASK Ovlivnění amplitudy nosné vlny, v tomto případě jde o modulaci amplitudovou, která je nejjednodušším způsobem modulace. Pro své nedostatky se v radiotechnice samostatně v podstatě nepoužívá. Ale velký význam má pro komunikaci optickou. Vzhledem k vysokým frekvencím světla není možné generování viditelného záření elektrickými obvody. Zdrojem vln jsou fyzikální pochody v různých materiálech. Pro optické přenosy jsou nejčastěji realizovány změnou intenzity svitu polovodičové laserové diody.
- FSK Ovlivňování frekvence nosné vlny se nazývá frekvenční modulací. Frekvence se mění mezi dvěma stavy, kdy se k nosné nemodulované vlně přičítá či odečítá frekvenční zdvih. Signál je pak reprezentován dvěma stavy f_1 a f_2 .
- PSK Ovlivňování fáze nosné vlny se nazývá fázová modulace. Jde o fázové posuny. U dvoustavové modulace nabývá dvou stavů, například 0° a 180° .

Výše popsaná principy jsou dobře patrné z obr. 2.

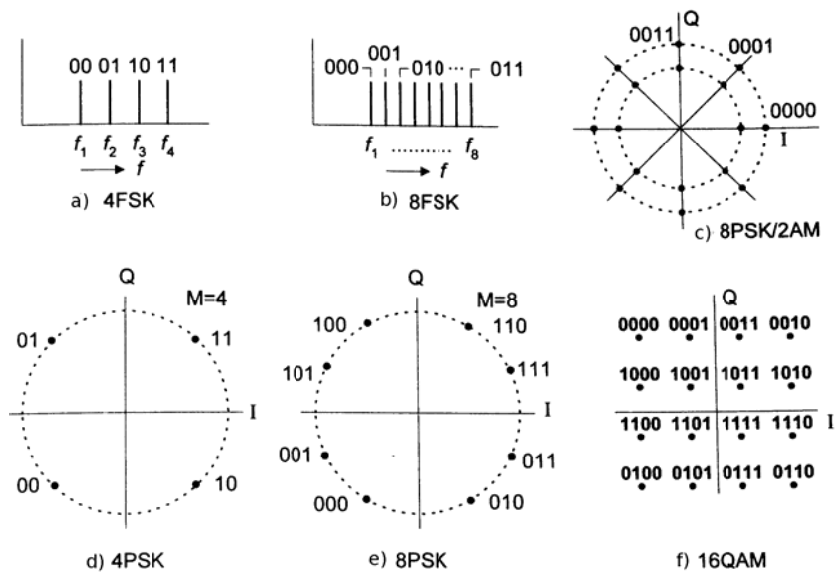
obr. 2 Tři základní varianty dvoustavový modulací zdroj [2]



3.3.3. Vícestavové modulace

Vzhledem k výše uvedenému požadavku na šířku pásma se zvyšující se bitovou rychlostí, vznikly dnes hodně používané vícestavové modulace. Kde jednotlivé stavy nepředstavují jednotlivé bity, ale podle počtu stavů jeden stav představuje kombinaci daného počtu jednotlivých bitů. Například jde-li o čtyřstavovou modulaci, představuje každý stav dvojici bitů, tedy každý jednotlivý stav odpovídá jednotlivým kombinacím dvojice bitů. Tedy pro n bitů je zapotřebí 2^n různých stavů. Potom není potřebná šířka pásma závislá na bitové rychlosti, ale na modulační rychlosti. Principy ovlivnění základních parametrů je stejná jako u binárních modulací, jen změny fáze, frekvence, amplitudy nebo jejich vzájemné kombinace zde nabývá jednoho z M různých stavů, kde $M = 2^n$ a n je přirozené číslo větší než 1, tedy pro $n = 2, 3, 4, \dots$ je $M = 4, 8, 16, \dots$. Z obr. 3 jsou dobře patrné principy výcestavových modulací a způsoby jejich zobrazení. Na obr. 3 a) a b) je zobrazení ve frekvenční oblasti pro 4FSK, tedy čtyřstavovou frekvenční modulaci a 8FSK, tedy osmistavovou. Na obr. 3 d) a e) je zobrazení okamžitých poloh fázoru pro čtyř a osmistavovou fázovou modulaci, tyto naznačují směr, kterým se rozvíjí současné modulační algoritmy. Na obr. 3 c) a f) jsou znázorněny modulace s proměnou obálkou, tedy kombinace fázové a amplitudové modulace, tyto modulace v současné době dosahují nejlepších spektrálních účinností.

obr. 3 Způsoby zobrazování vícecestavových modulací zdroj [2]



Tato skutečnost by mohla navodit milný dojem, že pro požadavek zvyšující se přenosové rychlosti není potřeba zvyšovat šířku pásma, ale pro zvýšení použít modulaci s takovým počtem stavů, který by umožňoval novou vyšší rychlost. Claude Shannon svým výzkumem zjistil, že ani sebedokonalejší technologie přenosu se nikdy nedostane přes určitou hranici, která je dána šířkou pásma přenosového kanálu a kvalitou přenosové cesty, vyjádřenou jako odstup signálu od šumu a dá se vyjádřit níže uvedeným vztahem 1.

$$\max. V_m = B \times \log_2 \left(1 + \frac{\text{signál}}{\text{šum}} \right) \quad (1)$$

max. V_m – maximální modulační rychlost [Bd]

B – šířka pásma [Hz]

$\frac{\text{signál}}{\text{šum}}$ – odstup od šumu [dB]

Při vícecestavové modulaci se pak přenosová rychlost vyjádří vztahem 2:

$$V_{\text{bit}} = V_m \times \log_2 M \quad (2)$$

V_{bit} – přenosová rychlost [bit/s]

M – počet modulačních stavů

Z výše popsaných vztahů 1 a 2 vyplývá, že modulační systémy s menším počtem stavů budou mít lepší energetickou účinnost, tedy poměr šumu ku střední energii užitečného signálu přenášeného jeden bit, než modulační systémy s vysokým počtem modulačních stavů. Ty zase mají lepší spektrální účinnost, která je dána poměrem přenosové rychlosti ku šířce přenosového pásma.

Z tohoto vychází i současné používání jednotlivých modulačních systémů. Modulační systémy nižších řádů, tedy s nižším počtem modulačních stavů používají sítě s nepříznivými podmínkami šíření a vysokými požadavky na robustnost sítě či odolnost přenášených dat.

Tedy telekomunikační služby anebo kosmické spoje, jde tedy o spoje na delší vzdálenosti s omezeným vyzářeným výkonem. Kosmické přenosy v možnosti vyzářeného výkonu limituje spotřeba elektrické energie, která je dána omezenou kapacitou palubních baterií, tento důvod platí i pro mobilní zařízení, kde je snaha o co nejdelší výdrž zařízení na jedno nabití. Dalším důvodem je omezená oblast elektromagnetického spektra využívaného k radiovým přenosům. Jejich přidělováním se zabývá telekomunikační úřad, který dbá i na dodržování povolených výkonových úrovní. Maximální povolené výkonové úrovně zajistí, že jeden obzvláště silný vysílač nezaruší velkou oblast, kde by pak byl problém i s využitím jiných frekvenčních pásem. Zároveň omezený dosah jednoho vysílače umožňuje opakované přidělení stejného frekvenčního pásma jinému vysílači, který je mimo dosah 1. vysílače.

Vedle licenčních pásem, které v našich zeměpisných délkách přiděluje uživatelům ČTU, kteří pak mají jistotu, že v dané oblasti jsou jediným uživatelem daného pásma, za což ale patřičně zaplatí, jsou v radiovém spektru vyhrazena pásma pro průmyslové, vědecké a lékařské účely, takzvaná volná pásma, která se využívají v zařízeních jako bezdrátové telefony, bezdrátová čidla zabezpečovací techniky, mikrovlnné trouby atd. U těchto takzvaně volných frekvencí je vyzářený výkon jedinou regulací.

3.3.4. Zvýšení spolehlivosti bezdrátových datových přenosů

Přenos signálu v radiových kanálech může ovlivňovat řada nežádoucích faktorů, kromě šumu a interferencí na signál mohou působit různé přírodní vlivy jako výboje v atmosféře, nebo vlivy vyvolané činností lidí jako jsou elektrické průmyslové poruchy, rušivé signály působící od různých mechanismů, nebo i úmyslné rušení. Působením všech těchto nežádoucích vlivů jsou radiové přenosy náchylnější ke vzniku chyb v přenášených datech, než spoje kabelové. Z tohoto důvodu je potřeba věnovat zabezpečení přenášených dat zvýšenou pozornost. Pro snížení chybovosti přenášených dat se používá ochranné kódování. Ochranné kódování je způsobem jak zvýšit spolehlivost bezdrátového datového přenosu. Tento způsob je označován také jako dopředná korekce chyb (FED) a spočívá v doplnění odesílaných dat redundantními daty, tedy zavedení jisté bitové nadbytečnosti, která do odeslané zprávy zavádí doplňující zákonitosti, které pak na straně příjemce dovolí detekovat vzniklou chybu, to v případě detekčních kódů anebo umožní i opravu této chyby, to v případě samoopravných kódů. Dobrým příkladem užití je přidání paritního bitu se sudou či lichou paritou. To znamená, že počet logických jedniček musí být vždy sudý nebo lichý. Pokud tomu tak není, došlo k chybě. Ovšem pokud dojde k chybě ve dvou bitech, kód přestává fungovat. Z toho je vidět, že Hammingova vzdálenost pro detekování jedné chyby musí být minimálně rovna 2.

Detekční kód dovoluje detekovat chybu jednoho či více vadných bytů ve zprávě, ale již neumožňuje jejich opravu. Přesto jsou detekční kódy nezbytnou součástí metod FED i metod opakování neúspěšného přenosu (ARQ) o kterém bude řeč později.

Samoopravné kódy již dovolují opravu vadného bitu, zde již musí být ale Hammingova vzdálenost aspoň rovna 3 a musí platit podmínka vyjádřená vzorcem 3:

$$m + r + 1 \leq 2^r \tag{3}$$

m – délka slova v bitech

r – počet paritních bitů

Což již představuje celkem podstatný nárůst přenášených dat a umožňuje opravu jednoho vadného bitu. Pokud ale dojde k chybě ve dvou bitech, kód přestává pracovat správně. Proto se také tento kód značí SEC (singl error correcting).

Rozšířením kódu SEC o paritní bit vznikne kód SEC-DED (single error correcting – double error detecting) kód opravující jednu chybu a dvě detekující.

Z výše uvedeného je patrné, že doposud zmíněné kódy jsou vhodné k opravě ojedinělých chyb. Při bezdrátových přenosech bývají chyby ale spíše shlukové a chybou bývá postiženo výše po sobě jdoucích bitů, proto se do opravy chyb zapojuje prokládání.

Prokládání se provádí ještě před modulátorem. V praxi se používají dva základní typy blokové nebo konvoluční. Při blokovém prokládání se data před odesláním vloží do binární prokládací paměťové matice s určitým počtem řádků „R“ a sloupců „S“, takže se do ní dá „R“ slov o délce „S“. Data se do matice vkládají po řádcích a čtou se po sloupcích a dále přenáší přenosovým kanálem. V přijímači se za pomoci téže matice data převedou opět zpět do původního tvaru, tak že se zapíší do sloupců a čtou se po řádcích. Pokud je nějaká část přenášeného bloku postižena shlukovou chybou tímto proložením dojde k zredukování chyby na chybu osamocenou, se kterou si již v přijímači poradí výše zmíněné korekční kódy.

Konvoluční prokládání je účinnější obdobou blokového prokládání s tím, že do matice se data vkládají po diagonálách a čtou se po sloupcích. Ve vysílači se může použít i několik prokládačů zapojených do kaskády. Na straně přijímače se pak data musí stejným způsobem složit zpět.

V ochranném kódování byl popsán princip, který dokázal zabezpečit celé bitové slovo proti náhodné osamoceně chybě. CCK tedy kompletní kódové klíčování jde ještě dál. Nahrazuje jednotlivé bity před odesláním sekvencí bitů takzvaným chipping kódem, příjemce musí kód znát a být synchronizovaný. Místo nul se vysílá chipping kód, místo jedniček se vysílá negace chipping kódu. Přijímač na přijatém kódu provede logickou operaci XOR a pokud přečte víc jedniček, je bit roven logické jedničce a když více nul, je bit logická nula. Tento systém je velmi odolný proti rušení, protože teprve poloviční ztráta znaků ze sekvence znamená nečitelnost vysílaného bitu.

Ochranných kódů existuje velké množství a každý má své specifické vlastnosti. Například blokové kódy mají k dispozici solidní matematický základ v podobě vektorových prostorů, konečná Galoisova pole, atd., které těmto kódům zaručují předem dané vlastnosti. Dekódování probíhá na základě důmyslných matematických postupů. Konvoluční kódy mají slabší matematické základy a při jejich skládání se spíše uplatňuje metoda pokus omyl. Při dekodování se používají Heuristické algoritmy, realizující prohledávání možného kódového prostoru. Jsou vhodné k opravě osamocených chyb a dobře slučitelné s měkkým rozhodováním, které může zvýšit jejich kódový zisk i o několik decibelů.

Jedním z posledních mezníků ve vývoji radiových přenosů byl objev turbo kódů. Tyto kódy vykazují velký kódový zisk a to při své menší složitosti než by měli kódy konvenčního typu stejných parametrů. Turbo kódy mohou zajistit nízkou chybovost i při nízkém poměru signál/šum blízkého Shannonovu limitu. Turbo kódy jsou založeny na principu iterace, jejímž zvyšováním v kodéru lze snižovat výslednou chybu. Při zvyšování počtu iterací se ale zvyšuje i doba potřebná pro získání výsledku, proto tyto kódy nejsou vhodné pro přenos v reálném čase.

„ U digitálních buňkových systémů jsou, například při přenosu telefonních hovorových signálů, požadavky na maximální přípustnou chybovost relativně mírné, pro velmi dobrou srozumitelnost, zde totiž postačuje bitová chybovost $BER = 10^{-3}$ až 10^{-4} . Avšak i k zajištění těchto nízkých hodnot v nepříznivých pozemských radiových kanálech, je nutné používat účinné ochranné kódování. Přenos televizních digitálních signálů vyžaduje, již při kvalitě obrazu srovnatelném s analogovým standardem PAL, koncovou chybovost okolo hodnot $BER = 10^{-9}$ až 10^{-10} . Díky velice účinným korekčním kódům je ale možné připustit na

výstupu radiového rozhraní podstatně větší chybovost $BER = 2 \times 10^{-4}$, neboť potřebnou finální hodnotu právě zajistí tyto účinné kódy.“[2]

Systém s opakováním neúspěšného přenosu (ARQ). Zde jsou vysílaná data rozšířena o kód detekující chybu v přenosu. Pokud přijímač zjistí chybu, pošle k vysílači žádost o opětovné poslání poškozených dat. K realizaci této metody je potřeba obousměrný přenos dat, aby mohl přijímač zaslat vysílači požadavek na opakování, ale také vysílaná data musí dát prostor pro možnost opakovaného poslání poškozených dat. Například živé vysílání obrazového či zvukového záznamu nedovoluje opakovat poškozená data, jak data nepříjdou v daném čase, už později nejsou kam zařadit, a proto se i v systémech s možností opakování pro přenos takovýchto dat používají protokoly, které možnost opakování, nevyužívají, například protokol UDP.

Kromě těchto výše zmíněných způsobů FEC a ARQ se pro zvýšení spolehlivosti používají hybridní systémy, které mají zpětný kanál a zároveň používají vhodný způsob opravného kódování. Tento systém se používá tehdy, pokud by jednotlivé metody nestačily na vytvoření dostatečně bezpečného systému anebo by vznikl zbytečně předimenzovaný systém.

3.4. Jak to funguje

Jak jsem naznačil na začátku této kapitoly, největší rozvoj v současné době prožívají mobilní telekomunikační služby a lokální bezdrátové sítě. V současné době k nejvyužívanějším a nejdostupnějším systémům patří systém WiFi, tedy standard IEEE 802.11. Tedy na jakých z výše uvedených principů tyto služby fungují. Právě tím se bude zabývat tato část této kapitoly.

3.4.1. Mobilní telekomunikační služby

Mobilní telekomunikační služby v Evropě založené převážně na systému GSM, který vznikl z požadavku sjednocení mobilních telekomunikačních služeb v Evropě v devadesátých letech minulého století. GSM pracuje na frekvenčních pásmech 900MHz a 1800MHz. V USA je systém GSM provozován na frekvencích 1900MHz, proto při cestách na americký kontinent je potřeba mobilní telefon podporující všechna tři pásma. Systém GSM začínal s požadavkem na plně duplexní provoz, který je pro klasické telefonní služby samozřejmostí. Z tohoto důvodu byl zvolen systém s mnohanásobným přístupem FDMA/TDMA (frequency division multiple access/time division multiple access). FDMA frekvenčně dělený mnohonásobný přístup znamená, že celé přidělené pásmo je rozděleno na více subpásem pro zajištění plně duplexního provozu jsou potřeba dvě subpásma pro jednoho uživatele, jedno subpásmo pro příchozí data a druhé pro odchozí. V pásmu 900MHz jsou vyhrazena dvě pásma o šířce 25MHz rozdělených po 200kHz do subpásem, tedy 125 plně duplexních kanálů. Stejným způsobem je rozděleno i pásmo 1800MHz tedy pásma 1805 – 1880 MHz pro downlink a 1710 – 1785 MHz pro uplink, zde je 375 plně duplexních kanálů. Pro účastky se pak tyto kanály dělí principem časového sdružování kanálů TDMA, na 8 časových intervalů pravidelně se opakujících, takto jedno pásmo může obsloužit 8 uživatelů. Dostaneme $125 \times 8 = 1000$ kanálů jen v pásmu 900 MHz.

Systém GSM používá GMSK modulaci. Jde o modulaci MSK, tedy dvoustavové frekvenční klíčování s minimálním zdvihem. U modulace MSK je frekvenční deviace rovna čtvrtině bitové rychlosti. Tento způsob hospodárně využívá šířku přiděleného pásma při zachování dobře energetické účinnosti. Pravoúhlé modulační impulzy před vstupem do modulátoru prochází gaussovskou spodní propustí, která je zaoblená. Což má potom za následek výrazné potlačení nežádoucích postranních složek spektra modulovaného signálu.

Pro snížení nežádoucích vlivů interferencí, používá systém GSM systém pomalých frekvenčních přeskoků SFH. Radiový signál nemusí být stejný po celou dobu komunikace, ale může se podle určitých pravidel měnit. V tomto případě se kmitočtové pásmo mění 217 krát za sekundu.

Vstupní hovorový signál je převeden na digitální s bitovou rychlostí 13 kb/s a po doplnění redundantních ochranných bitů má bitovou rychlost 22,8 kb/s.

Zvýšená poptávka po paketových službách a vyšších přenosových rychlostech vedla k začlenění technologie GPRS a EDGE do standardu GSM, které jsou založeny na dynamickém slučování timeslotů podle požadavků na přenosovou rychlost a aktuálního stavu sítě. Podle stavu sítě se použije i systém adaptabilní modulace a kódování, pokud má účastník dobrý nerušený signál přenos probíhá na modulaci s větším počtem modulačních stavů a s nižším ochranným kódováním, což vede k vyšší datové propustnosti. V případě, že se účastník pohybuje někde na hraně buňky, nebo je zastíněn, má tedy slabý a zaručený signál, použije se modulace s nízkým počtem modulačních stavů, které její větší energetická účinnost dovolí se lépe vypořádat s rušivými vlivy spolu s dokonalejším ochranným kódováním a za cenu zachování spojení, účastník zaplatí nižší přenosovou rychlostí.

3.4.2. Bezdrátové síť WiFi

V současné době jsou nejpoužívanějšími standardy IEEE 802.11b/g/a. Jak bylo naznačeno již výše, vývoj v oblasti bezdrátových sítí jde neustále kupředu a z důvodu implementace nových funkcí pro zajištění například větší robustnosti normy IEEE 802.11, se stávající normy rozšiřují o normy doplňkové. Tyto doplňkové normy pak stávající standardy rozšiřují například o:

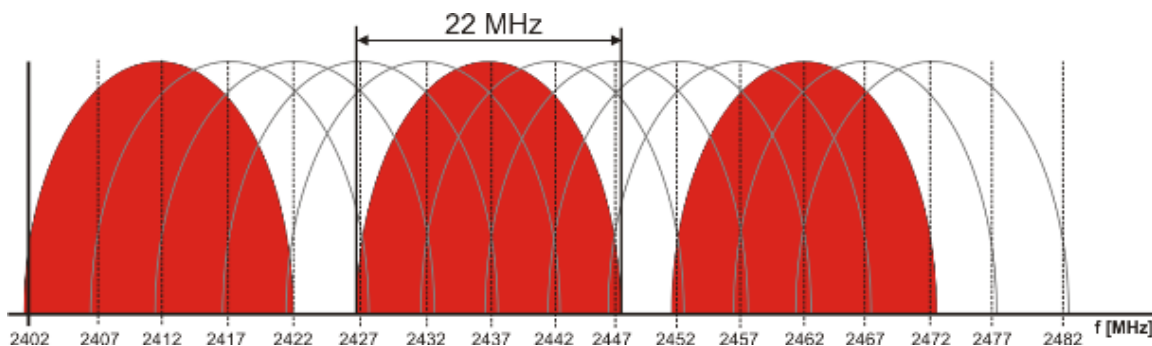
- IEEE 802.11 e (Quality of service) jde o zajištění kvality služeb. Tento protokol uděluje některým paketům prioritu před jinými pakety a je vhodným doplňkem k zajištění hlasových a multimediálních aplikací.
- IEEE 802.11 i (Enhanced Security) jde o zajištění bezpečnosti bezdrátových přenosů metodou šifrování dočasnými klíči známou pod označením WPA odstraňující nedostatky zabezpečení metodou WEP.
- IEEE 802.11 r (Fast Roaming) jde o rychlý roaming, tedy přepojování pohybujícího se uživatele mezi jednotlivými přístupovými body. Tento protokol výrazně zkracuje proceduru při přepojování mobilního uživatele mezi přístupovými body, tím zabezpečuje bezproblémový provoz např. VoIP služeb.

Tyto normy jsou identické ve všech výše zmíněných normách IEEE 802.11 a/b/g. Výše uvedený přehled doplňkových norem není samozřejmě kompletní, to vzhledem k neustálému vývoji ani být nemůže a slouží jen pro názorné představení služeb, které se do standardu IEEE 802.11 pro zlepšení funkčnosti doplňují.

3.4.2.1. IEEE 802.11b

Data jsou přenášena ve frekvenčním pásmu 2.4 GHz až 2.485 GHz, kde se nachází 13 kanálů o šířce 22 MHz. A tady nastává otázka jak se do pásma 85 MHz naskládá 13 pásem o šířce 22 MHz. Je to dáno tím, že jednotlivá pásma mají rozestup pouhých 5 MHz mezi středy a pásma se vzájemně překrývají. Takže v jednom místě lze souběžně použít jen 3 pásma ze zmíněných 13, jak naznačují červená pásma na obr. 4.

obr. 4 Rozložení přenosových kanálů v pásmu 2,4GHz zdroj [4]



Používá systém s přímým rozptřením DSSS, “kde se signály všech uživatelů přenášejí ve stejném frekvenčním pásmu a souběžně v čase. Každý z nich je však v kodéru vysílače ovlivněn svým individuálním pseudonáhodným nebo ortogonálním kódem, který potom v přijímači umožňuje jeho oddělení od signálu ostatních uživatelů.“ [2] Bity rozprostírací posloupnost se nazývají čipy, přičemž jejich čipová rychlost je obvykle podstatně větší, než bitová rychlost vstupní dat. Tento systém stejným způsobem jako potlačuje signály ostatních uživatelů, potlačuje i rušení a ostatní interference.

Standard IEEE 802.11 b za optimálních podmínek pracuje s přenosovou rychlostí 11Mb/s v případě zhoršených přenosových podmínek dojde ke snížení přenosové rychlosti vlivem přechodu na modulaci nižšího řádu, kde se využije větší energetické účinnost této modulace k překonání nepříznivých vlivů okolí.

3.4.2.2. IEEE 802.11g

Je přenesený standart IEEE 802 11 a z pásma 5 GHz do pásma 2,4 GHz se zpětnou kompatibilitou na standart IEEE 802.11 b. Rozdělení jednotlivých frekvenčních kanálů zůstává stejné pro dané pásmo 2,4 GHz. Tento standart přináší systém OFDM. Ortogonální frekvenční multiplex patří k systémům s více nosnými vlnami. Celá šířka příslušného přenosového kanálu je rozdělena na 52 subpásem, ze kterých je 48 subpásem vyhrazeno pro přenos dat, zbývající kanály nesou řídicí sekvence. Sériový signál s vysokou bitovou rychlostí se převede na 42 paralelních složek s podstatně nižší bitovou rychlostí. Rozdělením hlavního frekvenčního pásma na menší subpásma není možno dosáhnout tak dokonalému využití šířky celého pásma jaké by se dalo dosáhnout přenosem na celé původní šířce celého pásma, vlivem rozestupů mezi jednotlivými subpásmi. Ale tím, že dojde ke snížení bitové rychlosti na jednotlivých subpásmech, přenášený symbol, tak zaujme mnohem delší časový úsek a tím se signál stává odolnější vůči interferencím v prostředí s mnohacestným šířením signálu. V každém subpásmu je možno použít i výcestavovou modulaci, která se volí dle podmínek přenosu. Systém tedy využívá i systém AMC a v optimálních podmínkách dosahuje přenosová rychlost až 54Mb/s dle zvoleného typu modulace a ochranného kódování, viz tab. 1 .

tab. 1 Závislost přenosové rychlosti IEEE 802.11 g na modulaci a ochranném kódování zdroj [16]

Modulace	Bitů na symbol	Poměr kódování	Rychlost Mb/s
BPSK	1	1/2	6
BPSK	1	3/4	9
QPSK	2	1/2	12
QPSK	2	3/4	18
16-QAM	4	1/2	24
16-QAM	4	3/4	36
64-QAM	6	2/3	48
64-QAM	6	3/4	54

Všechny standardy IEEE 802.11 používají obousměrný přenos dat, ale k dispozici mají jen jediný přenosový kanál. Jde tedy o poloduplexní přenos, kdy v daný okamžik může vysílat jen jeden účastník a proto je nutná koordinace přístupu k mediu, pokud by v jeden okamžik vysílalo více stanic najednou, cílová stanice by zachytila signál poškozený anebo by silnější signál zcela překryl slabší a tato stanice by z komunikace byla skoro vyřazena. Z tohoto důvodu nemůžou bezdrátové sítě používat metodu detekce kolizí na síti stejně jako metalické sítě, ale volí metodu předcházení kolizí. Z důvodu, že všichni účastníci o sobě nemusí navzájem vědět, takže když stanice detekuje volný prostor, tak to nemusí znamenat, že skutečně volný je. Metody minimalizace kolizí je založena na 4 rámcích RTS, CTS, ACK a NAV. Stanice naslouchá, a pokud je prostor volný, počká ještě určitý čas a vyšle žádost o vysílání RTS. Příjemci stanice vyhodnotí u zprávy kontrolní součet CRC, a pokud je v pořádku, odešle kladnou odpověď ACK, to pro stanici znamená, že nedošlo ke kolizi. Pokud stanice paket ACK nedostane, opakuje vysílání.

Aby se snížila pravděpodobnost kolizí v případě, kdy se stanice neslyší, definuje standart virtuální naslouchací mechanismus. Paket RTS kromě adres zdroje a cíle obsahuje i dobu trvání přenosu. Cílová stanice odpoví řídicím paketem CTS obsahujícím dobu trvání přenosu. Okolní stanice buď slyší paket RTS, nebo CTS si nastaví indikátor virtuálního naslouchání NAV na dobu trvání přenosu a po tuto dobu berou medium jako obsazené. Tím, že řídicí paket CTS vysílá řídicí stanice, která by měla mít dosah ke všem stanicím, omezí se riziko kolizí pouze na dobu vysílání RTS. Standart IEEE 802.11 byl původně koncipován na přenos uvnitř budov, proto použití ve venkovním prostředí sebou přináší některé problémy. Vzhledem k tomu, že ve venkovním prostoru se často používají směrové antény, jednotlivé stanice se vzájemně neslyší a síť se zahlučuje narůstajícím počtem kolizí RTS paketů u mnohem nižšího počtu klientů než v prostředí vnitřním. Dalším problémem venkovního prostoru jsou velké rozdíly vzdálenosti jednotlivých stanic. Vzhledem k tomu, že v ideálním případě klesá síla signálu v závislosti na čtverci vzdálenosti, tyto jevy jsou podrobněji popsány v kapitole 4. Musí přístupový bod pracovat s velkými rozdíly příchozích signálů, kolize slabého signálu se silným, pak nemusí být vyhodnocena jako kolize a vzdálená stanice trpí velmi malou propustností. Tyto problémy se dají vyřešit

použitím výše popsané rezervace vysílacího media, která ale samo o sobě snižuje propustnost sítě.

4. Nástroje pro analýzu bezdrátových sítí

4.1. Modely šíření elektromagnetických vln

První nutností pro zajištění bezdrátového přenosu je dostupnost samotného signálu. Předběžné stanovení síly signálu v daném místě je založeno na modelech šíření elektromagnetických vln v zemské atmosféře.

Pro radiové přenosy jsou důležité vlastnosti šíření přízemní prostorové vlny, ta se může šířit přímo při přímé optické viditelnosti antén, odrazy, ohyby a rozptyly na překážkách. Tyto mechanismy se uplatňují podle vlivu okolního prostředí. Podle toho mluvíme o vlně šířící se ve volném prostoru, v poloprostoru nad rovinnou zemí, nad členitým terénem, nad terénem s vegetací a v městské zástavbě, kde odrazy, ohyby a rozptyly vyvolávají překážky vytvořené lidskou rukou. V reálném světě se tyto příklady prostorů většinou různě vzájemně kombinují, ale pro potřeby modelování se více či méně řeší samostatně. Přístup k modelování je dán tedy prostředím a umístěním přijímacích a vysílacích antén.

4.1.1. Šíření ve volném prostoru

Volný prostor je ideálním případem pro radiový přenos. K jeho docílení je potřeba přímé viditelnosti a použití úzce směrových antén pro zabránění vícecestnému šíření, které se dá tímto způsobem významně eliminovat. Pro zajištění spojení je zapotřebí, aby v místě příjmu neklesl přijímaný signál pod úroveň citlivosti přijímače. Potřebný signál pro příjem můžeme vyjádřit rovnicí 4.

$$P_p = P_v + G_v + G_p - FSL(d) - L \quad (4)$$

P_p – přijatí výkon (dBm)

P_v – výkon na vstupu vysílací antény (dBm)

G_v, G_p – zisky antén (dB)

$FSL(d)$ – ztráty volným prostorem (dB)

L – ztráty šířením v daném prostředí (dB) – ve volném prostoru jsou nulové

$$FSL(d)_{dB} = 10 \times \log \left[\left(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (5)$$

d – vzdálenost vysílací antény od přijímací (m)

λ – vlnová délka nosné vlny (m)

$$P_{p_{dBm}} = 10 \times \log \frac{P_w}{10^{-3}} \quad (6)$$

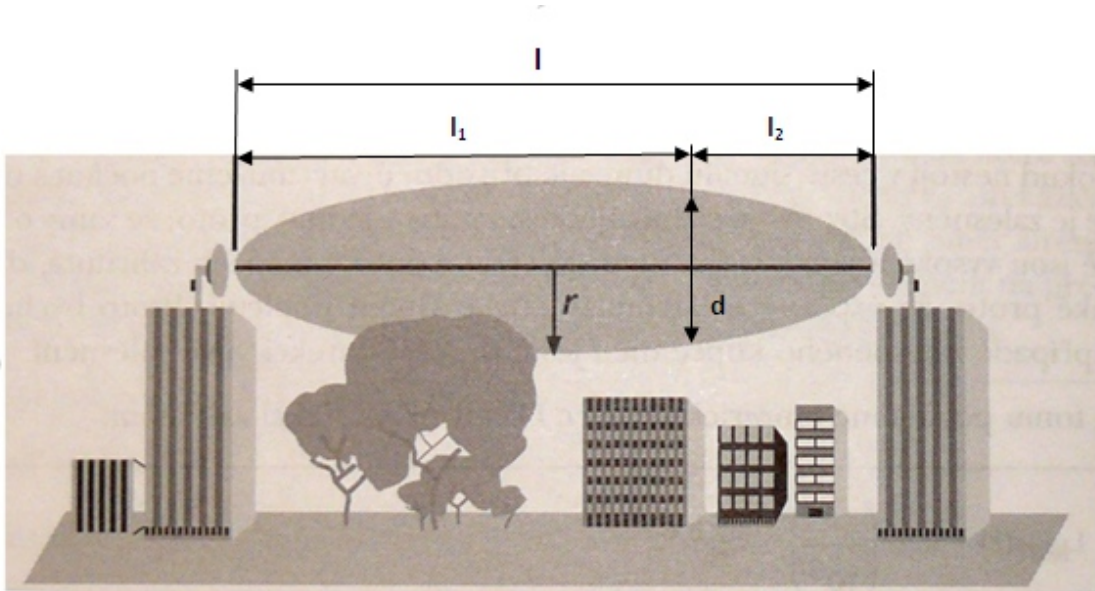
P_w – výkon přijatý přijímací anténou (W)

V reálném provozu se citlivost přijímače volí vždy nižší, například přičtením 10dBm, pro zajištění spojení vlivem neočekávaných útlumů, například meteorologickými vlivy.

Ale ani zajištění přímé viditelnosti neznamená, že spoj bude bezchybně fungovat. Ultrakrátké vlny, mikrovlny i viditelné záření se sice šíří po přímce a proto je pro ně požadována podmínka přímé viditelnosti, „ale protože je to vlnění, podléhá dalším fyzikálním zákonům (Huigensův princip). Proto je převážná část energie vlny nesena

v prostoru okolo přímky spojující vysílací a přijímací anténu. Tento prostor má tvar pomyslného doutníku, elipsoidu, s největším průměrem uprostřed trasy. Tato doutníková oblast, kde se přenáší cca 90% energie, se nazývá První Fresnelova zóna.“[17] Pro bezproblémový přenos by první Fresnelova zóna neměla být zastíněna z více než 20%. Viz obr. 5, který zobrazuje, jak Fresnelova zóna vypadá (nadále budeme mluvit o Fresnelově zóně, další se již neuplatňují) a ukazuje i způsob jejího částečného zastínění.

obr. 5 Zobrazení Fresnelovy zóny [17]



Velikost Fresnelovy zóny vyjadřuje vzorec 7, je potřeba si povšimnout, že zastínění je vztaheno k poloměru Fresnelovy zóny, viz obr. 5, zatím co vzorec počítá s průměrem.

$$d = \sqrt{\lambda \times \frac{l_1 \times l_2}{l_1 + l_2}} \quad (7)$$

d – průměr Fresnelovy zóny ve vyšetřovaném místě (m)

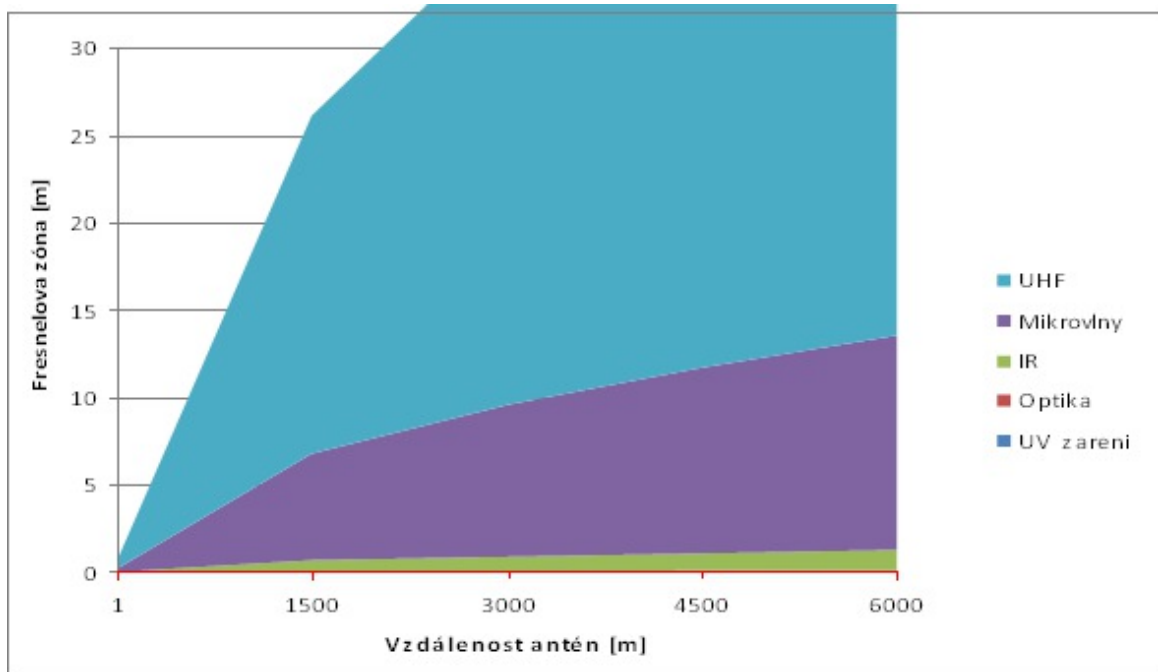
l_1 – vzdálenost od vysílací antény k vyšetřovanému místu (m)

l_2 - vzdálenost od přijímací antény k vyšetřovanému místu (m)

λ - vlnová délka nosné vlny (m)

Na obr. 6 je zobrazení průběhu průměru Fresnelovy zóny v závislosti na vzdálenosti přenosové trasy, z kterého je patrné, že v pásmu UHF a mikrovln při přímé viditelnosti antén s Fresnelovou zónou počítat musíme, zatím co u přenosu viditelným zářením můžeme vliv Fresnelovy zóny zcela zanedbat a pro bezproblémový provoz spoje zcela postačuje požadavek přímé viditelnosti. Tato výhoda sebou nese i stinné stránky. I malý předmět pohybující se v trase paprsku znamená velké zastínění a tím překážku v přenosu. Z toho co bylo zatím o vlastnostech viditelného záření popsáno, je patrné, že není vhodným prostředkem pro plošné pokrytí a proto se nadále budu zabývat jen vlněním z oblasti UHF a mikrovln.

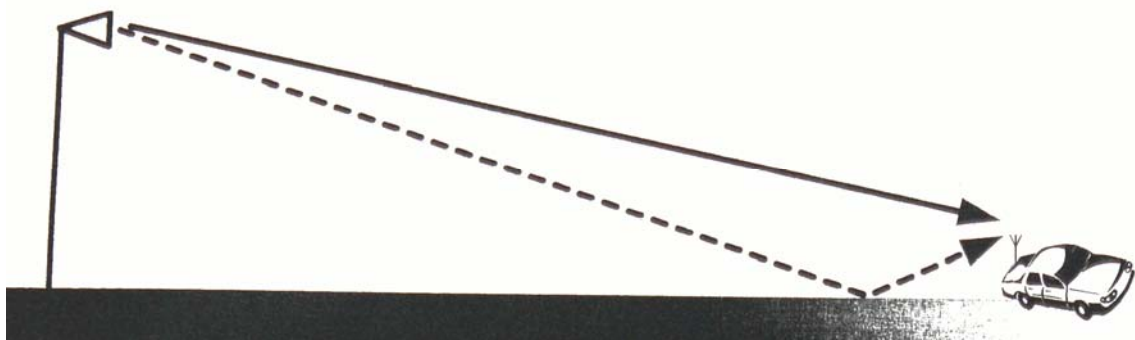
obr. 6 Graf velikost Fresnelovy zóny v závislosti na vzdálenosti přenosové trasy



4.1.2. Šíření v poloprostoru

„Z podstaty mobilního spoje je vyloučeno užití úzce směřových antén, na vykrytí určitého prostoru může být použita anténa sektorová, ale mobilní zařízení se bez všesměrové antény neobejde. „U mobilního spoje se vždy jedná o šíření nad zemí, kterou vzhledem k uvažovaným rozměrům buněk považujeme za rovinou. Odmyslíme-li si zástavbu či terénní nerovnosti, jedná se o klasické šíření v poloprostoru, které lze využít jako východisko pro další model. Výpočet šíření vlny v poloprostoru pomocí dvoupraskového modelu, kdy je metodou geometrické optiky sčítán příspěvek paprsku přímého a paprsku odraženého od země obr. 7.“[8]

obr. 7 Šíření nad rovinnou zemí zdroj [8]



Ze vzorce 5 je vidět, že při šíření volným prostorem klesá síla signálu, tedy jeho spádová křivka, v závislosti na druhé mocnině vzdálenosti. U šíření v poloprostoru se situace dramaticky mění dosažením vzdálenosti Fresnelova zlomu, od kterého spádová křivka klesá se čtvrtou mocninou vzdálenosti. Fresnelův zlom je v místě, ve kterém je dráhový rozdíl přímé a odražené vlny roven polovině vlnové délky. Při malých výškách

antén vzhledem k jejich vzdálenosti lze vzdálenost Fresnelova zlomu d_0 vyjádřit podle vzorce 8:

$$d_0 = \frac{4 \times h_1 \times h_2}{\lambda} \quad (8)$$

h_1, h_2 – výška antén spoje (m)
 λ – vlnová délka nosné vlny (m)

4.1.3. Mechanizmy šíření vln v zástavbě

„Vlna šířící se v zástavbě interaguje s překážkami, tj. především samotnou zástavbou. Mluvíme o odrazu, příp. rozptylu vlny, difrakci vlny na hranách či průchodu skrz překážku. Jednotlivé mechanismy šíření se uplatňují zejména podle typu okolního prostředí a umístění obou antén mobilního rádiového spoje, „[8] tyto dva parametry tedy určují typ buňky:

- Makrobuňka – „pevná anténa je umístěna nad úrovní okolních překážek, tedy nad okolní zástavbou a mobilní anténa je na úrovni ulice, je při neexistenci přímé viditelnosti mezi anténami, (což je v praxi téměř stálý případ) dominujícím mechanismem šíření difrakce na hranách střech a odrazy od objektů v blízkosti mobilní antény.“[8] Jak naznačuje obr. 8. Poloměr buňky se obvykle pohybuje od 1km až do 30 km. Typickým představitelem jsou mobilní telefonní sítě, nebo televizní a rozhlasové vysílání. Vzhledem k velikosti buňky a ze vzorce 8 je patrné, že k šíření signálu skoro po celé makrobuňce dochází za Fresnelovým zlomem, z tohoto důvodu se pro celou makrobuňku předpokládá vzdálenost za Fresnelovým zlomem.

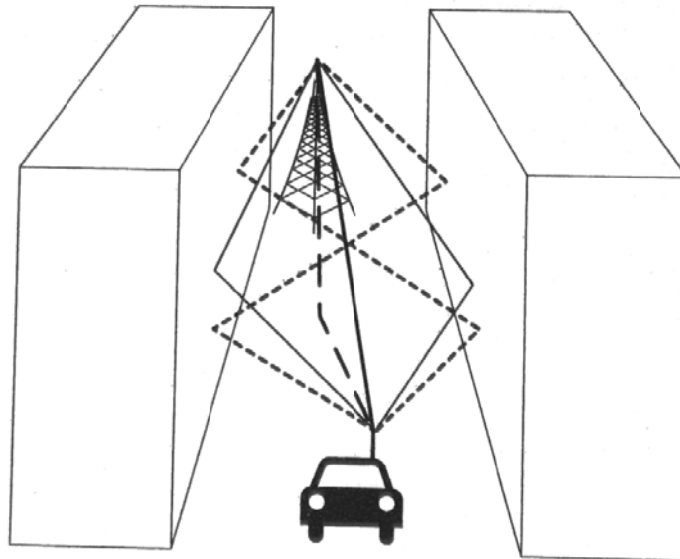
obr. 8 Mechanismus šíření v městské makrobuňce zdroj [8]



- Mikrobuňka – pevná anténa je pod úrovní střech okolní zástavby. Pak je dominujícím mechanismem šíření na přímou viditelnost a odrazy od stěn okolní

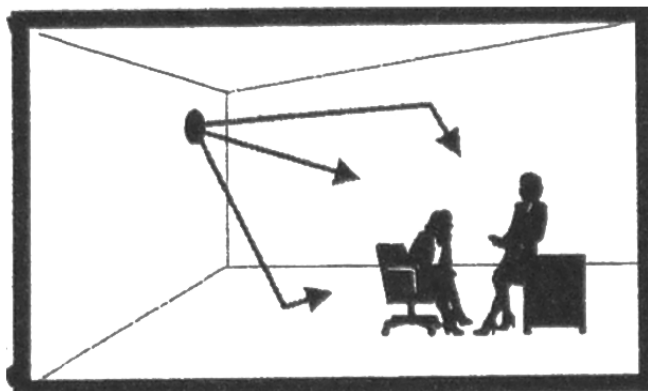
zástavby, uplatňuje se zejména vlnovodný efekt ulic, jak naznačuje obr. 9. Poloměr se obvykle pohybuje od 100m do 1000m. Typickým příkladem jsou bezdrátové městské sítě.

obr. 9 Šíření vln v mikrobuňce zdroj [8]



- Pikobuňka – pevná anténa je umístěna ve více či méně uzavřeném interiéru. „Vlivem velké členitosti interiéru představuje z hlediska šíření vln nejkomplicovanější případ umístění obou antén.“ [8] Signál se mezi anténami šíří přímo, průchodem stěnami, odrazy a ohyby, jak naznačuje obr. 10. „Elektromagnetické vlny většinou velmi dobře pronikají běžnými překážkami v interiéru, má pikobuňka oproti mikrobuňce pravidelný tvar. Proto lze pro ni s výhodou použít i ty nejjednodušší empirické modely s jedním spádovým koeficientem podobně jako v makrobuňce. Základní rozdíl je to, že v pikobuňce se pohybujeme před Fresnelovým zlomem, zatímco v makrobuňkách uvažujeme pouze vzdálenost za zlomem.“ [8] Poloměr pikobuňky je řádově v desítkách metrů.

obr. 10 Šíření elektromagnetických vln v pikobuňce zdroj [8]



4.2. Rozdělení modelů pro šíření radiových vln

- „Empirické – většinou jednoduché, aproximativní vztahy pro daný typ prostředí, kde jsou parametry založeny na statistické analýze velkého objemu naměřených dat.
- Deterministické – teoretické modelování na fyzikálním základě šíření vln pro idealizovaný nebo více či méně zjednodušený popis daného prostředí.
- Semi-deterministické, res. Semi-empirické – kombinace obou předchozích přístupů.
- Stochastické – na základě vstupních parametrů je náhodně generován průběh signálu pro simulaci přenosového kanálu, kdy obvykle není přímá vazba na geometrii přenosového prostředí a umístění pevné a mobilní antény“ [8]

4.2.1. One – Slope model

Nejjednodušším empirickým modelem pro předběžné stanovení pokrytí pikobuňky je one-slope model. Jedná se o jednoduchý model, který předpokládá ve všech místech stejnou spádovou křivku, která se volí v závislosti na členitosti interiéru. Model průměruje vliv okolí do jednoho spádového koeficientu, který je pak pouhou funkcí vzdálenosti, výsledek má typický kruhový tvar nehledě na členění prostředí, je jen informativní s přesností kolem 10dBm a jeho velkou výhodou je jednoduchý a rychlý výpočet s malými nároky na vstupní data. Tento model nebere v úvahu průstup stěnami či vlnovodný efekt dlouhých chodeb.

Ztráty šířením daným prostorem se pro výsledek dosadit do vzorce 4 jako celkové ztráty šířením.

$$L(d) = L_1 + 10 \times n \times \log(d) \quad (9)$$

$L(d)$ – je predikována hodnota ztrát šířením (dB)

d – vzdálenost [m] mezi základnovou stanicí a bodem provozování ($d > 1\text{m}$)

L_1 – referenční hodnota ztrát [dB] pro vzdálenost 1m

n – spádový koeficient

Hodnoty parametru L_1 a n jsou udávány v tabulkách, viz příloha 2.

4.2.2. Multi – Wall model

Výrazné zpřesnění v pikobuňce představují semi-empirické modely, které berou v úvahu konkrétní členění interiéru. Poměrně rozšířeným představitelem této skupiny modelů je Multi-Wall model, „který poskytuje přijatelné výsledky za rozumných požadavků na vstupy i složitosti výpočtů. Model vyžaduje informaci o rozmístění a typu jednotlivých příček.“ [8] Slabinou tohoto modelu jsou dlouhé zabíhající chodby.

Vysílací bod je v tomto modelu spojen pomyslnou přímkou s místem příjmu. Tím se pro potřebný výpočet získá vzdálenost obou bodů, která představuje ztrátu šíření volným prostorem a naznačí počet průchodů signálu příčkami, model většinou vystačí s dvojitými typy příček úzká a široká. Tyto získané parametry se použijí pro výpočet ve vzorci 10. Jak je ze vzorce patrné, tento model počítá jen s průchody signálu skrze příčky či podlaží a zanedbává vliv mnohacestného šíření signálu odrazy a ohyby na překážkách. Model zohledňuje vliv mnohacestného šíření v celkových parametrech, které jsou opět statisticky průměrnými hodnotami získanými na základě velkého počtu měření.

$$L(d) = 20 \times \log\left(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda}\right) + \sum k_{wi} \times L_{wi} + k_f \left(\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b\right) \times L_f \quad (10)$$

$L(d)$ – je celkový útlum [dB]

d – vzdálenost [m]

λ – vlnová délka nosné vlny [m]

k_{wi} – počet příček typu i , které protíná spojnice vysílač přijímač

L_{wi} – činitel útlumu [dB] pro příčku typu i

k_f – počet podlaží která protíná spojnice vysílač přijímač

L_f – činitel útlumu [dB] pro průchod podlažím

b – konstanta nelinearity útlumu průchodem skrz více podlaží

4.2.3. Optické modely

Optické modely jsou typickým deterministickým přístupem, tedy vycházejících přímo z teoretických poznatků o šíření elektromagnetických vln, proto se tyto modely někdy označují jako fyzikální. Optické modely pro přesný výsledek mají požadavek věrného popisu úlohy především z geometrického hlediska. Použití těchto modelů je univerzální, ale vlivem vysokých požadavků na vstupní data se používají spíše v situacích, kdy jednodušší modely selhávají. Vysoká přesnost optických modelů je vykoupena i velkou složitostí výpočtů, vyžadujících výkonné výpočetní prostředky, proto jsou tyto modely součástí komplexních plánovacích softwarů.

Princip optických modelů je založen na paprskovém přístupu známém z optiky. Přenos energie se předpokládá po jednotlivých paprscích, které se mohou šířit přímo, odrazy a ohyby od překážek, nebo jejich průchody. Těchto paprsků může být teoreticky nekonečné množství. Elektromagnetické vlny však po každém odrazu, ohybu či průchodem překážkou ztrácí část své energie. Vlna tedy po několika odrazech, ohybech či průchodech nese již zanedbatelné množství energie a v modelu je proto potřeba omezit maximální počet zmíněných jevů. V bodě příjmu se pak všechny nezanedbatelné signály, které do bodu příjmu dorazí vektorově sečtou, průběh sečteného signálu byl znázorněn v předchozí kapitole 3.2.

4.3. Reálná úroveň signálu

Po návrhu pokrytí před spuštěním daného radiového přenosu je na čase teoretické výsledky ověřit v praxi přímým měřením kvality signálu alespoň v klíčových místech pokrytí. Potřeba ověření modelu je přímo závislá na tom, jak jednoduchý model byl pro naplánování pokrytí použit. Pro toto měření je již samozřejmě nutné, aby vysílače vysílaly.

Většina v současné době prodávaných bezdrátových síťových prvků se dodává s nějakým nástrojem pro měření síly signálu. Pro ty prvky, které od výrobce do výbavy takový produkt nedostaly, je k dispozici výběr z freeware produktů, nebo pro sofistikovanější měření existují i drahé programy a analyzátoři určené převážně pro rozsáhlé projekty.

Vzhledem k zaměření této práce na lokální počítačové síť WiFi můžeme říci, že pro měření síly signálu postačí notebook s příslušnou WiFi kartou. Pro přesnější měření je ovšem zapotřebí spíše směrová, ale hlavně externí anténa se známým ziskem, propojena kabelem se známým útlumem pro přepočítání naměřených hodnot. Měření se zabudovanou anténou má spíše informativní hodnotu.

Výsledky přímého měření nedají jen odpověď na otázku, zda je všude dostatečné pokrytí signálem, ale již trochu sofistikovanější programové vybavení zobrazí i odstup měřeného signálu od šumu a s tím související zarušení daného pásma v dané oblasti. Typickým příkladem je program Network Stumbler.

4.4. Analýza provozu sítí

Vybudováním počítačové sítě a jejím zprovozněním, práce na síti zdaleka nekončí. Síť je potřeba nadále udržovat. Pro síť zcela platí přísloví, že prevence je lepší než léčba, to platí stejně pro bezdrátové jako i metalické. V současné době je většina sítí kombinovaných. To pro základní diagnostiku a monitorování sítí není žádný problém. Základní nástroje pro zprávu sítě jsou založeny na několika základních síťových protokolech a ze samotné podstaty sítí je jedno, na kterém typu sítě jsou provozovány.

Důležité koncepty pro analýzu a optimalizaci výkonu sítě zahrnují postupy:

- Úzká hrdla – jsou body v systému, které limitují celkový průchod dat sítí. Úzké hrdlo limituje průchod dat v síti stejně, jako hrdlo láhve limituje množství tekutiny z láhve vytékající.
- Srovnávací základna – k zajištění co nejefektivnější funkce sítě, je potřeba provádět srovnávací měření. Všechna měření se porovnávají k jednomu měření, které by mělo být pořízeno za normálního zatížení sítě. Normálním zatížením se rozumí mimo špičky a ne zas v době, kdy je síť využívána minimálně. Toto měření, může to být i průměr většího počtu měření, se stanoví za etalon a nazývá se srovnávací základna. Srovnávací základna pomáhá identifikovat největší uživatele, tedy ty uživatele, kteří síť zatěžují nejvíce. Stanovit vzorec využití sítě, podle kterého se můžou testy a údržba systému naplánovat na období, kdy je síť málo využívána a tyto aplikace nebudou brzdit provoz sítě.
- Nejlepší praxe – soubor praxí ověřených postupů i vlastních zkušeností.

Mezi nejstarší a i v současné době nejpoužívanější a nejdůležitější protokol pro kontrolu sítí je protokol ICMP, definovaný standardem RFC 792 již v roce 1981. Tento protokol obsahuje 11 zpráv, které jsou vysílány k danému bodu sítě, a pokud nedojde k odpovědi, vrací se chybové hlášení. K nejznámějším a nejpoužívanějším patří zpráva Echo, Echo Reply a Destination Unreachable. Na tomto protokolu jsou založeny například nástroje Ping a Tracerout, které jsou jednoduchým, snadno dostupným, prostředkem pro řešení potíží na síti, tím že zjistí dostupnost jednotlivých bodů na síti.

O něco málo mladším je protokol SNMP, používá hierarchickou databázi, označovanou MIB (informační báze pro správu). Tento jednoduchý nástroj je zahrnut ve většině implementacích TCP/IP a má několik velkých výhod, není nákladný, zatěžuje síť jen málo, je podporován většinou hardwarových zařízení. Na tomto protokolu je například založen nástroj Netstat, který dokáže jednoduchým způsobem zobrazit v textové podobě informace získané z informační databáze MIB s možností základního filtrování.

O dokonalosti a nenahraditelnosti těchto dvou protokolů, hovoří i skutečnost jejich revize pro podporu IPv6. Na těchto protokolech je založena i velká řada programů pro správu a monitorování sítí, od jednoduchých až po komplexně propracované systémy a od programového vybavení, které je zdarma až po nákladný software. Jednodušší nástroje pro správu sítí jsou implementovány již v základním vybavení operačních systémů Windows a to od verze 95, kterým byl nástroj NetWatcher.

Analýzátory protokolu jsou programy, které zachytávají pakety přenášené mezi dvěma a více počítači nebo síťovými zařízeními. Zachycené pakety jsou poté dekódovány, tedy převedena na formát lidem čitelnější, než je dvojková soustava. Mnohé programy zobrazí

výsledky v grafické podobě. Dekódovat data v reálném čase při dnešních rychlostech sítí je technicky velmi náročné a používá se jen výjimečně, v těchto případech většinou dochází jen k dekodování hlavičky paketu. Nutnost pakety ukládat má výhody k vrácení se k již naměřeným datům. To umožní další hlubší analýzu dat nebo jejich odeslání k síťovým specialistům. Analyzátoři protokolu tedy odposlouchávají komunikaci na síti, a proto se pro ně vžilo i označení Sniffer. Tento pojem se používá i k označení jakéhokoliv programu, který umožňuje odposlech. Proto mají odposlouchávací programy v některých kruzích špatnou pověst kvůli používání těchto programů hackery a crackery k získání jmen uživatelů a hesel. I přes to mají analyzátoři protokolů nezastupitelné a legální využití při zprávě sítí. Pomáhají odhalovat problémy se spojením, odhalovat neoprávněná vniknutí do sítě a analyzovat výkon sítě. Typické příklady těchto programů jsou Network monitor a Display Sniffer.

Velkou oblibu u poskytovatelů bezdrátových sítí mají programy Nagios a WatsUp, které jsou komplexními programy pro správu sítí s podporou velkého množství nástrojů. I přesto jsou základní a nejčastěji používané funkce založeny na protokolech ICMP a SNMP. Mezi základní testy patří test dostupnosti nástrojem ping.

Nagios je aplikace pod linuxovými operačními systémy. Jeho velkou výhodou je, že jde o bezplatnou aplikaci a nevýhodou komplikované základní nastavení v textovém režimu.

WatsUp je program pracující pod systémem Windows, čímž je dán základní rozdíl mezi ním a systémem Nagios. WatsUp má přívětivější nastavení, ale za tento komfort se musí zaplatit. Jinak oba systémy umí zhruba to samé.

5. Analýza reálného bezdrátového přenosu

5.1. Podmínky pro testování

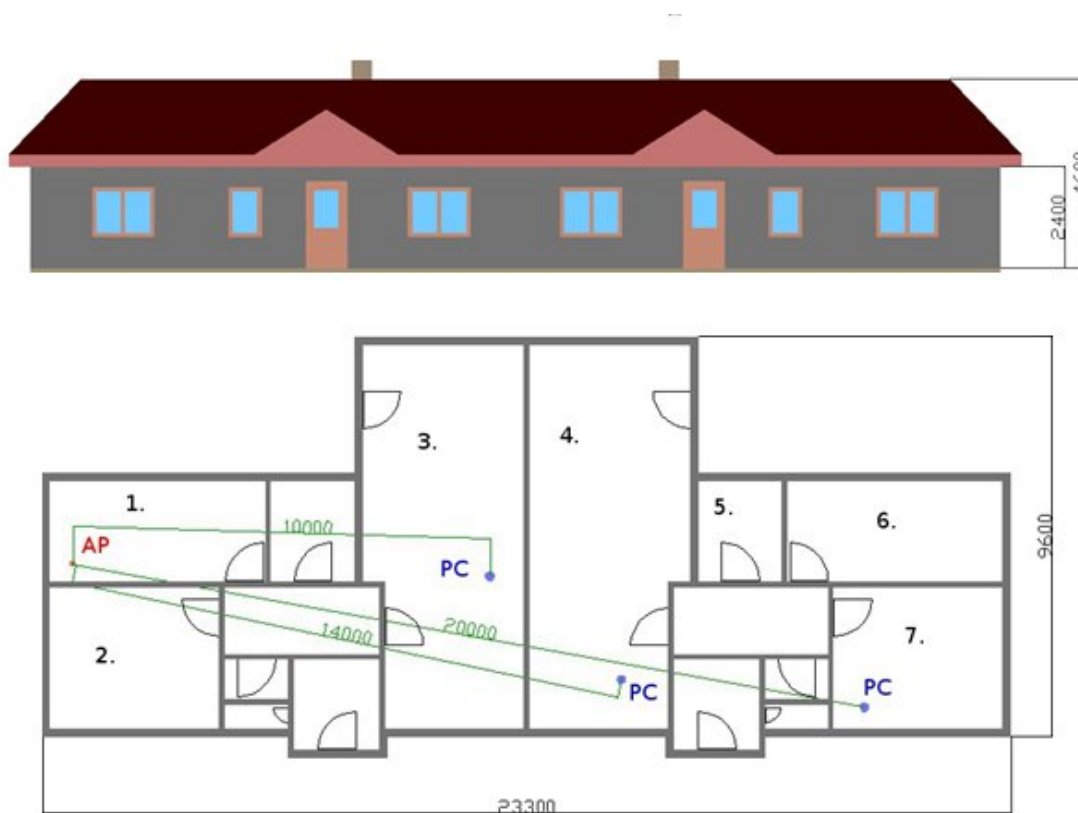
Pro analýzu reálného spoje jsem si pro jeho rostoucí oblibu a snadnou dostupnost vybral systém WiFi na frekvenci 2,4GHz, tedy standard IEEE 802.11 b/g.

Jak jsem již napsal v kapitole 4. mezi základní a s oblibou používané testy síťových spojů patří test dostupnosti, který jako základ používají i velmi sofistikované programy. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl test bezdrátového síťového spoje založit právě na testu dostupnosti nástrojem Ping, tedy na protokolu ICMP. Kvůli potřebě častějšího testování a ukládání výsledku testu jsem vytvořil ve Visual Basicu program založený na dynamické knihovně ICMP. Jde o jednoduchý program, který umožňuje zadat IP adresu k uzlu sítě, ke kterému se daný spoj testuje, zadat počet žádostí o odpověď v jednom testu a časový interval, po kterém se test opakuje. Výsledek každého z řady testů uloží jako jeden řádek do textového souboru, formátovaného do formátu CSV, který se snadným způsobem importuje do tabulkových editorů, ve kterých se pak výsledek lépe zpracovává na rozdíl od prostého textu. Program pro potřebu analýzy zaznamenává vyhodnocenou zprávu pro každý vyslaný požadavek a k němu příslušnou odezvu, pro kterou vybere maximální a minimální odezvu jak v jednotlivých testech, tak z průběhu celého testování, datum a čas kdy test proběhl, kolik žádostí obdrželo odpověď a u kolika odpověď nepřišla, z těchto hodnot spočítá spolehlivost vyjádřenou v procentech. Některé z parametrů jsou zobrazovány hned na obrazovce pro kontrolu průběhu testu, spolehlivost jako hlavní sledovaný parametr je samozřejmě zobrazována průběžně na obrazovce. Program jsem pracovně pojmenoval Test Ping, které mu nakonec zůstalo. Bližší popis programu je obsahem přílohy příloha 3 a příložené CD obsahuje i zdrojový kód programu.

Pro účely testování jsem použil malou domácí síť, která se skládá z jednoho přístupového bodu TENDA W54A a dvou mobilních počítačů. Měření vždy probíhalo na notebooku ACER Extensa 5230E s integrovanou WiFi kartou podporující standard IEEE

802.11b/g s vyzařujícím výkonem 20dB, citlivostí -85 dBm a integrovanou všesměrovou anténou se ziskem 0 dBi, vybaveného operačním systémem Windows XP Profesionál. Přístupový bod podporuje rovněž standard IEEE 802.11 b/g, disponuje maximálním výstupním výkonem 18 dB vyzařujícím přes všesměrovou anténu se ziskem 3 dBi a s citlivostí pro příjem -86 dBm. Testování probíhalo v prostředí typizované dřevostavby typu rodinného dvojdomku 3+1 o ploše 110 m² na bytovou jednotku. Charakter rodinného domku naznačuje obr. 11, který ukazuje i umístění přístupového bodu (AP) spolu s místy nejčastějšího používání notebooků (značených na obrázku ne zcela správně jako PC). Na obr. 11 jsou rovněž očíslovány místnosti pro snadnější odkazování. Dané stavení se nachází na konci obce osamocené mezi poli. Vzhledem k tomu, že obec leží převážně na rovině, překážky pro odraz signálu zpět do budovy představuje jen pár hospodářských stavení náležejících k danému domu.

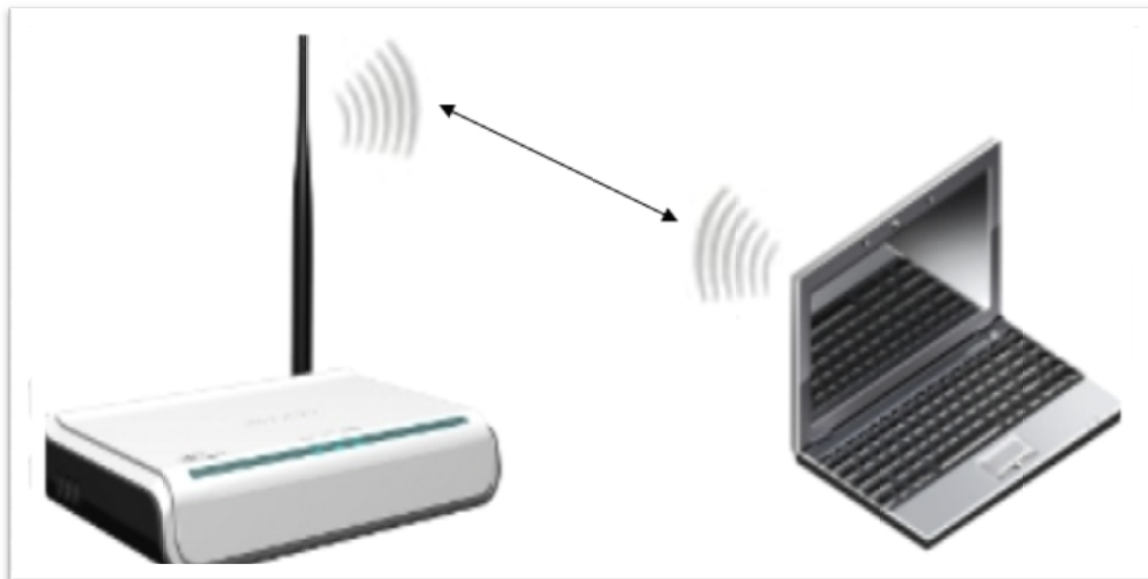
obr. 11 Podmínky pro analýzu



5.2. Průběh testování

Průběh testování byl velmi jednoduchý, z počátku spočíval pouze ve spuštění programu Test Ping verze 7.5, jeho nastavení a spuštění testování. Důležitým parametrem nastavení pro testování je IP adresa. Vzhledem k zaměření této práce na analýzu spolehlivosti bezdrátových přenosů, probíhalo testování vždy jen na trase mezi přístupovým bodem a notebookem, jak zobrazuje obr. 12.

obr. 12 Znárodnění bezdrátového testovaného úseku

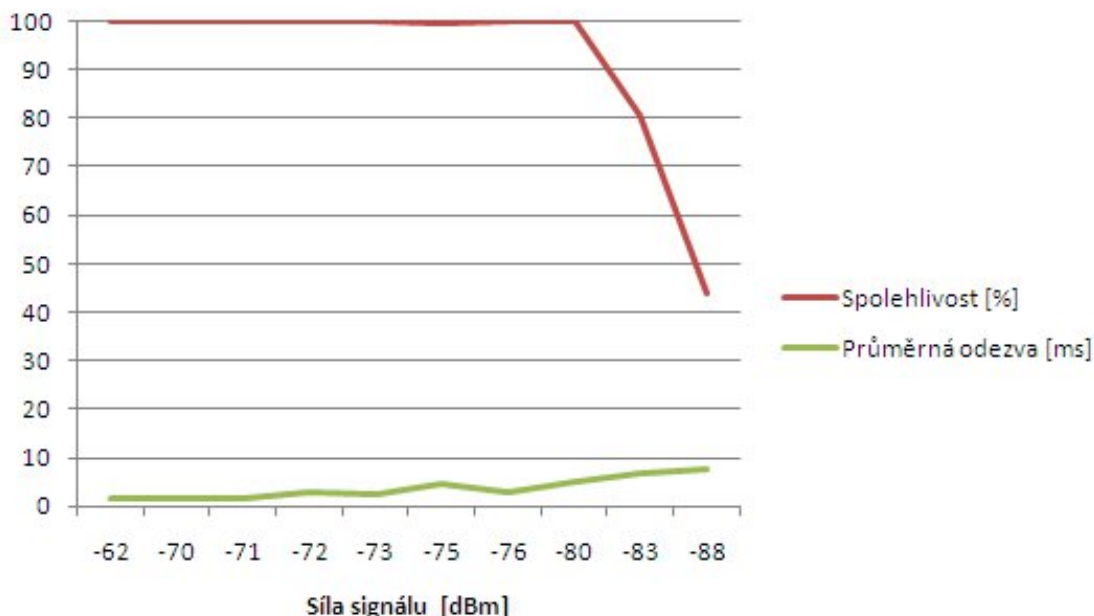


Pro určení IP adresy přístupového bodu jsem použil nástroj Tracerout, kterým jsem získal IP adresu přístupového bodu 192.168.3.1, ke které pak byly směřovány všechny testy. Z první série měření spolehlivosti vyplynula nutnost sledování síly signálu, tyto záznamy jsou součástí příloženého CD. Pro sledování úrovně signálu jsem použil program Network Stumbler, jehož popis je součástí 4. kapitoly. Z tohoto důvodu se přípravy k testování spoje rozšířily o spuštění programu Network Stumbler verze 0.4.0, ve kterém je pro náhled na graf v průběhu měření akorát nutné vybrat správný kanál, v tomto případě všechna testování probíhala na 6. kanálu a rozkliknout ho v levém okně programu, to zdůrazňuji z důvodu, že při rozkliknutí v hlavním okně se nic nestane. Zatím co u programu Test Ping se výsledky ukládají do zvoleného souboru průběžně, po celou dobu testování spoje u programu Network Stumbler je po ukončení měření potřeba pro pozdější použití naměřená data uložit. Tento postup jsem zopakoval ve vybraných místnostech dvojdomku.

5.3. Výsledky testování

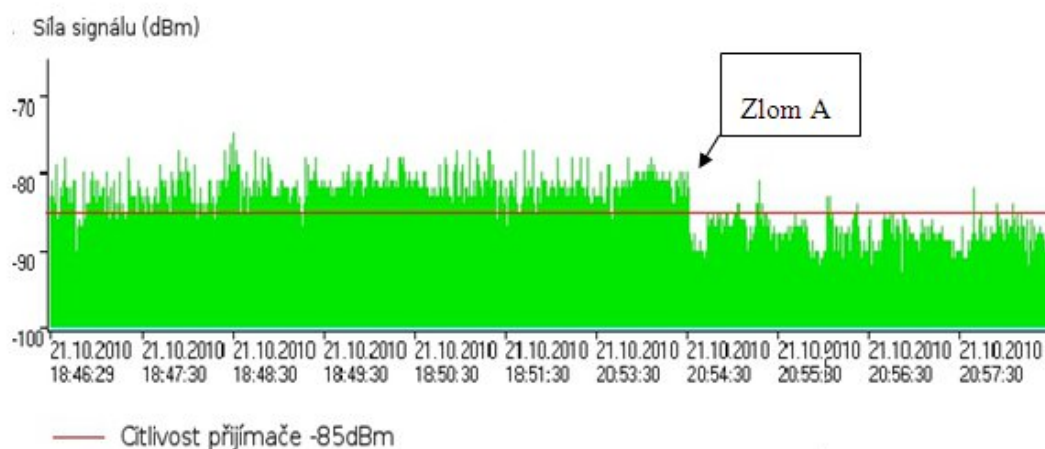
Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na obr. 13.

obr. 13 Graf vlivu síly signálu na spolehlivost a odezvu



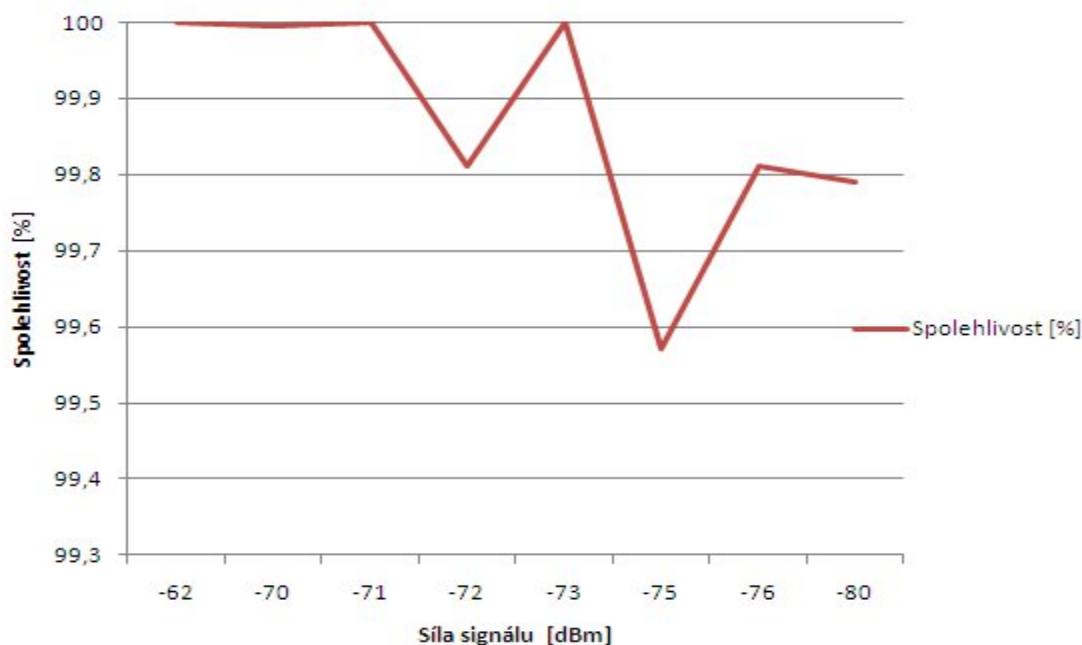
Z grafu na obr. 13 je dobře patrná nezávislost spolehlivosti daného bezdrátového digitálního přenosu na síle signálu, která přetrvává do oblasti, kdy se síla signálu přiblíží k hranici citlivosti přijímače. Toto zjištění potvrzuje potřebu při návrhu pokrytí počítat s nižší citlivostí přijímače, než se kterou samotný přístroj disponuje, popsanou již v kapitole 4.1.1 šíření na přímou viditelnost. Z grafu je rovněž dobře patrné, že doporučená rezerva 10 dBm od prahu citlivosti přijímače by měla zajistit spolehlivý přenos dat. To je vidět i na obr. 14, znázorňujících průběh síly signálu kolem hodnot -85 dBm, kde by výpadky v komunikaci mohli korespondovat s místy, kdy signál klesá pod citlivost přijímače. Ve zlomu A se situace podstatně mění, přesto, že signál je po většinu doby pod citlivostí přijímače, spoj si stále uchováva skoro 44% spolehlivost, viz obr. 14, toto je ale již hodnota, při které se, se spojením reálně moc pracovat nedá. Je zapotřebí si uvědomit, že při chybovosti větší než 50% nestačí spoji přenést o polovinu paketů víc, ale spoji se pravděpodobně z této poloviny znovu odeslaných paketů zas víc než polovina ztratí. Tedy spoj musí zas znova odeslat víc než čtvrtinu z opakovaných paketů znova a toto by teoreticky pokračovalo, dokud by spoj přenos nedokončil. Počet cyklů by byl závislý na množství přenášených paketů, ale již při třech cyklech, kdy se odesílá přes polovinu a následně pak přes čtvrtinu musí spoj přenést o více než 75% dat oproti stoprocentně spolehlivému přenosu. Při tomto stavu při běžném surfování po internetu většinou dojde k přerušení spojení z důvodu překročení povoleného času pro otevření dané webové stránky. Podle mých osobních zkušeností při práci na internetu je 20% chybovost, tedy 80% spolehlivost již velmi znát na prodloužení čekací doby na reakci webového prohlížeče. Záměrně jsem se vyhnul slovům zpomalení linky, protože jako zpomalení se to jeví uživateli, ale přenos probíhá stejnou rychlostí, jen dochází ke zdržení vlivem častějšího požadavku o opakování chybně přijatých dat.

obr. 14 Graf průběhu síly signálu kolem hodnot citlivosti přijímače



Měření, které zobrazuje obr. 14, kde signál výrazně poklesá a tento bod je vyznačen zlomem A, vzniklo úplně náhodou, když manželka vedle notebooku položila vázu s květinou. Tím toto měření potvrzuje, že voda a předměty s velkým obsahem vody jsou pro mikrovlny podstatnou překážkou v šíření, jak bylo již naznačeno v kapitole 3.2.

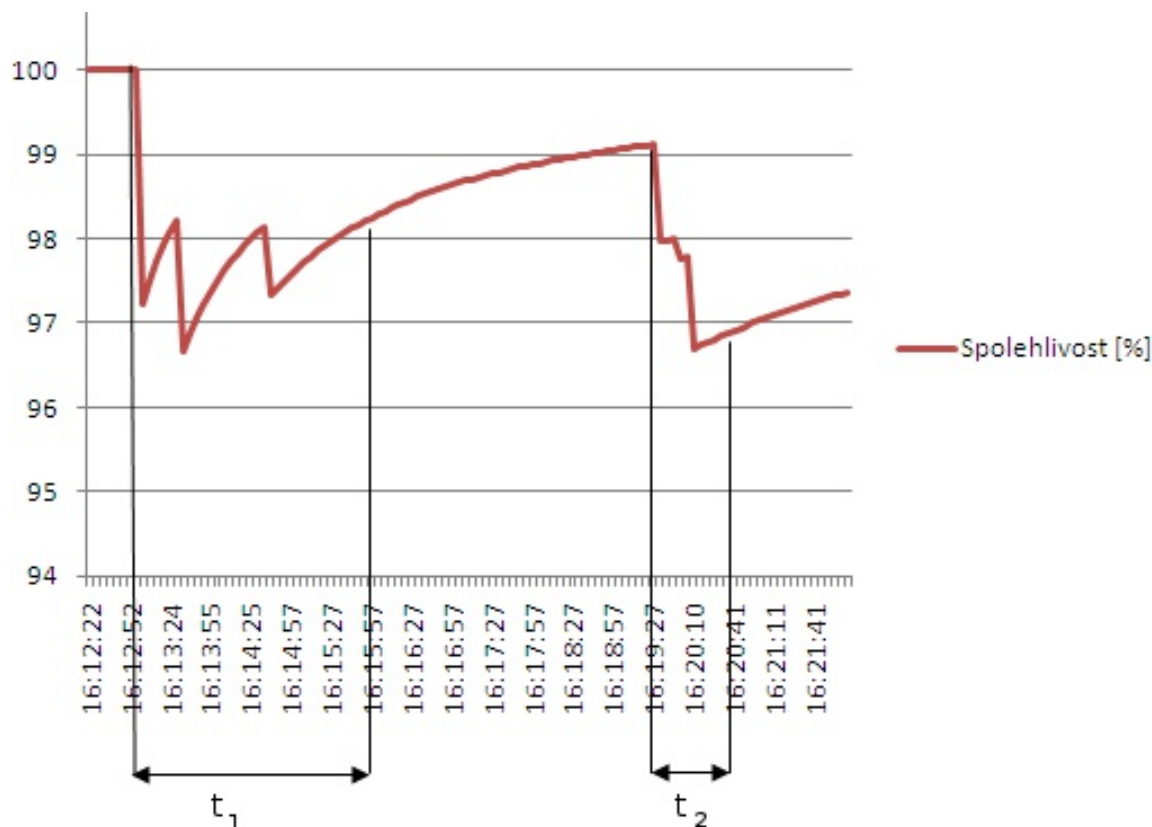
obr. 15 Graf vlivu síly signálu na spolehlivost při dostatečném odstupu od citlivosti přijímače



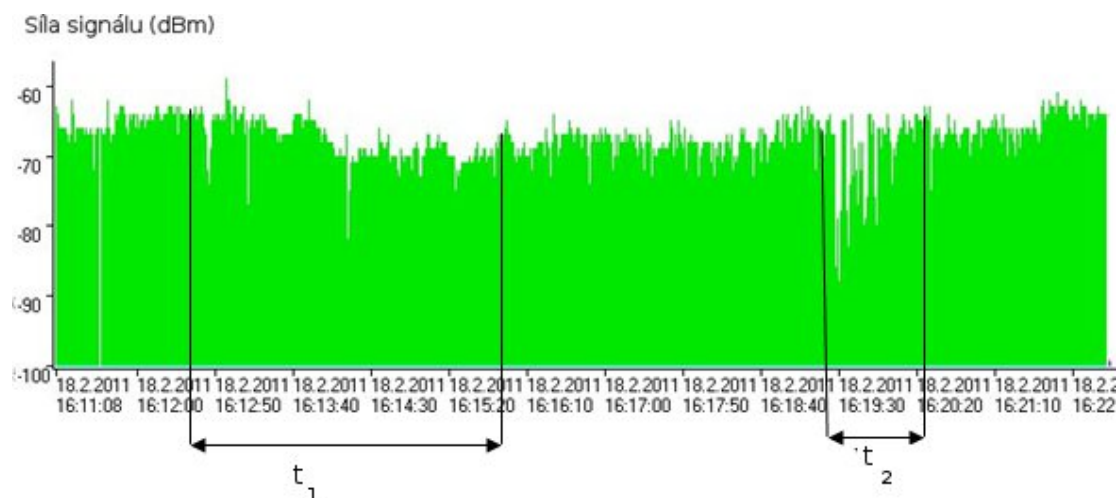
Na obr. 15 je zvětšená oblast grafu z obr. 13, při kterém je zajištěna dostatečná síla signálu nad citlivostí přijímače. Z průběhu spolehlivosti na tomto grafu je patrné že síla signálu v této oblasti již nemá takový vliv na spolehlivost a začínají se tu projevovat i další náhodné vlivy, které ale mají tím větší vliv na spolehlivost čím je síla signálu nižší.

Z běžných činností v domácnosti měl největší vliv na spolehlivost přenosu chod mikrovlnné trouby, jak naznačuje obr. 16, kde časové intervaly t_1 a t_2 vyznačují chod mikrovlnné trouby. Předpokládaný vliv byl popsán již v kapitole 3.2. Na obr. 17 je průběh síly signálu ze stejného měření jako na obr. 16, ve vyznačených časových úsecích je patrné rozkolísání síly signálu vlivem zarušení signálu mikrovlnou troubou, toto je zvláště patrné v intervalu t_2 .

obr. 16 Graf vlivu chodu mikrovlnné trouby na spolehlivost přenosu

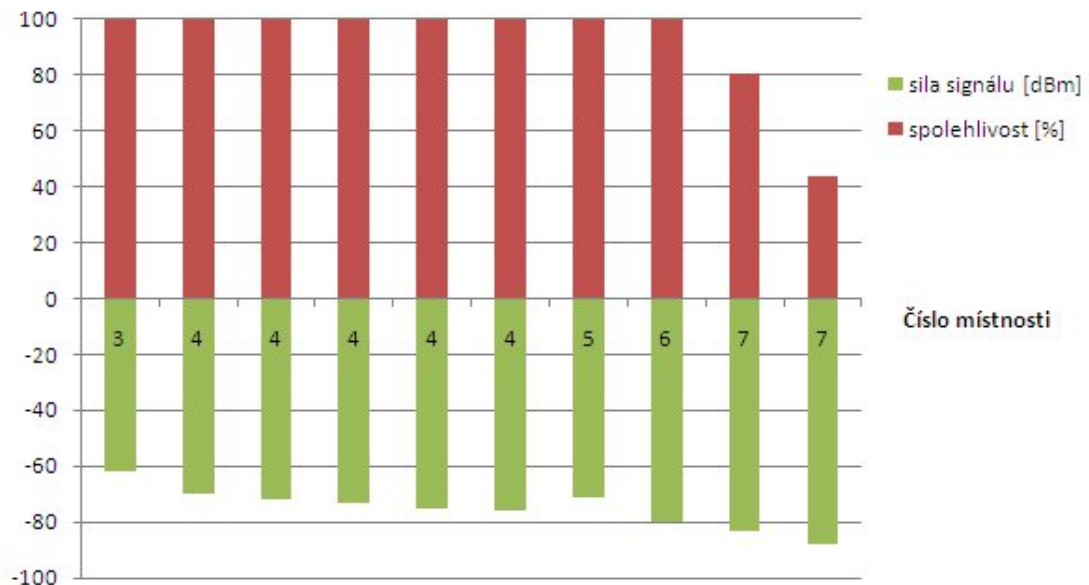


obr. 17 Graf vlivu mikrovlnné trouby na sílu signálu



Z grafu na obr. 18 je patrný výrazný pokles spolehlivosti přenosu dat při používání notebooku v místnosti s pořadovým číslem 7. Z tohoto grafu je dále patrné, že snížená spolehlivost připojení v dané místnosti je následkem nízkého pokrytí této místnosti signálem. Tento graf také naznačuje, že k podobnému problému by mohlo docházet i v místnosti číslo 6, kde je síla signálu jen o málo vyšší než v místnosti číslo 6, obr. 11 napovídá, že místnost číslo 7 patří k místům, kde je přístup k síti často využíván a nízký signál je zde značným problémem, který by bylo potřeba řešit.

obr. 18 Graf vlivu síly signálu a spolehlivosti přenosu na umístění notebooku

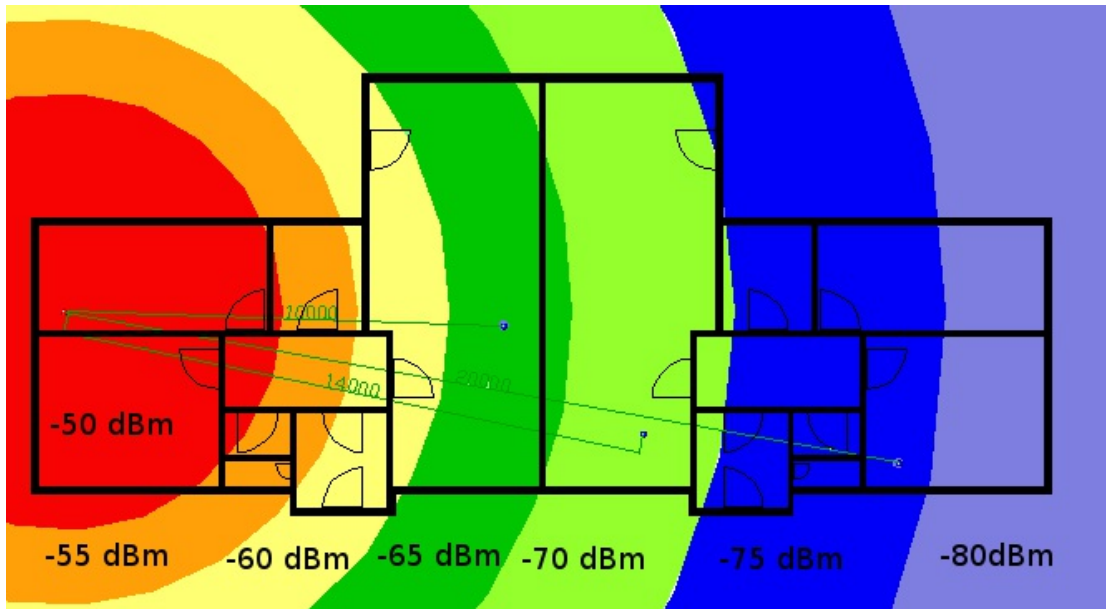


5.4. Možnosti zlepšení pokrytí signálu sítě

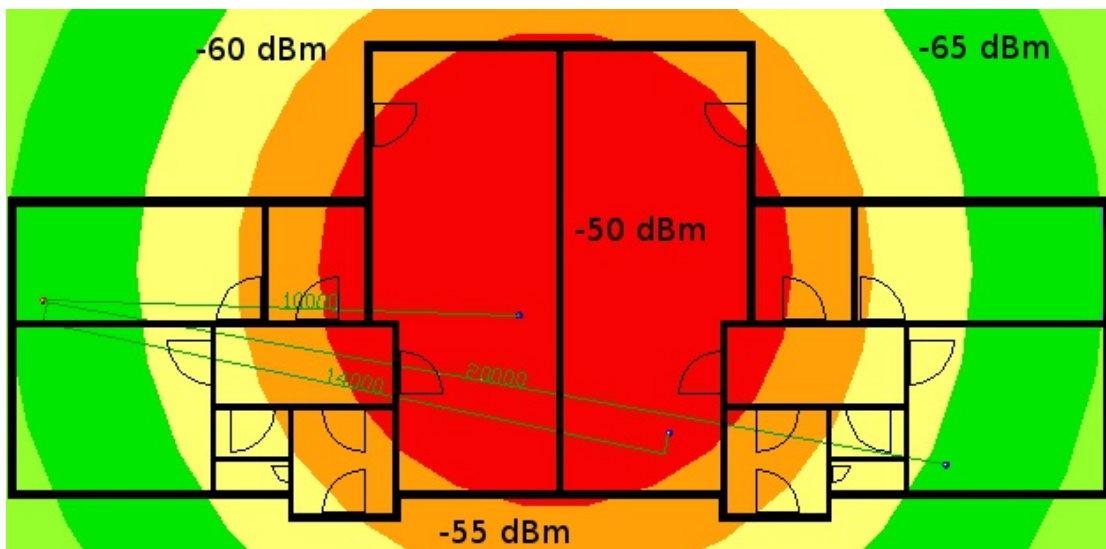
Pro vymodelování stávající situace se signálovými úrovněmi jsem zvolil One-Slope model pro jeho jednoduchost jak jsem již popsal v bodě 4.2.1. Výpočet modelu jsem provedl v aplikaci Mathcad a je součástí příloženého CD. Při porovnání výsledků modelu na obr. 19 a naměřených dat z obr. 18 je patrné, že tento model v daných podmínkách pracuje správně v rámci své tolerance. Je ale také dobře vidět, že jeho přesnost klesá v závislosti na vyšetřované vzdálenosti přenosu. V tomto případě model přesahuje svou předpokládanou přesnost pouze v jedné místnosti, to ale právě v místnosti 7, právě v té je zapotřebí zlepšit pokrytí signálem. I přesto model napovídá řešení problému. Umístit přístupový bod poblíž středu stavení, jak naznačuje model na obr. 20, který předpovídá podstatné zlepšení. Při odečtené chyby 10 dBm, které jsem získal při porovnání modelu stávající situace s naměřenými úrovněmi signálu, je ve všech místnostech síla signálu s dostatečnou rezervou pro zajištění spolehlivého přenosu. Problém je v tom, že v místě blízkém středu stavení se nikde nenachází připojení k internetu. Vytvoření nového přípojného bodu by si vyžádalo stavební úpravy spočívající nejméně v jednom průchodu stropem, umístění několika lišt a natažení síťového kabelu. Toto by byl asi nejspolehlivější způsob řešení, ale majitelce objektu se nelíbí kvůli nutnosti stavebních úprav. Dalšími možnostmi by bylo využít stávající elektrické sítě 230V za pomoci Powerline modemů, které mívají ale problém s rušením od elektromotorů. Dalším řešením by bylo použití bezdrátového opakovače, tedy WiFi zařízení pracující v režimu WDS. Opakovače v síti ale mírně brzdí přenosovou rychlost, větší problémy ale nastávají až v případě většího počtu opakovačů. Celá instalace pak spočívá pouze v umístění opakovače na místo s dostatečnou

silou signálu, v tomto případě bych volil místnost číslo 4, kde bylo dosahováno výborné spolehlivosti a došlo by i k dobrému pokrytí signálem i v místnosti číslo 7 i v případě snížení signálu o 10 dBm by signál neměl klesnout pod -75 dBm, jak naznačuje obr. 20, což je dostačující úroveň. Výsledné pokrytí stavení pak bude kombinací silnějších signálových kombinací obou modelů znázorněnou na obr. 19 a obr. 20.

obr. 19 Výsledek One-Slope modelu pro stávající situaci



obr. 20 Výsledek One-Slope modelu s AP v centru stavení

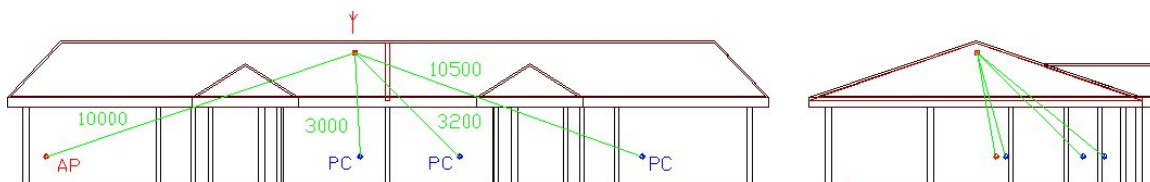


Při porovnání modelu stávající situace s naměřenými úrovněmi signálu vyplývá nutnost zvednutí úrovně signálu alespoň o 10 dBm. Z rovnice 4 je patrné, že úroveň přijímaného signálu se dá zvýšit i použitím antény s vyšším ziskem. V tomto případě by byla tedy potřeba anténa se ziskem aspoň o 10 dB vyšším, než je u antény, která má v přenosovém řetězci nižší hodnotu zisku. Z tohoto vyplývá, že by bylo potřeba notebook Extensa 5230 vybavit externí anténou. Vzhledem k tomu, že tento notebook nemá vstup pro externí anténu, bylo by nutné buď vybavit tento notebook jiným typem WiFi karty, nebo

místnost 7 vybavit samostatným přístupovým bodem v režimu klient s anténou příslušného zisku, ke kterému by se daný notebook připojil eternitovým kabelem přes síťovou kartu.

Ve výše popsaném případě by tedy bylo potřeba vyměnit jednu anténu a pořídit nový přístupový bod. Jestli by nebylo lepší pořídit jednu stropní anténu a umístit v půdních prostorách poblíže středu stavení. Tímto způsobem by se zabránilo nutnosti budování průchodu pro přivedení antény do obytných prostor stavení. Pro přívodní kabel pro anténu by se dal použít již existující průchod. Umístění antény viz obr. 21

obr. 21 Umístění stropní antény v půdních prostorách



Z obr. 21 je patrné, že model One – Slope není pro tento případ vhodný z důvodu průchodu signálu stropem. Pro tuto situaci je mnohem vhodnější model Multi – Wall popsaný v kapitole 4.2.2. Činitele útlumu jsem spočítal z naměřených hodnot síly signálu v jednotlivých měřeních a výsledné hodnoty pro potřeby výpočtu zprůměroval. Pro dřevostavbu jsem použil činitele útlumu $L_i = 7,42$ dB a $L_f = 24,29$ dB. Nelinearitu útlumu signálu vlivem průchodu více podlažími z důvodu jen jednoho podlaží mohu zanedbat. Výpočet jsem provedl v aplikaci Mathcad a je součástí přiloženého CD. Výsledky modelu Multi – Wall pro vybrané místnosti jsou uvedeny v tab. 2.

tab. 2 Síly signálu pro jednotlivé místnosti modelem Multi - Wall

Místnost	Vzdálenost [m]	Průchody příčkami	Síla signálu [dBm]
2	10	0	-84
3	3	0	-74
4	3,2	1	-81
7	10,5	4	-115

Z tab. 2 je patrné, že umístění antény v prostorách půdy není vhodné, vzhledem k nízkým hodnotám signálu v jednotlivých místnostech. Hlavním důvodem je velký útlum signálu při průchodu mezi podlažími.

5.5. Výběr nápravného řešení

Z výše popsaných důvodů rovnou zamítnu variantu vytvoření kabelové internetové přípojky a možnost umístění antény v půdních prostorech.

Je zajímavé, že ze zbylých 3 variant v současné době vychází všechny varianty cenově přibližně stejně:

- Powerline modem cenově vychází zhruba na 1200 – 1500Kč a balení obsahuje dva modemy.
- Opakovač cenově vychází zhruba na 600 – 1200Kč v závislosti na pořízené značce a výbavě přístroje.
- Anténí systém s vyšším ziskem vychází zhruba na 300 – 600Kč na všesměrovou anténu se ziskem kolem 10 dBi. Zde jsou ale za potřeby dvě antény a vzhledem k tomu, že daný notebook neposkytuje možnost připojení externí antény další Wifi router či karta pro připojení externí antény v ceně od 600Kč.

Považuji za nejvhodnější možnost k nápravě stávající situace dovybavit danou síť opakovačem vzhledem k nejnižším pořizovacím nákladům a pro případ nespokojenosti s tímto řešením se tento způsob dá s poměrně nízkými cenovými náklady předělat na variantu s výkonnějšími anténami. Dokoupením antén s příslušným ziskem a jejich připojením k přístupovým bodům. Druhým přístupovým bodem se stane opakovač, který se přepne do režimu AP a propojí eternitovým kabelem k danému notebooku.

6. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou spolehlivosti bezdrátových datových přenosů. V jejím začátku popisují stručně v současné době používané typy bezdrátových přenosů a postupně se zaměřují na radiové přenosy v horním pásmu UHF a spodních pásmech mikrovln, které v současné době patří k nejrozšířenějším způsobům bezdrátové komunikace. U této oblasti radiového spektra popisují jeho fyzikální vlastnosti šíření, zaměřené převážně na šíření přízemní prostorové elektromagnetické vlny a vlastnosti určující základní vlastnosti datového přenosu, se zaměřením na maximální přenosovou rychlost, která úzce souvisí s odolností daného přenosu proti rušení. Tyto principy představují na dvou konkrétních, v současné době, asi nepoužívanějších typech bezdrátových technologiích, a to na mobilní telefonní síti GSM a WiFi, konkrétně na standardu IEEE 802.11 b/g, kterým plynule přecházím k počítačovým sítím a jejich analýze spolehlivosti, kde vyzdvihuji protokol ICMP, na jeho využití jsem následně založil analýzu reálného datového spoje.

Pro analýzu reálného spoje jsem si vybral malou bezdrátovou domácí WiFi síť, z důvodu, že v době psaní této práce, jsem již řešil problémy s výše popsanou sítí a lákala mě možnost přenesení teoretických poznatků do praxe. Pro potřeby analýzy jsem si vytvořil testovací program Test Ping, který provádí test spolehlivosti na základě dostupnosti síťových uzlů, výhodou tohoto programu je, že je založen na protokolu ICMP a lze jej proto použít k testování ve všech sítích pracujících na protokolu TCP/IP, bez ohledu na tom, na které fyzické vrstvě je síť provozována. Naměřená data jsem rozšířil o hodnotu síly signálu, kterou jsem sledoval pomocí programu Network Stumbler.

Výsledky analýzy reálného přenosu potvrdily nezávislost spolehlivosti bezdrátových digitálních přenosů na síle signálu, která je ale limitována spodní hranicí, rovnou citlivosti přijímače, při uvažování stálých vlastností přenosové trasy. Provedená měření zároveň potvrdily skutečnost, že dosažení stálých vlastností přenosové trasy je v reálném prostředí šíření přízemní prostorové vlny v podstatě nemožné a vliv působení nepříznivých vlivů na datový přenos je nepřímo úměrný odstupu síly signálu od citlivosti přijímače. Analýza potvrdila i opodstatnění 10 dB odstupů od citlivosti přijímače při návrhu bezdrátových sítí, nad kterou spoj vykazoval výborné a stabilní hodnoty spolehlivosti přenosu. Analýza reálné bezdrátové sítě pomohla odhalit slabá místa sítě, co se spolehlivosti přenosu týká a potvrdila jejich souvislost s nízkou úrovní signálu v daných místech sítě. Pro návrh nápravných opatření jsem použil One-Slope a Multi-Wall modely šíření elektromagnetických vln v zástavbě. Na základě výsledků modelových situací, jsem navrhl několik možností nápravy stávající situace, z kterých jsem vybral variantu umístění opakovače poblíž centra stavení, která je finančně, ale i z hlediska provedení, nejméně náročnou variantou, protícenou za nízké náklady a snadnost provedení je jen mírné snížení datové propustnosti dané sítě, které by při stávajícím provozu na dané síti nemělo činit žádné komplikace.

7. Seznam literatury

- [1] BRISBIN, Shelly. Wi-fi: postavte si svou vlastní wi-fi síť. Praha: Neocortex., 2003, 248 s. ISBN 80-86330-13-3
- [2] DOBEŠ, Josef. ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2
- [3] Jak funguje mikrovlnná trouba [online]. [cit. 2011. 2. 25]. Dostupné z: <http://fyzweb.cuni.cz/dilna/krouzky/mikrov/mikrov.htm>
- [4] KOCOUR, Z, ŠAFRÁNEK, M, Fyzická vrstva Wi-Fi [online]. Vystaveno 9. 5. 2008 [cit. 2011. 3. 13.]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocianku=2008050006>
- [5] KOHOUT, Jiří. Proč není dobré vařit vodu na kafe v mikrovlnné troubě? [online]. [cit. 2011. 3 15]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~jkohout4/clanek-mikrovlny.doc>
- [6] MRÁZEK, Š. MICHÁLEK, Z. Test Access Pointů: úvod do problematiky [online]. Vystaveno 25. 2. 2005 [cit. 2011. 4. 2]. Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-077EF55F55EB9A39C1256F9B0043CD5D.html
- [7] OTYEPKA, Michal. Struktura atomů a molekul: Obrazová příloha [online]. Vystaveno 2010 [cit. 2011. 1. 25]. Dostupné z: http://fch.upol.cz/skripta/sam/sam_barfigy.pdf
- [8] PECHAŘ, Pavel. Modely šíření vln v zástavbě. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 112 s. ISBN 80-7300-186-1
- [9] ROHLÍK, Matěj. Komunikace mezi BTS a MS: rozhraní Um [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2011. 1. 20.]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/KomunikaceMeziBTSaMS-UmInterface_Rohl%EDkM.pdf
- [10] RUMÁNEK, Jaroslav. Družicové komunikační systémy [online]. [cit. 2011. 2. 3.]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Rumanek_druzice.pdf
- [11] SHINDER. LITTLEJOHN, Debra. Počítačové sítě: nepostradatelná příručka k pochopení síťové teorie, implementace a vnitřní funkce. 1. Vydání. Praha: Softpress, 2003. 752 s. ISBN 80-86497-55-0
- [12] Státní informační web digitalizace[online]. [cit. 2011. 3. 5]. Dostupné z: <http://www.digitalne.tv>
- [13] ŠEBEK, František. Družicové komunikácie a vysielanie z družíc [online]. Vystaveno 2011 [cit. 2011. 4.2.]. Dostupné z: http://www.intenziva.sk/cms/File/cerd_11/7_sebek_intenziva_11.p
- [14] ŠKVAŘILOVÁ, Martina. Satelitní komunikace [online]. [cit. 2011. 2. 3]. Dostupné z: http://student.oapion.cz/ict/jine/Prez_vyu2/Satel_komunikace.ppt

- [15] UHLÍŘ, Jan. Elektrotechnika pro informatiky. 1. vydání. Praha: nakladatelství ČVUT, 2008. 124 s. ISBN 978-80-01-03981-6
- [16] TUREK, Lukáš, Jak funguje Wi-Fi: aneb co jste chtěli vědět o Wi-Fi a nebylo se koho zeptat. [online]. Vystaveno 6. 1 .2008 [cit. 2011 4 13]. Dostupné z: <http://8an.praha12.net/talks/wifi.pdf>
- [17] ZANDL, Patrik. Bezdrátové sítě: WiFi praktický průvodce. 1. vydání. Brno: Computer press, 2003. 190 s. ISBN 80-7226-632-2

Seznam obrázků

obr. 1	Vícecestné interference	- 5 -
obr. 2	Tři základní varianty dvoustavový modulací zdroj	- 7 -
obr. 3	Způsoby zobrazování výcestavových modulací	- 8 -
obr. 4	Rozložení přenosových kanálů v pásmu 2,4GHz	- 13 -
obr. 5	Zobrazení Fresnelovy zóny	- 16 -
obr. 6	Graf velikost Fresnelovy zóny v závislosti na vzdálenosti přenosové trasy	- 17 -
obr. 7	Šíření nad rovinnou zemí	- 17 -
obr. 8	Mechanismus šíření v městské makrobuňce	- 18 -
obr. 9	Šíření vln v mikrobuňce	- 19 -
obr. 10	Šíření elektromagnetických vln v pikobuňce	- 19 -
obr. 11	Podmínky pro analýzu	- 24 -
obr. 12	Znázornění bezdrátového testovaného úseku	- 25 -
obr. 13	Graf vlivu síly signálu na spolehlivost a odezvu	- 26 -
obr. 14	Graf průběhu síly signálu kolem hodnot citlivosti přijímače	- 27 -
obr. 15	Graf vlivu síly signálu na spolehlivost při dostatečném odstupu od citlivosti přijímače	- 27 -
obr. 16	Graf vlivu chodu mikrovlnné trouby na spolehlivost přenosu	- 28 -
obr. 17	Graf vlivu mikrovlnné trouby na sílu signálu	- 28 -
obr. 18	Graf vlivu síly signálu a spolehlivosti přenosu na umístění notebooku	- 29 -
obr. 19	Výsledek One-Slope modelu pro stávající situaci	- 30 -
obr. 20	Výsledek One-Slope modelu s AP v centru stavení	- 30 -
obr. 21	Umístění stropní antény v půdních prostorách	- 31 -

Seznam tabulek

tab. 1	Závislost přenosové rychlosti IEEE 802.11 g na modulaci a ochranném kódování	- 14 -
tab. 2	Síly signálu pro jednotlivé místnosti modelem Multi - Wall	- 31 -

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Český název	Anglický název
ACK	Potvrzení	Acknowledge
AMC	Adaptabilní modulace a kódování	Adap Modulation and Coding
AP	Přístupový bod	Access Point
ARQ	Opakování neúspěšného přenosu	Automatic Repeat Query
ASK	Amplitúdová dvoustavová modulace	Amplitude Shift Keying
BER	Bitová chybovost	Bit Error Ration
BPSK	Dvoustavová fázová modulace	Binary Phase Shift Keying
CCK	Doplňkové klíčové kódování	Complementary Code Keying
CRC	Cyklická redundantní kontrola	Cyclic Redundancy Check
CSV	Text oddělený oddělovači	Comma Separated Values
CTS	Povolení k vysílání	Clear To Send
ČTU	Český telekomunikační úřad	Czech telecommunication department
DSSS	Přímá posloupnost rozprostřeného spektra	Direct Sequence Spread Spectrum
EDGE	Rozšířené rychlosti pro GSM přenosy	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FDMA	Frekvenční multiplex	Frequency Division Multiplex Access
FED	Dopředná korekce chyb	Forward Error Correction
FSK	Dvoustavová frekvenční modulace	Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussovská modulace s minimálním zdvihem	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	Paketový radiový přenos dat	General Packet Radio Service
GPS	Globální poziční systém	Global Position System
GSM	Buňková telefonní technologie	Global System for Mobile Communications
ICMP	Síťový protokol chybových zpráv	Internet Control Message Protocol
IEEE	Společnost elektrotechnických a elektronických inženýrů	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPv6	Protokol síťové vrstvy komunikace dle ISO/OSI modelu verze 6	Internet Protocol vision 6
IR	Infračervené záření	Infra Red
LAN	Lokální síť	Local Area Network
MIB	Databáze pro správu sítě	Management Information Base
MMS	Multimediální zpráva	Multimedia Messaging Service
M-QAM	M-stavová modulace s proměnou obálkou	M-ary Quadrature Amplitude Modulation
MSK	Dvoustavová frekvenční modulace	Minimum Shift Keying

Zkratka	Český název	Anglický název
NAV	Indikátor virtuálního naslouchání	Network allocation vector
OFDM	Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAN	Osobní síť	Personal Area Network
PC	Osobní počítač	Personal computer
PSK	Dvoustavová fázová modulace	Phase Shift Keying
QPSK	Čtyřstavové klíčování s fázovým posuvem	Quadrature Phase Shift Keying
RTS	Požadavek k vysílání	Request To Send
SEC	Kód opravující jednu chybu	Singl Error corect
SEC-DED	Kód opravující jednu chybu a dvě detekující	Singl Error Corect – Double Error Detect
SFH	Frekvenční přeskakování	Spectrum Frequency Hopping
SMS	Krátké textové zprávy	Short Message Services
SNMP	Protokol správy sítě	Simple Network Management Protocol
TCP	Spojově orientovaný protokol pro přenos toku bajtů na transportní vrstvě se spolehlivým doručováním	Transmission Control Protocol
TDMA	Časové dělení	Time Division Multiple Access
UDP	Minimální protokol transportní vrstvy, orientovaný na zprávy	User Datagram Protocol
UHF	Ultrakrátké vlny	
USA	Spojené státy Americké	United States of America
UV	Ultrafialové záření	
VoIP	Hlas přes internetový protokol	Voice over Internet Protocol
WDS	Bezdrátový distribuční systém „ve WiFi mód opakovače“	Wireless Distribution System
WEP	Soukromí ekvivalentní drátovým sítím	Wired Equivalent Privacy
WiFi	“bezdrátová věrnost”, konfliktní bezdrátový přenos ve sdíleném pásmu	Wireless Fidelity
WPA	WiFi chráněný přístup	WiFi Protected Access
XOR	Exklusivní logický součet	Exclusive Disjunktion

8. Přílohy

Příloha 1:

Přehled elektromagnetického spektra

Příloha 2:

Referenční hodnoty ztrát šířením a hodnoty spádového koeficientu pro One-Slope model.

Příloha 3:

Program Test Ping.

Příloha 4:

Přiložené CD.

Příloha 1:
Přehled elektromagnetického spektra

Přehled elektromagnetického spektra.

Tab. 1 elektromagnetické spektrum zdroj [15]

Název	Zkratka Cz/En	Frekvence	Vlnová délka
Extrémně dlouhé vlny Extremely Low Frequency	ELF	0,3 – 3 kHz	1000 – 100 km
Velmi dlouhé vlny Very low Frequency	VLF	3 – 30 kHz	100 – 10 km
Dlouhé vlny Low Frequency	DV LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km
Střední vlny Medium Frequency	SV MF	0,3 – 3 MHz	1 – 0,1 km
Krátké vlny High Frequency	KV HF	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Velmi krátké vlny Very High Frequency	VKV VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra krátké vlny Ultra High Frequency	UKV UHF	0,3 – 3 GHz	1 – 0,1 m
Mikrovlny Super Hight Frequency	SHF	3 – 30 GHz	100 – 10 mm
Mikrovlny Extremely Hight Frequency	EHF	30 -300GHz	10 mm – 1 mm
Infračervené záření Infra Red	IR	$10^{10} - 10^{14}$ Hz	1 mm – 1 μ m
Viditelné záření Visible	VIS	10^{14} Hz	700 – 400 nm

Název	Zkratka Cz/En	Frekvence	Vlnová délka
Ultrafialové záření Ultra Violet	UV	10 ¹⁴ – 10 ¹⁶ Hz	400 – 10 nm
Rentgenové záření X-Rays		10 ¹⁶ – 10 ¹⁹ Hz	10 – 0,1 nm
Gama záření Gamma Rays		10 ¹⁹ – 10 ²⁴ Hz	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻¹⁴ m

Příloha 2:
Referenční hodnoty ztrát šířením a hodnoty spádového koeficientu pro
One-Slope model.

Tabulka referenčních ztrát šířením a spádový koeficient pro One-slope model.

Tab.1 referenční ztráty a spádový koeficient pro One.Slope model zdroj [8]

f [GHz]	Prostředí interiéru	L ₁ [dB]	n [-]	Poznámka
1,8	Kanceláře	33,3	4	např. GSM 1800
1,8	Otevřené prostory	37,5	2	např. GSM 1800
1,8	Chodba	39,2	1,4	např. GSM 1800
1,9	Kanceláře	38	4	např. DECT
1,9	Otevřené prostory	38	2,1	např. DECT
1,9	Chodba	38	1,3	např. DECT
2,5	Kanceláře	40,2	4,2	např. WLAN 802.11b/g
2,5	Chodba	40,2	1,2	např. WLAN 802.11b/g
2,5	Kanceláře	40	3,5	např. WLAN 802.11b/g
2,5	Kanceláře	40	3,7	např. WLAN 802.11b/g
5	Kanceláře	46,4	3,5	např. WLAN 802.11a
5,3	Kanceláře	46,8	4,6	např. WLAN 802.11a

L₁ – referenční hodnota ztrát [dB] pro vzdálenost 1m

n – spádový koeficient

Příloha 3:
Program Test Ping.

Manuál k programu Teste Ping

Popis programu

Program Test Ping je jednoduchým nástrojem pro testování spolehlivosti datových síťových přenosů. Spolehlivost probíhá na základě dostupnosti jednotlivých uzlů sítě. Program je určen pro operační systém Windows a byl testován na systémech Windows XP a Windows Vista.

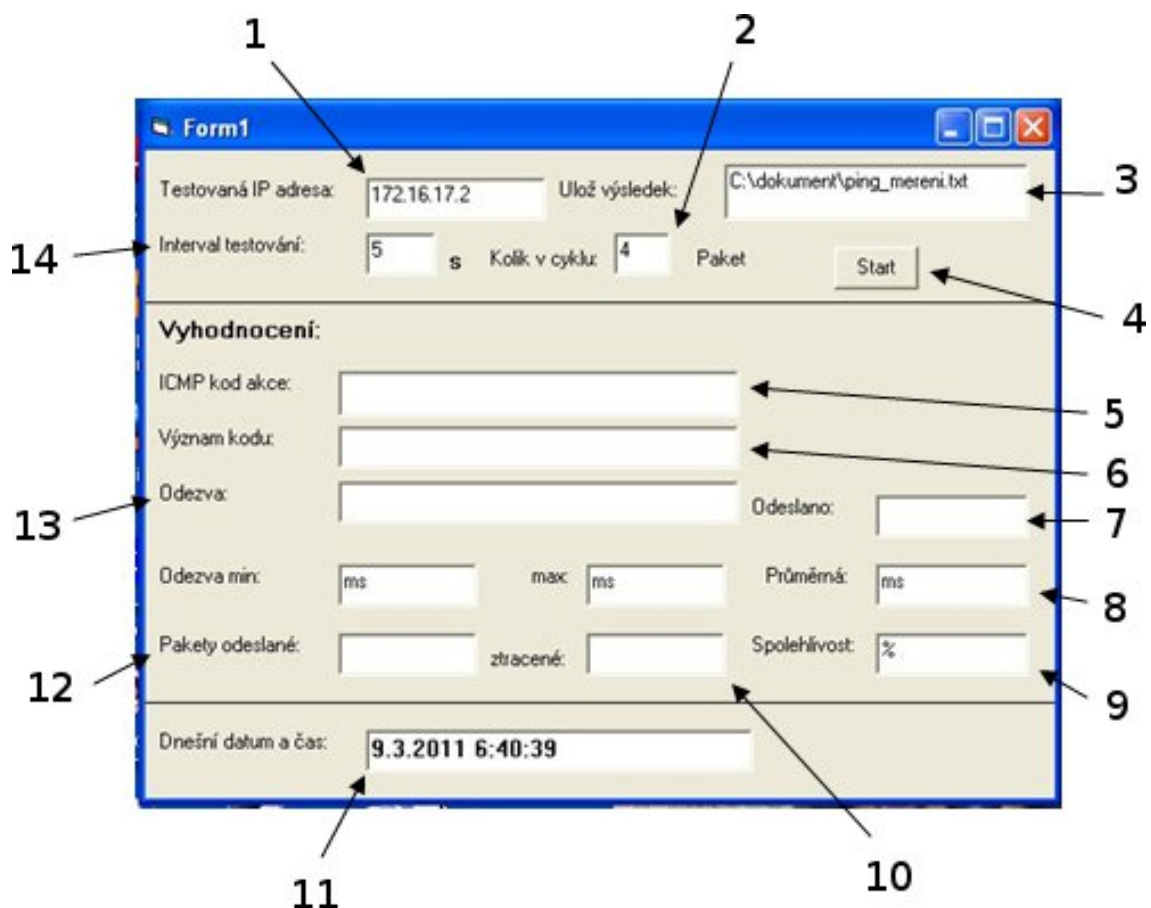
Instalace

Jde o jednoduchou spustitelnou exe aplikaci bez nutnosti instalace. Program může být spuštěn z kteréhokoliv umístění, tedy i z přenosného média.

Při testování se systémem Windows XP pracoval program vždy správně. V systému Windows Vista bylo zapotřebí vždy doinstalovat dynamickou knihovnu WSOCK32.DLL do adresáře C:\WINDOWS\SYSTEM32*. Obě dynamické knihovny WSOCK32.DLL i ICMP.DLL jsou součástí příloženého CD.

Ovládání

Obr. 1 Panel programu Test Ping



Legenda k obrázku 1:

1. Pole pro zadání IP adresy uzlu sítě, ke kterému se provádí testování. Program pracuje pouze s IP adresou verze 4.
2. Pole pro zadání počtu opakování měření v jednom cyklu.
3. Pole pro zadání adresy pro uložení výsledku testování.
4. Tlačítko „Start“ slouží pro spuštění testu. Při běžícím testu není tlačítko Start přístupné a místo něj je přístupné tlačítko „Stop“.
5. V tomto poli se zobrazuje kód operace, kterou v průběhu testování vrací protokol ICMP.
6. V poli se zobrazuje význam ICMP kódu
7. V poli Odesláno je zobrazen počet celkově odeslaných paketů.
8. V tomto řádku se zobrazuje odezva dle popisu u jednotlivých polí v poli „min“ je zobrazena minimální odezva z celého testování, v poli „max“ zas maximální naměřená hodnota odezvy a v poli „Průměrná“ je vypočítaný průměr ze všech naměřených hodnot odezvy systému. Celý tento řádek pracuje jen s hodnotami, u kterých byl test dostupnosti úspěšný.
9. V poli se zobrazuje průběžně dosažená spolehlivost v %.
10. V poli se zobrazuje počet ztracených paketů z průběhu jednoho testovacího cyklu.
11. V poli se zobrazuje aktuální systémové datum a čas.
12. Pole zobrazuje počet doopravdy odeslaných paketů v průběhu jednoho testovacího cyklu.
13. Zobrazení aktuálně naměřené odezvy systému pro jednotlivé testy v poli se zobrazují i přednastavené hodnoty systémem v případě neúspěšného testu a nebo uplynutí času, po kterou program čeká na odpověď.
14. Pole pro zadání časového intervalu, po kterém se opakují jednotlivé testovací cykly.

Výsledky testování

Výsledky testu jsou průběžně ukládány do textového souboru formátovaného do formátu CSV, kde jsou jednotlivé hodnoty odděleny středníkem. V začátku každého měření se vytvoří hlavička měření obsahující název jednotlivých zaznamenávaných hodnot, které jsou uvedeny níže v původním CSV formátování:

Datum ; Cas ; odes_c (pak) ; ztrac_c (pak) ; odes (pak) ; prij (pak) ; ztrac (pak) ; min
c (ms) ;

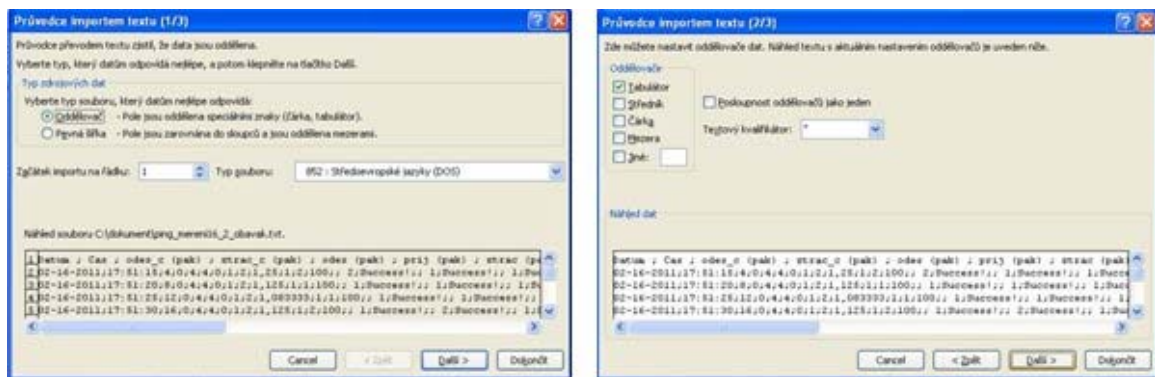
max c (ms) ; prum c (ms) ; min (ms) ; max (ms) ; spoleh. (%) ; Na IP 192.168.3.1;

V cyklu 4;Interval 5;

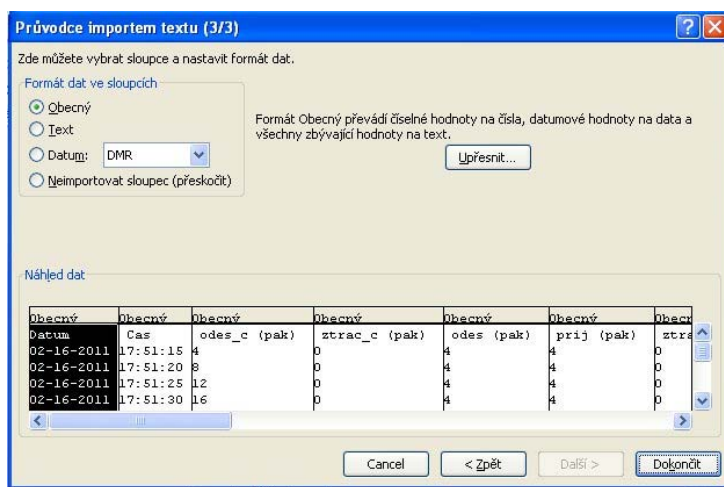
Názvy jednotlivých hodnot není asi potřeba dále popisovat, jen podotknu, že přidání písmena „c“ na konci názvu značí, že jde o hodnotu vztaženou k celému testování, zatímco hodnoty bez něj jsou vztaženy k jednotlivým cyklům. Program zapisuje naměřené hodnoty vždy na konec souboru a proto i při zápisu více testů do jednoho souboru, hlavička oddělí jednotlivá měření.

Formát CSV je výhodný pro snadný export do tabulkových editorů. Pro načtení hodnot do aplikace MS Exel stačí, otevřít textový soubor, pro toto je potřeba zadat v panelu „Otevřít soubor“ typ souboru TEXTOVÝ SOUBOR anebo VŠECHNY SOUBORY, pak je možno daný soubor vybrat. Po otevření souboru se program Exel sám zeptá na použitý oddělovač jednotlivých hodnot, viz obr. 2.

Obr. 2 Výběr oddělovače



Obr. 3 Výběr formátu dat



Před dokončením exportu je možné vybrat formát dat pro jednotlivé sloupce, viz obr. 3 a upravit oddělení desetinných míst. Mně se osvědčil postup, kde jsem sloupce obsahující desetinná čísla převedl na text a až v samotném listě převedl na číslo. Poté již nic nebrání práci s daty v prostředí aplikace Excel.

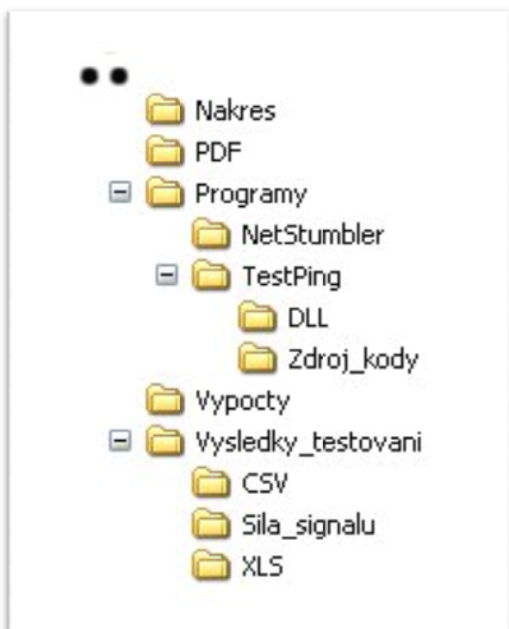
Program je součástí příloženého CD, na kterém se nacházejí i výše zmiňované dynamické knihovny a zdrojové kódy samotného programu Test Ping v jazyce Visual Basic.

Příloha 4:
Přiložené CD.

Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD k této bakalářské práci jsem umístil zdrojové soubory, naměřená data, výpočty a nákresy k měření, které jsem k vypracování použil. Přiložené CD má následující strukturu, viz obr. 1.

obr. 1 Struktura přiloženého CD



Nákres

Adresář obsahuje 3D model stavení ve kterém měření pobíhalo ve formátu DWG.

PDF

Adresář obsahuje tuto bakalářskou práci ve formátu PDF.

Programy

Adresář obsahuje podadresáře NetStumbler, který obsahuje instalaci programu NetStumbler. V dalším podadresáři TestPing je umístěn samotný program TestPing ve spustitelné podobě a dva podadresáře s názvy DLL a zdroj. kódy.

Název těchto adresářů napovídá jejich obsah. V adresáři DLL jsou uloženy dynamické knihovny, se kterými program TestPing pracuje a v adresáři zdroj. kódy je uložen program TestPing v podobě zdrojových kódů v jazyce Visual Basic.

Výpočty

Adresář obsahuje výpočty v programu Mathcad pro modely One-Slope a Multi-Wall.

Výsledky testování

Adresář obsahuje tři podadresáře s názvy CSV, Síla_signálu a XLS v kterých jsou uloženy výsledky testování. V adresáři CSV jsou uloženy textové soubory formátované do formátu CSV, které jsou přímým výstupem programu TestPing.

Adresář Síla_signálu obsahuje výsledky měření síly signálu pořízené programem NetStumbler.

V adresáři XLS jsou uloženy výsledky naměřené programem TestPing a jsou převedeny do formátu XLS. Adresář dále obsahuje i tabulku s celkově zpracovanými výsledky.