

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Software pro určování polohy mobilního zařízení

Bc. Martin Andres

Diplomová práce

2013

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Andres**
Osobní číslo: **I10356**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**
Název tématu: **Software pro určování polohy mobilního zařízení**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce bude zaměřena na vytvoření modelu šíření vln pro software pro určování polohy mobilního zařízení. Model šíření bude určen pro vnitřní prostory budov, kde se signál z bezdrátové sítě (802.11) šíří k zařízením WiFi přes nosné zdi, přčky a další překážky z různých materiálů. V teoretické části popište možnosti přenosu signálu ve vnitřním prostředí budov včetně šíření signálu zdi. Na základě mapových podkladů budovy a dat dostupných z předchozích měření prováděných uvnitř budovy navrhnete model šíření signálu. Do modelu šíření zahrňte vliv zdí a dalších konstrukčních prvků budovy - stropy, materiály zdi atd. V diplomové práci bude provedena krátká rešerše modelů šíření vln, která bude zaměřena na složitost implementace modelů do softwaru fungujícího v reálném čase.

V praktické části vytvořte softwarovou aplikaci pracující na základě modelu šíření vytvořeného v teoretické části. Aplikace musí být použitelná v zařízení se systémem Android a bude pracovat v reálném čase. Vyhodnoťte dosažitelné přesnosti na základě dlouhodobějšího měření na několika vybraných bodech - v chodbách, místnostech, místech s omezenou dostupností signálu.

Rozsah grafických prací: **20 listů**
Rozsah pracovní zprávy: **90 - 100 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] KUBÁNEK, J.: Software pro určování polohy mobilního zařízení, diplomová práce, FEI, 2011
[2] PECHAČ, P.; ZVÁNOVEC, S.: Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů. 1. vydání. Praha: Ben - technická literatura, 2007, ISBN 978-80-7300-223-7
[3] ŽALUD, V.: 2006. Moderní radiotechnika. Praha : BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300- 132-2.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2013**


prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.


Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. prosince 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 29. 8. 2013

Martin Andres

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Němcovi, Ph.D., za rady, připomínky a návrhy týkající se diplomové práce. Také bych zde rád poděkoval za pomoc při lokalizaci jednotlivých vysílačů Martinu Žabkovi a také Ing. Tomáši Zálabskému za odborný dohled při laboratorním měření útlumu.

Anotace

Cílem diplomové práce je vyhodnocování síly signálu. Pomocí teoretických znalostí z oboru šíření elektromagnetických vln, zjišťovat jak se signál mění v podmínkách, které se nacházejí uvnitř budov. Zde je totiž signál stíněn mnoha prvky interiéru. Výsledkem by měla být funkční aplikace, navržená pro operační systém Android, určující polohu uživatele uvnitř budovy.

Klíčová slova

určování polohy uvnitř budov, bezdrátová technologie, síla signálu

Title

Software for positioning of mobile devices

Annotation

This thesis is the assessment of the strength of signal. To detect the signal changes in conditions that are found inside buildings using theoretical knowledge from the branch of electromagnetic waves. There, many elements in the interior block the signal. The result of this thesis should be a functional application designed for the Android operating system that determines the user's location inside the building.

Keywords

indoor localization, wireless technology, signal strength

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Systémy mobilních zařízení vhodné pro určování polohy	12
1.1 GSM	12
1.2 Bluetooth	13
1.3 WiFi.....	13
1.4 IrDA.....	14
2 Metody na určení polohy	15
2.1 Cell ID	15
2.2 RSSI (Received Signal Strength Indication)	15
2.3 AOA (Angle Of Arrival)	16
3 Šíření signálu	17
3.1 Šíření elektromagnetických vln v pásmu UHF.....	17
3.2 Útlum při šíření.....	18
3.2.1 Ztráty šířením	19
3.2.2 Pomalé úniky	19
3.3 Šíření elektromagnetické vlny v budově	20
4 Určení polohy pomocí mapy s úrovněmi signálu	21
4.1 Location fingerprint (otisk prstu)	21
4.2 Model šíření.....	21
5 Modely šíření	23
5.1 Modelování šíření vln.....	23
5.2 Rozdělení modelů šíření vln	23
5.2.1 Empirické	23
5.2.2 Deterministické.....	24
5.2.3 Semi-deterministické	24
5.3 Modely šíření vln.....	24
5.3.1 One-Slope model	24
5.3.2 Multi-Wall model	26

5.3.3	Motif model	27
6	Mobilní aplikace	29
6.1	ZTE Blade	29
6.2	Operační systém Android	30
6.2.1	Architektura OS	30
6.2.2	Vývojové nástroje.....	32
6.2.3	Vývojové prostředí Eclipse	32
6.2.4	Základní prvky Android aplikace	33
6.2.5	Struktura projektu	34
6.2.6	Databázový systém SQLite	34
6.2.7	Android Virtual Device	35
7	Měření rozložení signálu v budově	37
7.1	Zjištění polohy vysílačů	37
7.2	Zjištění počtu vysílačů v dosahu na určených pozicích	39
7.3	Podrobné měření síly signálu	42
8	Navigace v budově	56
8.1	Aplikace pro zjištění polohy.....	56
8.2	Podrobný popis programové části aplikace	57
8.3	Návrh loga pro vytvořenou aplikaci	60
9	Měření útlumu překážky	62
10	Software pro zjištění pokrytí vnitřních prostor	67
10.1	Ekahau HeatMapper	67
10.2	Aerohive HiveManager OnlinePlanner	67
	Závěr	69
	Literatura	71
	Příloha A – Databáze hodnot sil signálů.....	72

Seznam zkratek

AOA	Angle Of Arrival
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
APK	Android Package Kit
BSSID	Basic Service Set Identification
DVM	Dalvik Virtual Machine
FSL	Free Space Loss
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial, Scientific and Medical
JAR	Java Archive
JVM	Java Virtual Machine
LIFO	Last In First Out
MAC	Media Access Control
MSM	Mobile Station Modem
OpenGL	Open Graphics Library
RSSI	Received Signal Strength Indication
SD	Secure Digital
SDK	Software Development Kit
SGL	Skia Graphics Library
UHF	Ultra-High Frequency
WIFI	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

Seznam obrázků

Obrázek 1 – buňková struktura systému GSM.....	12
Obrázek 2 – rozdělení kanálů WiFi.....	13
Obrázek 3 – zjištění polohy pomocí metody Cell ID	15
Obrázek 4 - zjištění polohy pomocí metody RSSI	15
Obrázek 5 - zjištění polohy pomocí metody AOA.....	16
Obrázek 6 – ztráty šířením	19
Obrázek 7 – graf histogramu pomalých úniků[11].....	19
Obrázek 8 – úrovně signálu v určitých bodech	21
Obrázek 9 – model šíření[4]	22
Obrázek 10 – rozložení výkonové úrovně signálu u One-Slope modelu[4].....	25
Obrázek 11 - rozložení výkonové úrovně signálu u Multi-Wall modelu[4]	27
Obrázek 12 - rozložení výkonové úrovně signálu u Motif modelu[4]	28
Obrázek 13 – mobilní telefon ZTE Blade	29
Obrázek 14 - Architektura OS Android.....	31
Obrázek 15 - vývojové prostředí Eclipse	33
Obrázek 16 - SQLite Manager.....	35
Obrázek 17 - Android Virtual Device	36
Obrázek 18 - aplikace na lokalizaci AP	37
Obrázek 19 - umístění AP (1. patro)	38
Obrázek 20 - umístění AP (4. patro)	39
Obrázek 21 - aplikace na zjištění dostupných AP	40
Obrázek 22 - body měření dostupnosti signálu v prvním patře.....	41
Obrázek 23 - aplikace na měření síly signálu v prvním patře	43
Obrázek 24 - rozmístění bodů měřených v budově.....	44
Obrázek 25 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně PC 101 .	45
Obrázek 26 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně PC 101 ..	46
Obrázek 27 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v respiriu	47
Obrázek 28 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v respiriu.....	48
Obrázek 29 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně EL 101 .	49
Obrázek 30 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně EL 101 ..	50
Obrázek 31 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně EL 102 .	51
Obrázek 32 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně EL 102 ..	52
Obrázek 33 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně NET 102	53
Obrázek 34 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně NET 10254	
Obrázek 35 - ukázka databáze hodnot pro navigaci v programu SQLite Manager.....	56
Obrázek 36 - aplikace pro zjištění aktuální pozice.....	57
Obrázek 37 - logo aplikace pro navigaci	61
Obrázek 38 - signální generátor Rohde & Schwarz SMC100A.....	62
Obrázek 39 - spektrální analyzátor Rohde & Schwarz FSH8	63
Obrázek 40 - spektrum signálu měřeného na spektrálním analyzátoru.....	64
Obrázek 41 - pracoviště pro měření útlum skrz překážku.....	65

Obrázek 42 - pracoviště pro měření útlum bez překážky	66
Obrázek 43 - plánovací software Ekahau Heatmapper [9].....	67
Obrázek 44 - plánovací software Aerohive HiveManager OnlinePlanner [10].....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1 – frekvence kanálů WiFi pro Českou Republiku	13
Tabulka 2 – empirické parametry pro různá frekvenční pásma [4].....	25
Tabulka 3 – doporučené parametry pro Multi-Wall model [4]	27
Tabulka 4 – parametry mobilního telefonu ZTE Blade.....	29
Tabulka 5 - počet dostupných vysílačů v prvním patře.....	41
Tabulka 6 - počet dostupných vysílačů v druhém patře	41
Tabulka 7 - počet dostupných vysílačů v třetím patře.....	42
Tabulka 8 - počet dostupných vysílačů v čtvrtém patře	42

Úvod

V dnešní době velkých nákupních center a rozsáhlých kancelářských budov, je velmi těžké se zorientovat v spleti uliček a zákoutí. Jednou možností je spoléhat se na všudypřítomné informační tabule, ale i tak je snadné se ztratit. S příchodem moderních mobilních zařízení, která jsou lehká a výkonná, není problém zjistit svoji aktuální pozici kdekoliv na světě. Téměř každý mobilní telefon má dnes v sobě zabudovanou technologii GPS. Tato technologie však funguje pouze ve venkovních prostorech a signál z družic obíhajících kolem Země je možné zachytit pouze při přímé viditelnosti na nebe. Pokud se tedy budete vyskytovat uvnitř budov, signál z družic bude pro vás nedostupný.

Možností jak využít mobilní telefon pro navigaci v budovách, je zjišťovat sílu jiného radiového signálu, který prostupuje skrz členitý interiér. Každá taková technologie přináší své klady i zápory. U jedné technologie bude signál dostupný téměř všude, jako tomu je u technologie GSM, ale z hlediska přesnosti už bude využitelná méně. Poté jsou tu technologie (např. IrDA), které jsou přesnější, ale fungují pouze na krátké vzdálenosti. Další možností je využití bezdrátové komunikace v počítačové síti, to by mohl být rozumný kompromis mezi dostupností v interiéru a dobrém rozmístění, z které by pozice šla určit.

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá všeobecným šířením radiového signálu. Jsou zde také zmíněny technologie, které lze využít v uzavřených prostorech pro určení polohy. Důležitou částí jsou také modely, pomocí nichž lze zjistit velikost výkonové úrovně signálu. Součástí teoretické části je také možnost, jakým způsobem lze vyhodnocovat pozici podle kvality radiového signálu a pozici rozmístění antén.

Praktická část vychází z poznatků načerpaných v teoretické části. Jejím hlavním úkolem je namodelovat situaci, s dostatečnou přesností, pro rozumné určení polohy mobilního zařízení v budově. Tato praktická část bude zpracována pro využití v mobilním zařízení, které pracuje s operačním systémem Android, který je v poslední době velmi populární a v mnoha zařízeních velmi rozšířený.

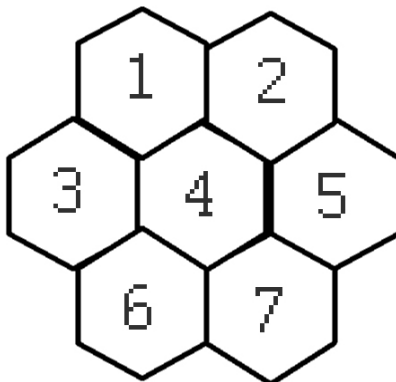
1 Systémy mobilních zařízení vhodné pro určování polohy

V dnešních mobilních zařízeních se objevuje mnoho technologií, které by bylo možné využít pro určování polohy v interiérech. Jsou to technologie z různých frekvenčních spekter, od viditelného světla, přes radiové vlny, až po infračervené spektrum. Technologie jdou stále dopředu a každý výrobce se snaží vybavit svůj přístroj co nejvíce technologiemi, ovšem musí být také kladen důraz na výkonovou spotřebu při používání těchto systémů. V této kapitole budou uvedeny systémy, které se běžně v mobilních zařízeních vyskytují.

1.1 GSM

Jedná se o nejvíce používaný standart pro mobilní telefony na světě. Tento systém používá digitální technologii pro přenos hovorů a signalizací. GSM je buňková síť, to znamená, že mobilní telefony se do sítě připojují přes nejbližší buňku, v které se nachází základnová stanice s přidělenou skupinou kanálů. Každá buňka komunikuje pouze s účastníky nacházejícími se v jejím dosahu. Funguje na několika radiových frekvencích, které spadají do pásma UHF.

Velikosti buněk, které slouží k připojení účastníků, můžeme rozdělit do čtyř velikostí. Největší je tzv. makrobuňka (macrocell), jejíž anténa je umístěna nad úrovní střech okolní zástavby a slouží k obsluze méně osídlených oblastí. Její dosah se pohybuje v řádech kilometrů (1km až 30km). Další velikostí jsou mikrobuňky (microcell), u nich se antény nacházejí pod úrovní okolních střech zástavby a jsou vhodné pro pokrytí městských oblastí. Jejich dosah se pohybuje v řádu stovek metrů (100m až 1km). U pikobuněk (pikocell) je anténa umístěna v uzavřených nebo částečně uzavřených prostorech. Tudiž se využívá pro šíření signálu v kancelářských budovách, na nádražích nebo v obchodních centrech. Dosah pikobuňky je řádově desítky metrů. Poslední skupinou jsou deštníkové buňky (nanocell), které mají velmi malý dosah a to řádově metry (1m – 10m) a jsou využívány na dokrytí oblastí v zastíněných místech a k vyplnění mezer mezi buňkami. Přibližné rozložení buňkového systému můžete vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 1 – buňková struktura systému GSM

1.2 Bluetooth

Tato technologie je primárně určena pro bezdrátové připojení periférií k přenosným počítačům. Jeho radiový signál pracuje v pásmu 2,4 – 2,48 GHz. Toto pásmo je volně přístupné a mohlo by docházet k přetížení nebo k případným interferencím, proto se signál mění 1600 krát za vteřinu. Takovýmto způsobem je pak zabráněno ztrátě dat při přetížení sítě.

Dosah takovéhoho systému je malý a pohybuje se přibližně okolo 10 m ve volném prostoru a při zastínění spoje dosah velmi rychle klesá. Jelikož má každý přístroj disponující touto technologií svou vlastní adresu, bylo by možné vytvořit databanku těchto stacionárních zařízení, u kterých by byla zaznamenána jejich přesná současná poloha. Při pohybu uživatele, který by měl přístup do této databanky, by se pak mohla zjišťovat poloha mobilního zařízení vzhledem k navázání kontaktu s pevně umístěnými prvky.

Přesnost se pohybuje od 10 m, při zjištění jednoho zařízení, a pokud by bylo zaregistrováno více zařízení najednou, poloha by se dále zpřesňovala.

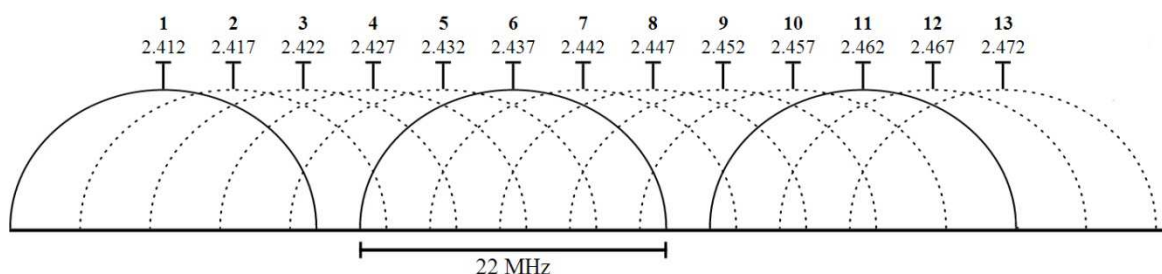
1.3 WiFi

Je to označení pro několik standardů IEEE 802.11, které slouží k popsání bezdrátové komunikace v počítačových sítích. Pro šíření signálu je využito bezlicenční frekvenční pásmo ISM 2,4GHz. Pro většinu evropských států je toto pásmo rozděleno do 13 kanálů, přičemž každý kanál má šířku 22MHz.

Tabulka 1 – frekvence kanálů WiFi pro Českou Republiku

Kanál	1	2	3	4	5	6	7
Frekvence [GHz]	2,412	2,417	2,422	2,427	2,432	2,437	2,442
Kanál	8	9	10	11	12	13	
Frekvence [GHz]	2,447	2,452	2,457	2,462	2,467	2,472	

Ovšem odstup mezi kanály je pouze 5 MHz a dochází tak k rušení sousedních 4 kanálů. Když je tedy potřeba provozovat dva přístupové body, aniž by se rušily, musí se nastavit tak, aby pracovaly minimálně 5 kanálů od sebe.



Obrázek 2 – rozdělení kanálů WiFi

Každé AP bezdrátového rozhraní má svoji MAC adresu. Pokud tedy známe přesnou polohu zařízení a máme opět vytvořenou databanku s adresami, můžeme zjistit polohu, kde se nacházíme. Opět platí, že pokud přijímáme více signálů z více AP, naše

pozice se zpřesňuje. Dosah této technologie bývá ve volném prostoru řádově stovky metrů, v interiérech a zastavěných prostorech samozřejmě dosah opět klesá.

1.4 IrDA

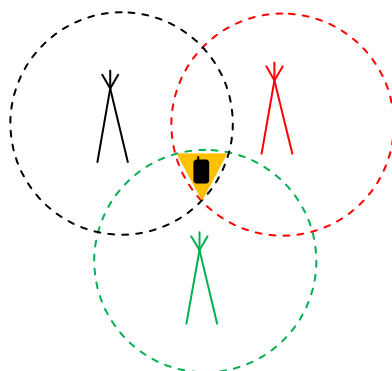
Nejnovější mobilní telefony mají v sobě opět zabudovanou technologii IrDA. K šíření svého signálu využívají infračervené paprsky. Jejich paprsky se však šíří na malé vzdálenosti, a tudíž by jejich použití bylo velmi omezené. Paprsky mají také špatnou prostupnost překážkami a jejich funkce by se hodila spíše pro lokalizaci ve větších nezastíněných prostorech.

2 Metody na určení polohy

Pro určení polohy je známo několik metod, které se liší svojí přesností a náročností na výpočet. Nejjednodušší metody jsou sice výpočetně nenáročné, ale jejich přesnost se pohybuje v řádech desítek až stovek metrů.

2.1 Cell ID

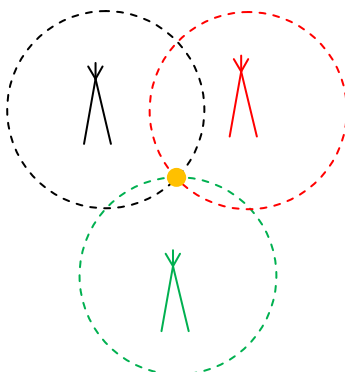
Cell ID je identifikační číslo buňky, které je pro každou buňku jedinečné. Jedná se o nejjednodušší metodu pro zaměření účastníku v síti. Jelikož buňky nemají šestiúhelníkový tvar a nejsou všechny stejně velké, dochází k překrývání oblastí. Pokud se tedy v některém místě přijímá signál z více stanic, tak se přesnost této metody zvyšuje. I při situaci překrytí buněk, je tato metoda z hlediska přesnosti pro vnitřní prostory téměř nepoužitelná. U sítě GSM, je velikost dosahu stanice i několik kilometrů. Výhodou této metody je, že pro určení polohy nám stačí znát pouze vysílač, který je v dosahu a znát polohu těchto vysílačů, žádný další údaj není potřeba dodatečně měřit a zjišťovat.



Obrázek 3 – zjištění polohy pomocí metody Cell ID

2.2 RSSI (Received Signal Strength Indication)

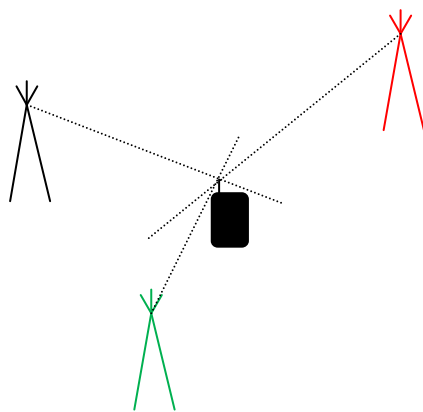
Tato metoda je založena na měření síly signálu v radiově dostupné vzdálenosti. Je zde využito závislosti síly signálu na vzdálenosti od vysílače. Signál se však uvnitř budovy nešíří na všechny strany rovnoměrně, protože zde dochází k útlumu signálu skrz překážky. V takových případech je nutné mít mapu s úrovněmi signálu celé budovy.



Obrázek 4 - zjištění polohy pomocí metody RSSI

2.3 AOA (Angle Of Arrival)

U této metody se využívá směrových antén a je proto nutné znát jejich vyzářovací charakteristiku. Pokud známe úhel z několika vysílačů, tak vynesem přímek mezi mobilním zařízením a vysílači, můžeme určit polohu, která se nachází v bodě, ve kterém se jednotlivé přímky protínají.



Obrázek 5 - zjištění polohy pomocí metody AOA

3 Šíření signálu

Pro práci s bezdrátovými technologiemi, je důležité pochopit, jak se signál šíří od vysílače k přijímači. V ideálních podmínkách počítáme jen s útlumem vlivem prostředí, ale při šíření signálu ve vnitřních prostorech hraje důležitou roli i útlum okolního členitého prostředí, který je tvořen prvky, které signál velmi tlumí a dosah se razantně zmenšuje. Pokud bychom se tímto aspektem nezabývali a nezahrnuli členitost objektu, potom by výsledné prostory byly pokryty signálem pouze v určitých místech a nemohli bychom ho použít pro navigaci v budovách. Případně bychom ho mohli využít jen omezeně pro zjištění, v které části objektu se nacházíme.

3.1 Šíření elektromagnetických vln v pásmu UHF

Vychází se z vlnové rovnice, která je odvozená z Maxwellových rovnic. Chování elektromagnetické vlny určuje hlavně její frekvence, resp. vlnová délka. Vlnová délka a rozměry objektů v prostředí, ve kterém se vlna šíří určují, jak se bude vlna při šíření v prostoru tlumit, odrážet, ohýbat nebo rozptylovat. Většina technologií implementovaných v mobilních telefonech pracují právě v kmitočtovém pásmu UHF. V tomto pásmu jsou velmi výhodné vlastnosti elektromagnetické vlny. Mezi výhody patří malá ztráta šíření, dobrá vlastnost odrážet se, ohýbat se a pronikat překážkami. Tato vlnová délka také umožňuje konstruovat malé antény, které se pak mohou implementovat do mobilních zařízení.

Při šíření elektromagnetických vln se zabýváme hlavně tou částí radiokomunikačního řetězce, která se nachází mezi vysílačem a přijímačem. Tedy částí, kde se energie šířená po vedení vyzářuje do prostoru pomocí antény, šíří se elektromagnetickou vlnou v daném prostředí a nakonec zpět transformuje vlnu vyzářenou na vlnu šířenou po vedení. Pro zjištění velikosti šíření takového bezdrátového přenosu je důležitá znalost přenosového prostředí a souřadnice umístění antén zkoumaného objektu. Velikost pokrytí lze charakterizovat buď jako intenzitu elektrického pole v daném místě nebo jako výkonovou úroveň přijatou referenční anténou. Tato anténa se obvykle volí jako všesměrová s jednotkovým ziskem (0 dB).

Šíření vlny v ideálních podmínkách volného prostředí by mohlo být popsáno následujícími vztahy [2].

$$E_{ef} = \frac{\sqrt{30 P_v G_v}}{d} \quad (3.1)$$

E_{ef} - efektivní hodnota intenzity elektrického pole v bodě pozorování, $V \cdot m^{-1}$

P_v - výkon na vstupu vysílací antény, W

G_v - zisk vysílací antény v příslušném směru

d - vzdálenost vysílací antény a bodu příjmu, m

Pokud chceme zjistit výkon přijatý přijímací anténou v určité vzdálenosti a známe zisk přijímací a vysílací antény, lze výkon vypočítat pomocí ideální přenosové rovnice

$$P_p = P_v G_v G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.2)$$

P_p - výkon přijatý přijímací anténou, W

G_p - zisk přijímací antény v příslušném směru

λ - vlnová délka, m

V praxi se většinou vztah vyjadřuje v decibelech

$$P_p = P_v + G_v + G_p - FSL(d) \quad (3.3)$$

$FSL(d)$ - ztráty volným prostorem, dB

$$FSL(d)_{dB} = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

3.2 Útlum při šíření

Předpokládá se, že vysílací anténa je pevně umístěna, zatímco mobilní anténa uživatele je pohyblivá. Signál mezi pevnou a pohyblivou anténou je tlumen různými fyzikálními mechanismy. Útlum šířením v určitém prostředí je charakterizován třemi složkami. Jsou to ztráty šířením, pomalé úniky a rychlé úniky.

Ztráty šířením jsou určeny hlavně délkou spoje a typem prostředí, kterým prochází. U pomalých úniků je útlum způsobený zastíněním spoje překážkou při pohybu mobilní antény. Příčinou rychlých úniků je vícestředné šíření, které se projevuje sčítáním velkého množství paprsků, které přicházejí po různě dlouhých drahách z různých směrů.

Z hlediska těchto fyzikálních principů bychom mohli celkové ztráty šířením zapsat idealizovaným vztahem (1.5).

$$L_c(p, t) = L(p) + X(t) \quad (3.5)$$

$L_c(p, t)$ - celkové ztráty šířením pro mobilní anténu v místě p a čase t , dB

p - poloha mobilní antény

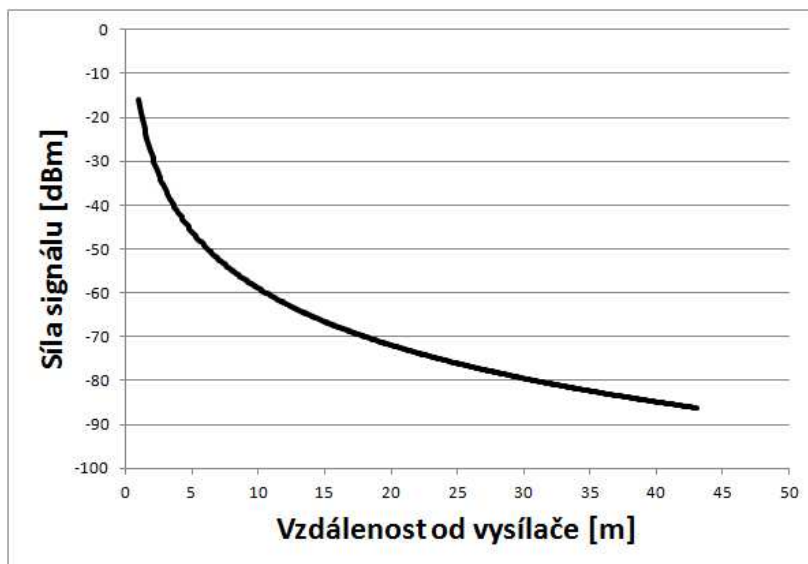
$L(p)$ - střední hodnota ztrát daná pozicí mobilní antény, dB

$X(t)$ - náhodná časově proměnná složka ztrát daná pomalými a rychlými úniky, dB

U buňkového systému je pro plánování, z hlediska pokrytí a rušení, důležitá složka $L(p)$. Do této složky totiž spadají hlavně ztráty šířením a část pomalých úniků způsobených nepohybujícími se objekty.

3.2.1 Ztráty šířením

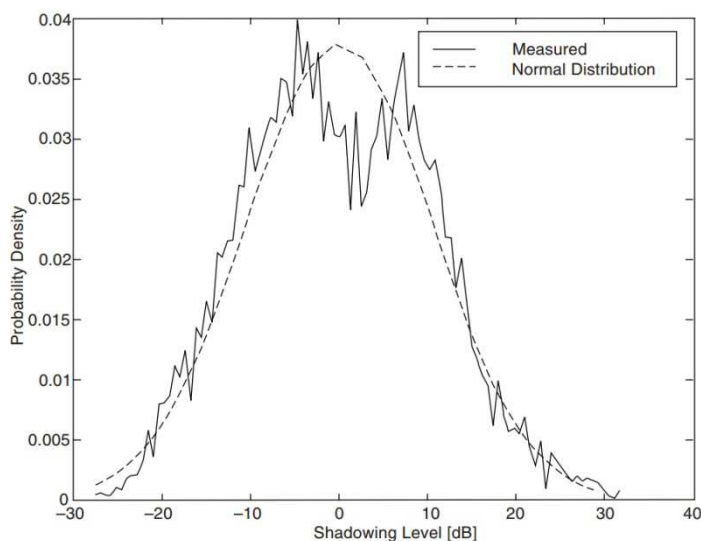
Tento útlum závisí na délce spoje a prostředí, kterým prochází. Hodnota tohoto útlumu je časově nezávislá. Jedná se o střední hodnotu signálu, v bodě pozorování, s ohledem na typ okolí v jakém se nachází. Hodnota je určena zprůměrováním velkého počtu měření okamžité velikosti úrovně signálu, uskutečněném za delší časový interval, na ploše o maximální velikosti několika vlnových délek.



Obrázek 6 – ztráty šířením

3.2.2 Pomalé úniky

Jejich vznik je důvodem zastínění radiového spoje. Kolísání signálu je malé a při změně polohy se pohybuje řádově o desítky vlnových délek. Pokles signálu při průchodu zastíněním může být velmi velký, protože záleží na materiálu, přes který se šíří a může se pohybovat v řádech desítek dB. V čase mají logaritmicke-normální rozložení a jejich střední hodnota je nulová.



Obrázek 7 – graf histogramu pomalých úniků[11]

3.3 Šíření elektromagnetické vlny v budově

Z hlediska šíření vlny, je signál šířený v interiéru velmi komplikovaným případem. Obě antény spoje leží uvnitř budov a energie se mezi nimi šíří přímo, skrz stěny a vybavení objektu, odrazy, ohyby atd. Signál se mezi patry může šířit i uvnitř výtahové šachty a může tak vznikat vlnovodný efekt. Tento jev může nastat, i když je anténa umístěna na chodbě, díky tomu téměř nedochází k poklesu úrovně signálu se vzdáleností. Je také důležité si uvědomit, že uspořádání interiéru se může časem měnit, např. otevřením dveří.

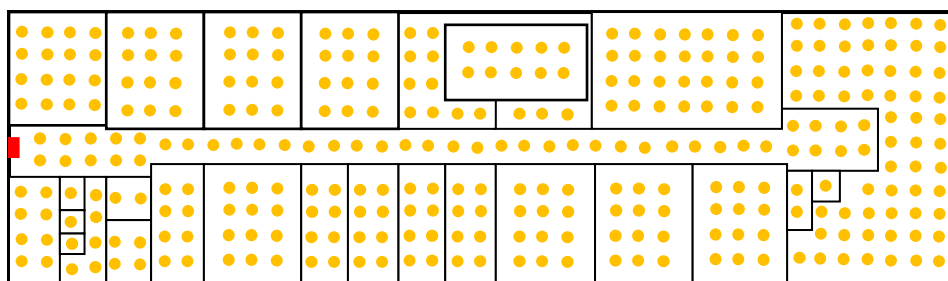
4 Určení polohy pomocí mapy s úrovněmi signálu

Ve vnitřních prostorech se signál nešíří všemi směry stejně, proto je potřeba vědět jak velkou úroveň má signál v určitých místech. Pokud bude mapa vytvořena, stačí měřit aktuální sílu signálu a pomocí mapy ji přiřadit místo na mapě. Jsou dva způsoby, jakým lze vytvořit mapu pokrytí. Jednou metodou je „otisk prstu“ a druhou je tvorba modelu šíření signálu.

4.1 Location fingerprint (otisk prstu)

Při této metodě se pro mapování signálu uvnitř budovy využívá proměřování signálu na různých místech. Důležité je znát přesně místo, kde se nacházíme při proměřování signálu. Také se musí zvolit dostatečná vzdálenost mezi jednotlivými body při měření. Pokud bychom zvolili málo bodů, mapa bude pouze orientační. Když zvolíme zase naopak bodů mnoho, bude mapa zbytečně detailní, protože signál se může měnit na daném místě v určitém rozmezí.

Například pokud po chodbě chodí mnoho lidí nebo je prázdná, tak se síla signálu bude také lišit. Při podrobném proměření mnoha bodů, bychom tedy dostali jen zbytečně velkou databázi, s kterou bychom museli pracovat. Tento způsob je velmi časově náročný, a pokud se vyskytne v cestě signálu nová překážka, tak bude tato metoda zahrnovat zkreslené hodnoty. V případě větších změn v interiéru nebo přemístění vysílače, bude nutné nové měření. Nejčastěji se jako měřená veličina využívá síla radiového signálu.



Obrázek 8 – úrovně signálu v určitých bodech

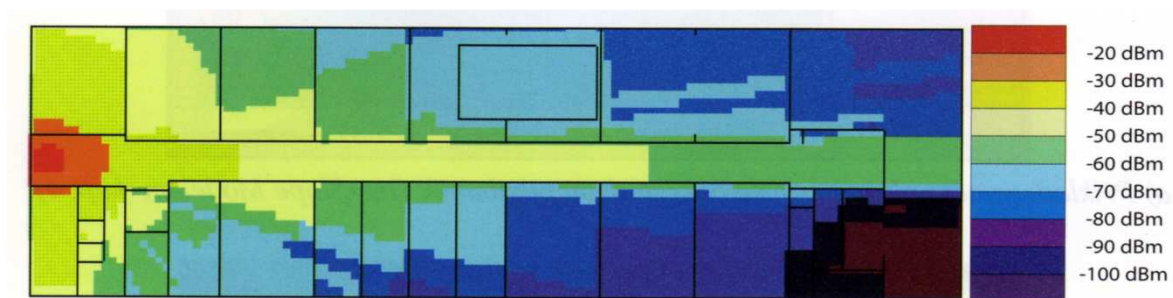
4.2 Model šíření

U této metody se vychází z členění vnitřních prostor. Pokud máme k dispozici mapu uspořádání místností a překážek, můžeme pomocí zvoleného algoritmu vypočítat, jak velký bude signál na celém námi vybraném území. Opět se jako výchozí veličina použije síla signálu, která ovšem není měřena, ale je vypočítávána.

Modelů šíření je několik druhů, ty nejjednodušší jsou přesné pouze do určité vzdálenosti, protože nepočítají s jednotlivým členěním místností a mají v sobě zahrnutý pouze pevný koeficient útlum na překážkách.

Nejpřesnější metody, které mají v sobě implementován i vlnovodný efekt, mají zase velmi složité výpočetní algoritmy. Velice výhodné u této metody však je, že pokud

naprogramujeme vyhodnocování zadaného mapového podkladu, tak při změnách v interiérech stačí nahrát novou mapu nebo původní mapu upravit a výsledky znovu vyhodnotit.



Obrázek 9 – model šíření[4]

5 Modely šíření

5.1 Modelování šíření vln

Ve velmi členitých a často se měnícím prostředí se vyskytují všechny typy ovlivňování vlny s překážkou, mezi něž patří odraz, ohyb, rozptyl. Vlastnosti těchto jevů jsou také závislé na rozložení antén zkoumaného spoje. V praktickém využití je také důležité správné a rozumné zvolení požadavků na míru podrobnosti vstupních dat a následnou výpočetní náročnost. Vždy se musí najít takové řešení, které bude kompromisem mezi dostatečnou přesností a výpočetní složitostí, pro praktické použití navrženého modelu.

Problémem při definování přesnosti modelu jsou také aktuální podmínky okolí, kdy se v prostoru nemusí nikdo vyskytovat a jindy procházejí např. po chodbě lidé. Dalším faktorem je, zdali jsou otevřeny nebo zavřeny dveře. Také může spoj rušit zastínění vlastním tělem. Při měření se pak okamžité hodnoty mohou měnit až o 10 dB. Proto není cílem navrhovaného modelu přesné určení okamžité hodnoty ztrát šířením, ale střední hodnota.

Při plánování buňkového systému v určité lokalitě, je důležité určení šíření vlny v okolních prostorech na základě popisu přenosového prostředí. Prvním parametrem, kterým lze charakterizovat modelovanou situaci, je výkonová úroveň signálu nebo intenzita elektrického pole, která je v daném místě přijatá referenční anténou. To bychom mohli popsat pomocí základního tvaru přenosové rovnice, u které bude velikost útlum $L(p)$ vyjádřena jako střední hodnota.

$$P_p(p) = P_v + G_v - L(p) - L_s \quad (5.1)$$

$P_p(p)$ - střední hodnota přijatého signálu referenční anténou v bodě p , dBm

P_v - výkon vysílače, dBm

G_v - zisk vysílací antény, dB

$L(p)$ - střední hodnota útlumu šířením pro referenční anténu v bodě p , dB

L_s - ostatní ztráty spoje, dB

5.2 Rozdělení modelů šíření vln

Modely šíření vln v zástavbě, lze rozdělit podle charakteru výpočtu do několika skupin.

5.2.1 Empirické

Tyto modely jsou většinou velmi jednoduché, jsou založené na statistické analýze velkého množství naměřených experimentálních dat. Přičemž rozptyl změřených dat může být nahrazen vhodně vybranou funkcí. U tohoto případu se nevyužívají fyzikální principy šíření vlny a uplatnění takového modelu je pak závislé na univerzálnosti zvoleného experimentu.

5.2.2 Deterministické

V literatuře také označované jako teoretické, vycházejí z fyzikálních základů šíření vln pro idealizovaný či zjednodušený popis zkoumaného prostředí. Jsou to tedy složité metody, určené hlavně k řešení pomocí vlnové rovnice.

5.2.3 Semi-deterministické

Jedná se o kombinaci deterministického a empirického přístupu. Základ je tvořen deterministickým modelem, který je různě upravován podle výsledku, které byly reálně naměřeny.

5.3 Modely šíření vln

Vzhledem k výpočetní jednoduchosti, patří obecně empirické modely v praxi k nejpoužívanějším. Jsou totiž nejen nenáročné na výpočty a čas, ale hlavně nepotřebují takové množství vstupních dat. Na druhé straně jsou modely deterministické, které zahrnují už výpočetně náročnější a složitější algoritmy, ale jsou schopné modelovat útlum šířením, bez ohledu na geometrickou členitost konkrétní situace. Přesnost však závisí na kvalitě a množství vstupních dat, které je někdy velmi těžké a finančně náročné získat. Proto se v praxi často využívá výpočetních softwarů, které mají v dnešní době dostatečné výpočetní i paměťové schopnosti. V následujících kapitolách jsou některé modely popsány.

5.3.1 One-Slope model

Tento model vychází ze základního empirického modelu. Je charakteristický svým jednoduchým výpočtem a malými nároky na vstupy. Je to ideální model pro rychlé zjištění stavu zkoumaného prostředí. Avšak jeho výsledky mají spíše orientační charakter a je nutné správně zvolit empirické parametry. Pokud jsou tyto parametry vhodně zvoleny, pak se přesnost pohybuje v rozmezí 10dB. Výpočet ztrát šířením je zde řešen jako veličina závislá na vzdálenosti, tudíž má rozložení výkonové úrovně signálu kruhový tvar, který nezohledňuje členění prostředí jednotlivých úseků.

Výpočet je shodný s výpočtem klasického empirického modelu. Vztah pro střední hodnoty útlumu při šíření vlny bude mít tedy tento tvar

$$L(d) = L_1 + 10n \log(d) \quad (5.2)$$

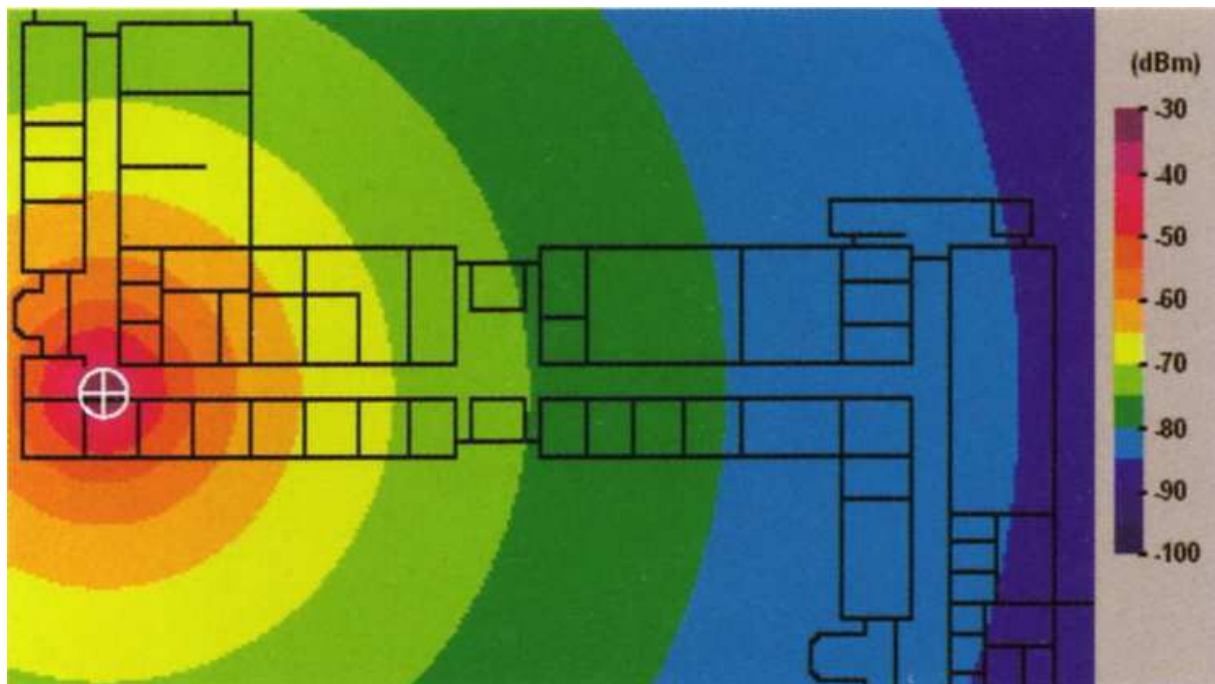
$L(d)$ - odhadovaná hodnota ztrát šířením, dB

d - vzdálenost mezi vysílací anténou a bodem pozorování, m

n - spádový koeficient

L_1 - referenční hodnota ztrát pro vzdálenost 1m, dB

Parametry L_1 a n jsou získávány z velkého počtu měření v daném prostředí. Zásadním koeficientem je především n , ten totiž udává rychlost nárůstu ztrát se vzdáleností. Při dostatečném počtu měření se provede aproximace naměřených hodnot. Důležité pro dostatečnou reprodukovatelnost výsledků je také měření v různých místech a to z důvodu mechanismu šíření vlny.



Obrázek 10 – rozložení výkonové úrovně signálu u One-Slope modelu[4]

Typické hodnoty parametru ztrát L_1 a spádového koeficientu n , jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 2 – empirické parametry pro různá frekvenční pásma [4]

f [GHz]	Prostředí	L_1 [dB]	n	Poznámka
1,8	kanceláře	33,3	4,0	GSM 1800
1,8	chodba	39,2	1,4	GSM 1800
2,5	kanceláře	40,2	4,2	WLAN 802.11 b/g
2,5	chodba	40,2	1,2	WLAN 802.11 b/g

Při volbě parametrů je ideální vycházet z hodnot, které byly naměřeny v dané lokalitě. Další možností je využít již stanovené hodnoty v podobných prostředích, ale autoři udávají různé hodnoty pro situace se stejnou klasifikací. Proto je dobré, řídit se obecně platnými zásadami pro modelové situace. Pokud máme přímou viditelnost mezi oběma anténami, případně se nacházíme v rozlehlých prostorech, v tomto případě se útlum šíření blíží ztrátám volným prostorem a parametr $n=2$. Pokud nastává vlnodivný efekt, je při přímé viditelnosti na chodbách zvoleno n menší než 2. Když je spoj zastíněn silně členitým interiérem, pak se hodnota n pohybuje kolem 4.

Proto použití stejných parametrů v rámci jedné buňky, která zahrnuje nejen chodbu, ale také kancelářské prostory, tak vede k velkým kompromisům z hlediska přesnosti. Jednou z možností, jak výsledky vyhodnotit, je vytvořit modely dva. Jeden model se spádovým koeficientem n pro prostor chodeb a druhý pro prostředí s kanceláři. Tím získáme poměrně přesný model, který je platný vždy v určité části buňky. Druhou možností je nastavit spádový koeficient n na průměrnou hodnotu mezi chodbou a kanceláři. Takto se nám sice odhad pokrytí v rámci jednoho podlaží zhorší, ale výpočet a vyhodnocení výsledků bude naopak jednodušší. Proto je nutné s návrhem těchto modelů

zacházet rozumně a s úvahou. Vyhodnocování geometrického rozložení hodnoceného prostředí také patří k velkým slabinám empirického přístupu. Ale i přes tyto nedostatky patří k velmi praktickému nástroji a při znalosti limitů je možné pomocí jednoduchých výpočtů rychle interpretovat výsledky.

5.3.2 Multi-Wall model

Tento model patří do kategorie semi-empirických a v úvahu se již bere i konkrétní členění interiéru. Je však nutné znát rozmístění a typ příček, a to způsobí výpočet složitějším. Dokáže však mnohem lépe vystihnout modelovanou situaci. Ale i v tomto případě se nejedná o dokonalé řešení, protože nedokáže modelovat vlnovodný efekt v dlouhých zahýbajících chodbách.

Bod, kde je umístěna vysílací anténa, je spojen s místy, kde provádíme pozorování úrovně pokrytí. Model tedy bere v úvahu všechny příčky a podlaží, které tato pomyslná úsečka protíná. Celkové ztráty šíření by se daly vyjádřit následujícím vztahem

$$L(d) = 20 \log \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right) + \sum_i k_{wi} L_{wi} + k_f \left(\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right) L_f \quad (5.3)$$

$L(d)$ - celkový útlum, dB

d - vzdálenost, m

λ - vlnová délka, m

k_{wi} - počet příček typu i , které protínají spojnicí mezi vysílačem a přijímačem

L_{wi} - činitel útlumu pro daný typ příčky, dB

k_f - počet podlaží, které protíná spojnice mezi vysílačem a přijímačem

L_f - činitel útlumu pro průchod podlažím, dB

b - konstanta nelinearity útlumu průchodem skrz více podlaží

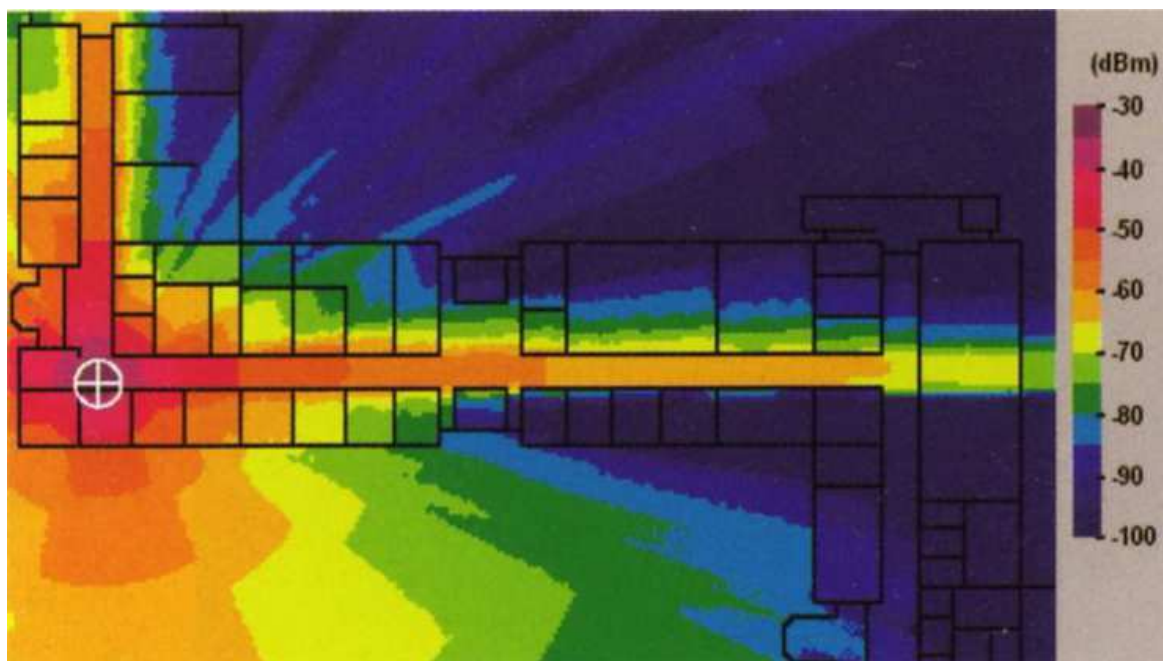
První člen ve vzorci představuje ztráty volným prostorem pro vzdálenost d a představuje tak vlastně One-Slope model. Parametr b zahrnuje nelineární nárůst ztrát šířením větším počtem podlaží. Pokud se totiž signál šíří mezi více podlažími, přestává být hlavním mechanismem šíření vlny skrz podlahy a může nastat vlnovodný efekt ve výtahových šachtách. Jako běžná hodnota se používá $b = 0,46$. Pokud se vlna šíří přes méně než tři poschodí, lze u posledního členu vynechat exponent a počítat pouze se závislostí $k_f L_f$.

Při charakterizování jednotlivých typů příček v interiéru, se nemusíme jejím detailním popisem zabývat, protože do vnitřních prostorů nezahrnujeme jeho vybavení, které také může ovlivnit šíření vlny. Ve většině případu si můžeme vystačit pouze s rozdělením na slabou a silnou příčku. Doporučené hodnoty pro kancelářské prostory, se zděnými příčkami, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3 – doporučené parametry pro Multi-Wall model [4]

f [GHz]	L ₁ [dB]	L ₂ [dB]	L _f [dB]	Poznámka
1,8	3,4	9,6	18,3	GSM 1800
2,5	5,9	8,0		WLAN 802.11 b/g

Pokud jsou parametry správně zvoleny, pohybuje se odchylka okolo 5 dB. Stejně jako u One-Slope modelu, je i zde charakteristický postupný pokles signálu, ale zde je ještě doplněn o skokovou změnu v místech, kde se nacházejí příčky.



Obrázek 11 - rozložení výkonové úrovně signálu u Multi-Wall modelu[4]

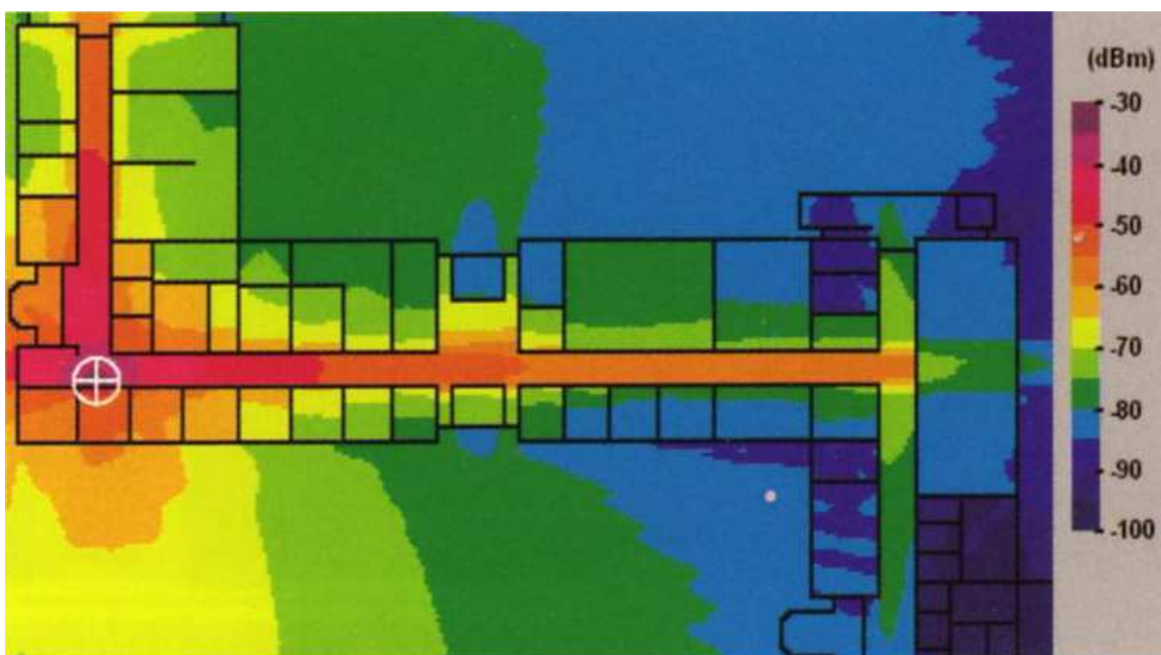
Na rozdíl od jednoduchých empirických modelů, je zde zahrnuto členění interiéru a pro jednu buňku lze vystačit s jednou sadou parametrů, ale tím, že se zde uvažují pouze překážky ležící na spojnici obou antén, se velmi zjednodušují fyzikální mechanismy šíření vln. Signál se totiž šíří i po vícenásobných cestách pomocí odrazů, ohybů apod. Proto je nutné do činitele útlumu L_{wi} zahrnout nejen útlum při průchodu příčkou, ale také ostatní mechanismy při šíření vlny. Avšak i při zadání dobrých parametrů nebude model schopen vystihnout šíření např. za kovovou překážkou, kam se signál dostane pomocí odrazů a ohybů. Špatné výsledky jsou i u zahnutých chodeb, kde dochází k vlnovodnému efektu šíření, který tento model nedokáže nasimulovat. Proto je nutné správně zvolit počet a rozmístění bodů, na které se bude měření zaměřovat.

5.3.3 Motif model

Jedná se o semi-deterministický přístup. Model je založen na technice vystřelování paprsku, metodě Monte-Carlo a statistice. Je to kombinace výhod empirických a deterministických modelů. Technika vystřelování paprsků probíhá v dvourozměrné mřížce, do které jsou zaneseny informace o geometrickém uspořádání situace. Klíčovým prvkem je odezva paprsku na překážku. Před vyhodnocováním je nutné předem určit základní

motivy, podle kterých se bude odraz paprsku řídit. Při hodnocení je pak z databáze přiřazen příslušný motiv s vyzařovací charakteristikou, který určuje pravděpodobnost dalšího šíření vlny.

V modelu jsou zahrnuty nejen odrazy od stěn, ale také rozptyl nebo ohyb. Motivy tedy v sobě skrývají všechny fyzikální mechanismy odezvy paprsku na překážku. Plošné určování výkonové úrovně signálu se neprovádí sčítání příspěvků v každém bodě, ale každý element zaznamenává počet prošlých paprsků. Při dostatečném počtu vystřelených paprsků se pak udává relativní úroveň signálu. Zjištění stavu pokrytí, tak probíhá bez použití vztahů klasické teorie pole nebo šíření vln.



Obrázek 12 - rozložení výkonové úrovně signálu u Motif modelu[4]

6 Mobilní aplikace

Při výběru vhodné metody bylo měřením zjištěno, že signál se v neměnné pozici mění v průměru o 5dB od určené průměrné hodnoty v daném místě. A tudíž by nebylo vhodné navrhnout aplikaci, která by měla přesnost v decimetrech. Budovu není problém projít a proměřit v místech, kde by se mohl uživatel pohybovat, proto se aplikace nemusí navrhnout na základě znalostí všech interiérových vlastností, které by jednotlivé prvky měly a bylo by nutné je zahrnout do výpočtu. Pro takovýto typ vyhodnocení se tedy použilo metody location fingerprint (otisk prstů). Základem této metody je ve zvolených vzdálenostech proměřit signál a zanést ho se svou pozicí do mapy.

Pro měření jednotlivých pozic a testování funkčnosti navržené navigace byl použit mobilní telefon ZTE Blade, pracující s operačním systémem Android. Jeho výkonnostní parametry jsou pro navrženou aplikaci dostačující a z hlediska budoucího používání navrženého softwaru by neměl být problém ho používat na současně dostupných zařízeních, které jsou v dnešní době výkonnější.

6.1 ZTE Blade

Tabulka 4 – parametry mobilního telefonu ZTE Blade

verze operačního systému	Google Android 2.2 (Froyo)
procesor	Qualcomm MSM7227 (600MHz)
velikost displeje	3,5"
vnitřní paměť RAM	512MB



Obrázek 13 – mobilní telefon ZTE Blade

6.2 Operační systém Android

V dnešní době se využívá zejména v telefonech a tabletech, ale rozšířil se i do zařízení jako jsou televize, set-top boxy s technologií Google TV a očekává se, že se brzy objeví i v automobilech nebo robotech. Hlavní oblastí jsou však zařízení s menšími úhlopříčkami. Tyto zařízení slouží uživateli k propojení s internetem a práci se soubory. Díky operačnímu systému je umožněno na zařízeních instalovat a spouštět programy, tak jak to známe na klasických stolních počítačích nebo noteboocích. Operační systém Android je relativně novým prostředím v této oblasti (první verze Android 1.0, byl představen koncem roku 2008), avšak za svou krátkou dobu se velmi rozšířil a momentálně patří k nejpoužívanějšímu systému na trhu se smartphony (jeho podíl je přibližně 75% z celkového trhu [5]). Důvod proč se takto rychle rozšířil mezi celé spektrum uživatelů, od mladých až po firemní klientelu, je ten, že se jedná o rychlý a stabilní operační systém, ale především proto, že je zdrojový kód Androidu volně dostupný a je možné ho dále šířit jako open source. Poslední důvod sice koncový uživatel přímo nevyužije, ale pocítí ho při pořizování nového výrobku, protože výrobci softwaru jej mohou používat bez licenčních poplatků a zařízení jsou tak levnější, protože cena operačního systému se nemusí zahrnout do celkové částky za zařízení.

Tento počítačový software vytvořila společnost Google a jedná se o tzv. otevřený operační systém, což znamená, že je snadno dostupný jak po technické, tak i licenční stránce. Poslední verze, která byla zatím vyvinuta je verze 4.3 (Jelly Bean).

6.2.1 Architektura OS

Skládá se z pěti vrstev a každá provádí různé operace. Vrstvy jsou víceméně samostatné, ale v praxi dochází ke spolupráci jednotlivých částí a vrstvy tudíž nejsou mezi sebou úplně odděleny.



Obrázek 14 - Architektura OS Android

6.2.1.1 Linux Kernel

Jedná se o jádro operačního systému a zajišťuje komunikaci mezi hardwarem a softwarem. Mezi jeho součásti patří hlavně ovladače, dále zajišťuje správu procesů, paměti, napájení atd. Android nemá svoje vlastní jádro a využívá tedy jádro postavené na Linuxu verze 2.6.

6.2.1.2 Knihovny

Tato vrstva se stará o zpracování různých typů dat. Knihovny jsou psány v C/C++ a jejich funkce je poskytnuta prostřednictvím Android Application Framework. Takovéto knihovny jsou např. OpenGL, která slouží k podpoře 3D grafiky. SQLite, která slouží jako databáze pro uložení a načítání dat. SGL slouží pro práci s 2D grafikou atd.

6.2.1.3 Android Runtime

Zde se nachází virtuální stroj DVM a základní knihovny. DVM je zde z důvodu, že aplikace nejsou napsány v nativním kódu, ale v kódu JAVA. Knihovny JAVA jsou sice licencované jako open source, ale virtuální stroj (JVM), sloužící pro překlad programu do spustitelné podoby, však už volně šiřitelný není. Dalším důvodem byla optimalizace virtuálního stroje z hlediska výkonu a spotřeby energie. Knihovny, které se zde nacházejí, jsou srovnatelné s platformou JAVA SE.

6.2.1.4 Application Framework

Jedná se o další knihovny, které umožňují přístup k nejrůznějším službám, jenž vývojářům dovolí přistupovat na prvky graficko-uživatelského rozhraní, používat hardware zařízení, spouštět aplikace na pozadí atd.

6.2.1.5 Applications

Toto už je vrstva samotné aplikace, kterou využívají jednotliví uživatelé. Jsou to aplikace, které jsou již do zařízení předem nahrány, uživatelem nainstalovány nebo stáhnuty z katalogu na Android Marketu.

6.2.2 Vývojové nástroje

6.2.2.1 Java Development Kit

Je to soubor základních nástrojů a knihoven pro vývoj aplikací a apletů. Jeho součástí je Java Runtime Environment, který slouží pro spouštění aplikací i vývojových nástrojů. Další součástí tohoto souboru je např. překladač nebo debugger.

6.2.2.2 Software Development Kit

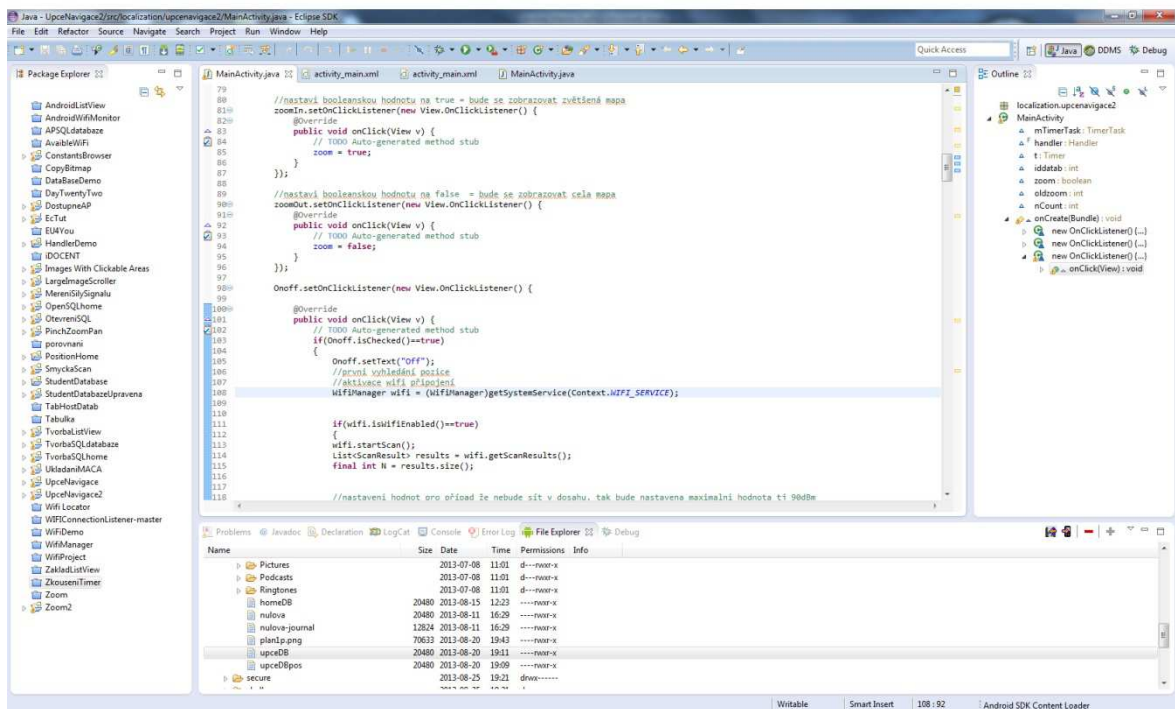
Tento kit obsahuje vývojové nástroje, které umožňují vytvářet aplikace pro určité operační systémy nebo herní konzole. Obsahuje knihovny API, dokumentace, příklady zdrojových kódů apod. Jsou zde nástroje pro vývoj a ladění a také emulátor pro testování navrhovaných aplikací.

6.2.2.3 Android Development Tool

Slouží k propojení vývojového prostředí Eclipse a vývojového nástroje SDK. Díky tomuto pluginu se získá editor vizuálních aplikací, vlastní XML editory, ladící panel a tvorba APK balíčků pro rozšíření aplikace do existujících zařízení.

6.2.3 Vývojové prostředí Eclipse

Pro programování aplikací využívající systém Android, lze použít jakékoliv prostředí, které se používá pro programování v Javě. Avšak prostředí Eclipse je velmi rozšířené a jednoduché na ovládání. Toto prostředí je určeno hlavně k programování v Javě, ale jeho výhodou je jeho snadná rozšiřitelnost o další nástroje, jako je např. graficko-uživatelské rozhraní. Proto je pro potřeby programování v Android nutné nainstalovat plugin SDK. Takto nám vznikne plnohodnotný software pro navrhování aplikací. Jeho vizuální stránka se skládá hlavně z prohlížeče projektů, editoru zdrojového kódu a prostoru pro zobrazení chybových hlášek, příp. výstupních zpráv.



Obrázek 15 - vývojové prostředí Eclipse

6.2.4 Základní prvky Android aplikace

Aplikace jsou tvořeny z určitých komponent, které jsou spolu provázány. Je několik prvků, které bychom mohli označit jako základní stavební kameny Android aplikace.

6.2.4.1 Aktivita

Jedná se o stavební blok uživatelského rozhraní, který reprezentuje prezentační vrstvu. Je to vizuální komponenta představující okno nebo dialog klasické aplikace pro počítače. Systém Android má k dispozici množství aktivit, které jsou nenáročné na provoz a jsou mezi sebou provázány. Uživatel může otevírat nové aktivity, např. klepnutím na tlačítko a poté se zase vrátit tlačítkem zpět na aktivitu předchozí. Pokud je aktivována nová aktivita, tak u předchozí je pozastavena její činnost a je uchováována v zásobníku. Zásobník je typu LIFO, tudíž poslední opuštěná aktivita je vždy navrchu a připravena k použití po stisku tlačítka zpět.

6.2.4.2 Služby

Tyto prvky jsou naopak navrženy k neustálému provozu a jsou nezávislé na aktivitách. Jejich provoz probíhá na pozadí a nejsou pro uživatele grafickým prvkem. Používají se např. ke kontrole dostupných aktualizací nebo přehrávání hudby na pozadí.

6.2.4.3 Poskytovatelé obsahu

Jedná se o práci s daty, jejich ukládání a načítání a tyto data zpřístupňují pro další aplikace. Je to jediná možnost, jak sdílet data. Takovýmto poskytovatelem může být např. webový kanál nebo databáze SQLite.

6.2.4.4 Záměry

Jsou to systémové zprávy, které informují zařízení a upozorňují na operace, které je nutné vykonat (různé události, jako je vložení SD karty nebo oznámení o příchozí SMS). Na záměry je možné reagovat a také je lze vytvářet (např. vytvořit záměr, že uživatel se při navigaci dostal k okraji obrazovky a přepnout na vedlejší část mapy).

6.2.5 Struktura projektu

Projekt je založen na stromové struktuře, podobně jako u jiných aplikací programovaných v Javě. Struktura pro Android je však oproti Javě specifická a vývojové nástroje Androidu mají před spuštěním aplikace v emulátoru několik zvláštních úloh.

V projektu se nachází několik důležitých složek a souborů. Soubor `AndroidManifest` je soubor typu XML, který popisuje navrhovanou aplikaci a komponenty dodávané aplikací. V tomto souboru je deklarován obsah aplikace (aktivity, služby atd.). Je zde zadán název atributu `package`, který slouží jako jedinečný název balíčku Java a v jednom zařízení nemůže být více aplikací se stejným názvem balíčku. Dále může obsahovat číslo aktuální verze aplikace. Také se zde zadává, pro jakou minimální verzi operačního systému je aplikace navržena a pro jakou verzi je cílena.

V adresáři `„bin/“` se nachází zkompileovaný soubor s příponou `apk`, pomocí které lze instalovat aplikaci do dalších zařízení. Jedná se o soubor ve formátu ZIP obsahující důležité soubory pro správnou funkci programu, jako jsou grafické podklady, nastavení Manifestu apod.

Adresář `„libs/“` obsahuje všechny soubory JAR, které aplikace potřebuje k provozu.

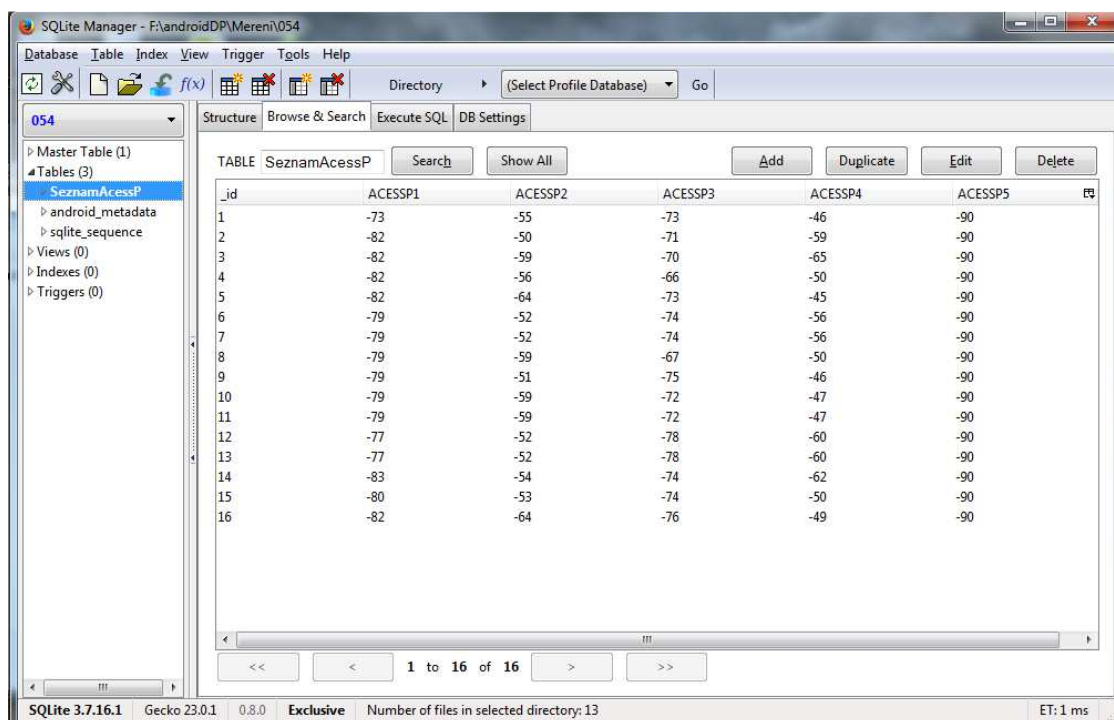
V adresáři `„res/“` se nacházejí statické soubory, které jsou přibaleny k navrhované aplikaci. Jsou zde uchovávány externí prostředky, např. v adresáři `„res/drawable“` se nacházejí ikony a obrázky v různém rozlišení a formátu (PNG, JPEG apod.). Ve složce `„res/layout“` je umístěno specifické rozvržení uživatelského rozhraní, které je ve formátu XML. Nebo adresář `„res/values“`, kde se nacházejí proměnné, které budou použity (např. proměnná `„app_name“`, která obsahuje jméno aplikace „navigační software pro Univerzitu Pardubice“). Některé složky mají ještě příponu (`drawable-hdpi`), která značí, že aplikace může pracovat s různým rozlišením a ke každému z nich má adekvátně kvalitní podklady, příp. v jaké verzi testovaného prostředí použít definovaný soubor.

V adresáři `„src/“` je umístěn zdrojový kód jazyka Java pro navrhovanou aplikaci, ve kterém jsou údaje o importovaných knihovnách, výsledném algoritmu a odkazech na grafické prvky (tlačítka, spinnery, textová pole atd.).

6.2.6 Databázový systém SQLite

Je to velmi šetrný způsob vzhledem k zatížení paměti a tento systém je poměrně rychlý, což jsou vhodné parametry pro použití v mobilních telefonech. Další velkou výhodou je, že nepracuje na principu klient-server, jako jiné databázové systémy, u kterých je databázový server spuštěn jako další proces, ale zde představuje knihovnu, která se

pouze přidá k aplikaci a lze ji přes rozhraní používat. Výhodou je také její šíření, protože funguje pod licenci public domain a lze ji tedy volně využívat, bez jakékoliv platby za využití tohoto systému.



Obrázek 16 - SQLite Manager

6.2.7 Android Virtual Device

Jedná se o virtuální zařízení na testování vyvíjeného softwaru. Tento emulátor simuluje skutečné reálné zařízení a doporučuje se používat pro testování. Vývojářům se tak usnadňuje počáteční ladění a vývoj aplikace. Také je vhodná v situacích, kdy není k dispozici skutečné zařízení. Před spuštěním si lze nadefinovat různé hardwarové požadavky zařízení. Takovýto požadavek může být velikost paměti, velikost připojené virtuální SD karty, typ použité klávesnice (hardwarová nebo softwarová) nebo rozlišení a velikost displeje. Lze zde také simulovat příchozí a odchozí hovory nebo SMS zprávy. Finální navrhovaný software je pak samozřejmě doporučeno testovat na reálném zařízení.



Obrázek 17 - Android Virtual Device

7 Měření rozložení signálu v budově

Jako zdroj signálu byla využita síla signálu WiFi, která byla měřena v budově školy. Podle rozmístění vysílačů pak byl navržen software pro lokalizaci pozice. Pro správné zaměření pozice, bylo nutné přijímat signál alespoň z třech vysílačů, které jsou umístěny na známých a neměnných pozicích.

7.1 Zjištění polohy vysílačů

Prvním úkolem bylo zjistit, kde se v budově nacházejí vysílače. Jako jejich identifikační údaj byl zvolen název BSSID, který má každý vysílač unikátní a neměnný. Za tímto účelem byla vytvořena aplikace, která zobrazuje jediné WiFi zařízení v okolí, které má nejsilnější signál, to signalizuje zařízení, které se nachází nejbližší. Tento údaj byl uložen jako záznam na paměťovou SD kartu a byla poznamenána pozice, kde se vysílač nacházel.

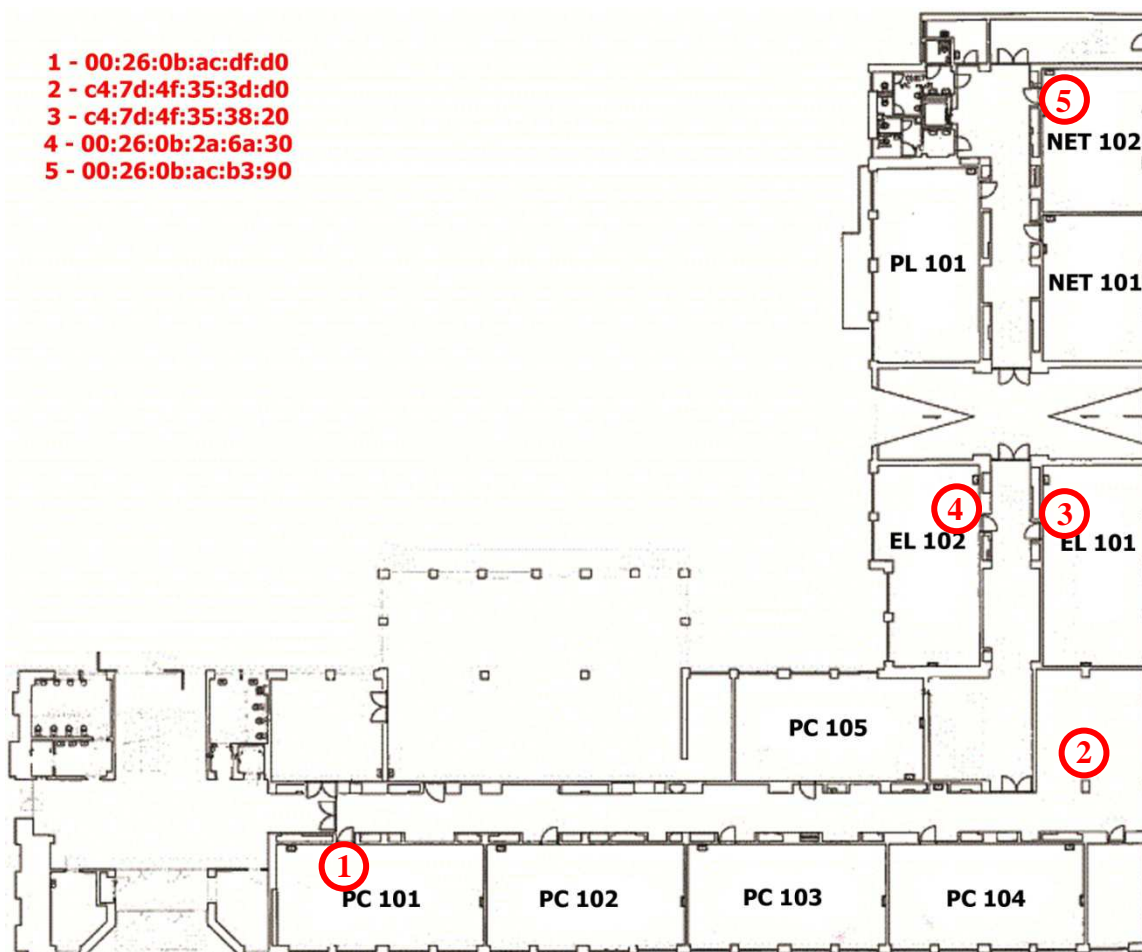


Obrázek 18 - aplikace na lokalizaci AP

Aplikace se skládá z textového pole, v kterém se zobrazuje BSSID vysílače a síla přijímaného signálu v dBm. Pomocí rozevíracího pole je možné vybrat, v kterém patře budovy se uživatel momentálně nachází a do vedlejšího textového pole vepsat přesný název místnosti, kde je AP umístěna. Pod těmito údaji jsou dvě tlačítka, která slouží k uložení změřených údajů a ukončení aplikace. Dále se zde nachází textové pole, které znázorňuje, co bylo uloženo na paměťovou kartu. Každý uložený soubor je pojmenován

podle místa, které bylo zadáno, a obsahem souboru jsou změřené údaje. Poslední prvek v této aplikaci je tlačítko, které má 2 polohy a slouží pro zapnutí příp. vypnutí vyhledávání údajů o nejbližším dostupném vysílači.

Celkem bylo v budově Fakulty elektrotechniky a informatiky nalezeno 11 vysílačů. Pomocí jejich známé polohy by bylo možné zjistit aktuální pozici, pokud by byly v dosahu zařízení minimálně 3 vysílače. V prvním patře bylo nalezeno celkem 5 vysílačů a s lokalizací a dostupností signálu v tomto poschodí by neměl být problém.

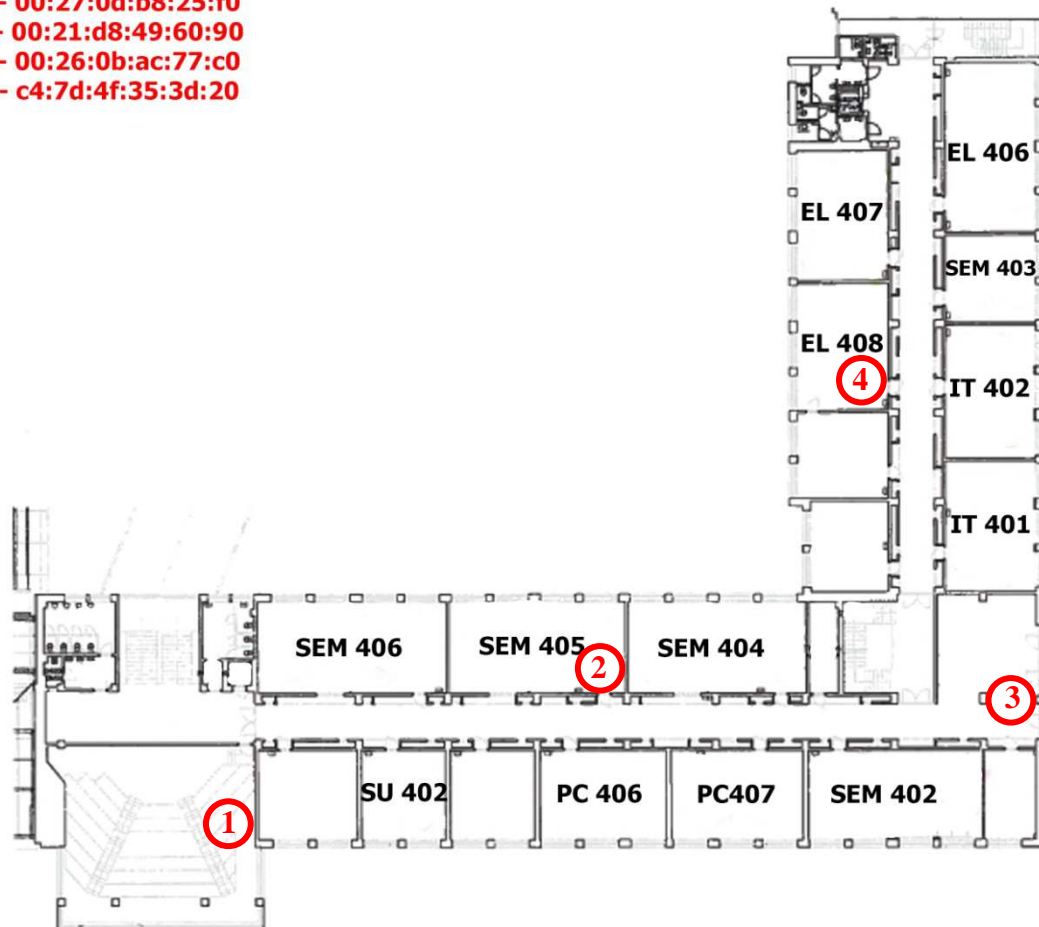


Obrázek 19 - umístění AP (1. patro)

V druhém patře nebyl nalezen žádný vysílač, tudíž v tomto patře bude špatná dostupnost signálu a identifikace minimálně 3 vysílačů bude jen na určitých pozicích. Další vysílač byl nalezen mezi druhým a třetím patrem v posluchárně H1 (jeho BSSID je 00:19:a9:cd:8f:70). V třetím patře bude situace s dostupností signálu podobná, protože se zde nachází pouze jediný vysílač a to v respiriu (jeho BSSID je c4:7d:4f:35:3e:a0).

Ve čtvrtém patře byly nalezeny celkem 4 vysílače a jejich umístění vypovídá o tom, že by dostatečný počet signálů mohl být k dispozici na většině míst v tomto patře. Jejich rozmístění je na následujícím obrázku.

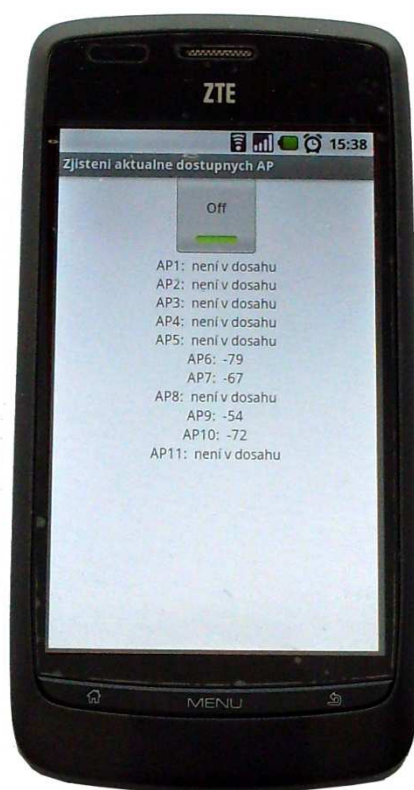
- 1 - 00:27:0d:b8:25:f0
- 2 - 00:21:d8:49:60:90
- 3 - 00:26:0b:ac:77:c0
- 4 - c4:7d:4f:35:3d:20



Obrázek 20 - umístění AP (4. patro)

7.2 Zjištění počtu vysílačů v dosahu na určených pozicích

Při známém rozmístění vysílačů je potřeba zjistit jakou mají v jednotlivých místech dostupnost. Pro tento účel byla vytvořena aplikace, která zjišťuje v určitých časových intervalech, jaké signály jsou v místě, kde se nachází zařízení. V aplikaci jsou zadány názvy všech zjištěných BSSID. Tento údaj je porovnáván se signály, které jsou přijímány. Pokud je adresa BSSID shodná s některou známou adresou, je tento signál změřen a jeho aktuální síla zobrazena na displeji. Monitorování signálu probíhalo ve všech patrech budovy, přičemž na každém patře se měřily signály na 5 místech, které byly od sebe vzdáleny přibližně 25m. Na každém místě byly provedeny 4 měření, pomocí nichž se zjistilo, zdali má dané patro dostatečný počet přijímaných signálů a je zde možné realizovat podrobnější měření, které by bylo využito při lokalizaci ve finální aplikaci.

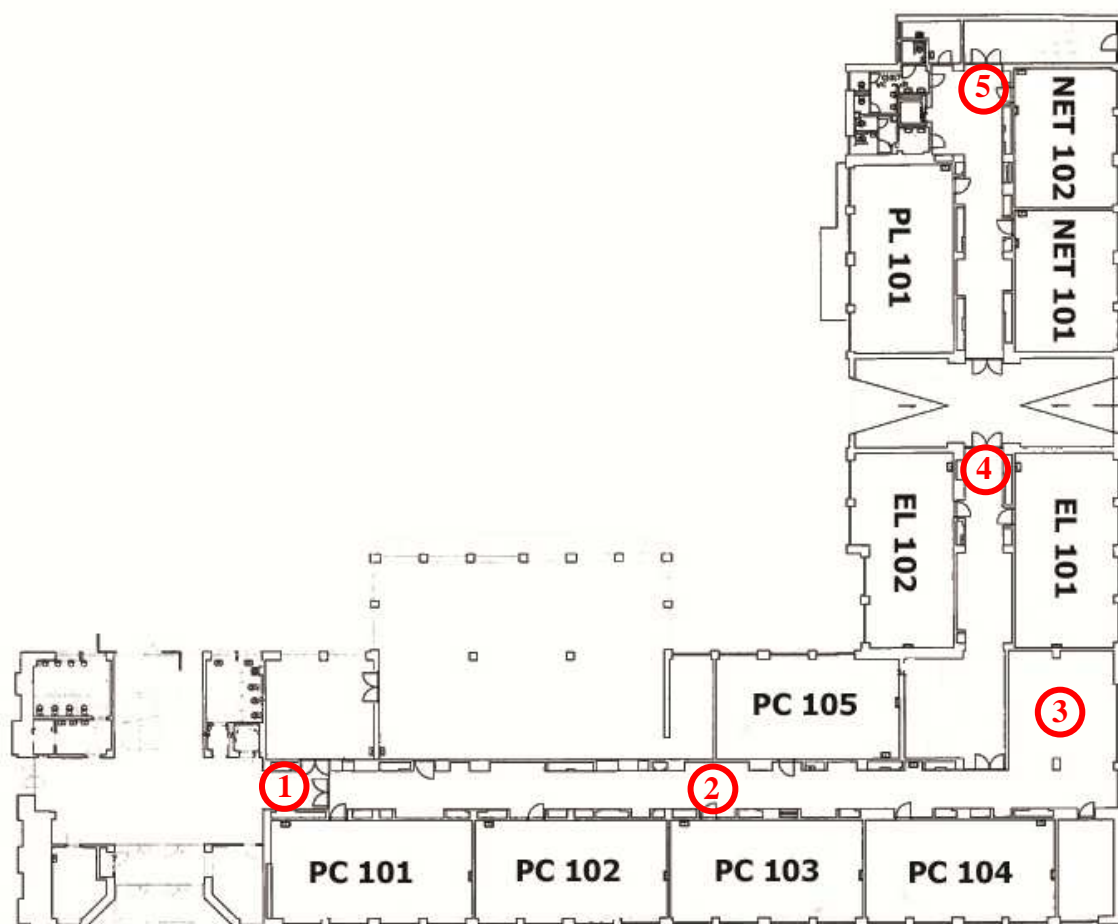


Obrázek 21 - aplikace na zjištění dostupných AP

Aplikace se skládá z dvoupolohového tlačítka, které signalizuje zapnutí nebo vypnutí zjišťování aktuálně dostupných vysílačů a z textových polí, do kterých je při příjmu signálu zapsána aktuální hodnota síly signálu jednotlivých vysílačů. Pokud signál momentálně není v dosahu, aplikace tuto situaci signalizuje textem „není v dosahu“.

Měřením bylo zjištěno, že pro účel lokalizace uživatele je nejlepší situace v prvním patře, kde je dostupný signál z tří až čtyř vysílačů v každém bodě. V druhém patře je signál v měřených místech velmi slabý a v určitých místech dokonce není dostatečný počet vysílačů k dispozici a při podrobnějším proměření by při určování polohy docházelo k chybně detekované pozici. Situace ve třetím patře je také velmi špatná a jsou zde místa, kde by také docházelo k špatnému určení aktuální pozice. Díky vysílači, který je umístěn v respiriu, by byl počet špatně lokalizovaných míst menší, ale pro navigaci by to i v tomto případě znamenalo nevyhovující situaci. Ve čtvrtém patře se dostupnost vysílačů blíží situaci z prvního patra a nejspíše by zde bylo možné provést podrobnější měření, které by mohlo sloužit pro správné určení polohy.

Na následujícím obrázku jsou zakresleny body, v kterých byly provedeny měření v prvním patře. V ostatních patrech bylo realizováno měření v přibližně stejných bodech.



Obrázek 22 - body měření dostupnosti signálu v prvním patře

V následujících tabulkách jsou zapsány vysílače, které byly v jednotlivých bodech a patrech zjištěny.

Tabulka 5 - počet dostupných vysílačů v prvním patře

číslo bodu	počet vysílačů	umístění vysílače
1	3	učebna PC 101, EL 101 a respirium (1. patro)
2	4	učebna PC 101, EL 101, EL 102 a respirium (1. patro)
3	5	učebna PC 101, EL 101, EL 102, NET 102 a respirium (1. patro)
4	4	učebna EL 101, EL 102, NET 102 a respirium (1. patro)
5	3	učebna EL 101, EL 102, NET 102

Tabulka 6 - počet dostupných vysílačů v druhém patře

číslo bodu	počet vysílačů	umístění vysílače
1	2	učebna PC 101, H2
2	2	učebna PC 101, SEM 405
3	5	učebna EL 101, EL 102, respirium (1. patro), respirium (3. patro), respirium (4. patro)
4	6	učebna EL 101, EL 102, NET 102, EL 408, respirium (1. patro), respirium (3. patro)
5	1	učebna NET 102

Tabulka 7 - počet dostupných vysílačů v třetím patře

číslo bodu	počet vysílačů	umístění vysílače
1	2	učebna PC 101, H2
2	4	učebna H1, SEM 405, respirium (3. patro), respirium (4. patro)
3	3	respirium (1. patro), respirium (3. patro), respirium (4. patro)
4	3	učebna EL 101, respirium (3. patro), respirium (4. patro)
5	3	učebna NET 102, EL 408, respirium (3. patro),

Tabulka 8 - počet dostupných vysílačů v čtvrtém patře

číslo bodu	počet vysílačů	umístění vysílače
1	3	učebna H2, SEM 405, respirium (4. patro)
2	4	učebna H2, SEM 405, respirium (4. patro), respirium (3. patro)
3	4	učebna SEM 405, EL 408, respirium (4. patro), respirium (3. patro)
4	3	učebna EL 408, respirium (4. patro), respirium (3. patro)
5	3	učebna NET 102, EL 408, respirium (4. patro)

7.3 Podrobné měření síly signálu

Pro účel tvorby aplikace, zaměřené na navigaci ve vnitřních prostorech, je vhodná situace z hlediska dostupnosti a počtu signálu v prvním patře budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky. Počet signálů, které lze použít, je v okrajových částech budovy dostačující pro přesné určení aktuální polohy. Pokud by byly přidány další vysílače do druhého a třetího patra, tak by bylo možné proměřit celou budovu, ale za stávající situace by určování polohy v těchto patrech bylo velmi nepřesné nebo by signál přiřazoval špatné pozice.

Při podrobném měření bylo v každém bodě zaznamenáno celkem 16 měření. Při měření byl telefon držen v 8 případech ve vertikální poloze a v 8 případech v horizontální poloze. Tímto způsobem by mělo být docíleno průměrné hodnoty daného místa bez ohledu na to, kterým směrem je uživatel natočen a v jaké poloze momentálně drží zařízení. Přičemž mezi každým měření bylo zařízení namířeno do různých směrů, čímž bylo docíleno hodnot, které jsou na dané pozici možné změřit.

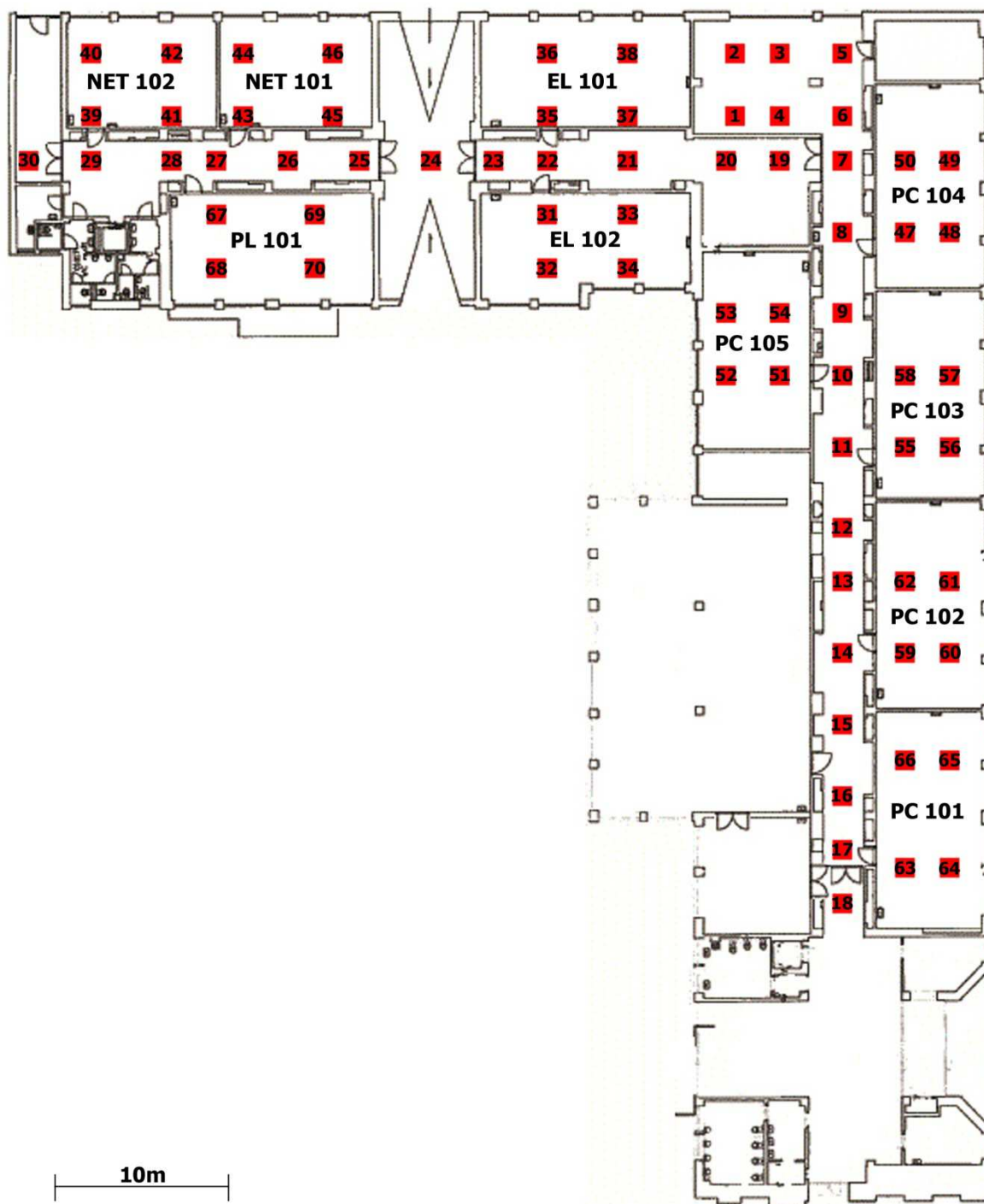
Pro zjišťování hodnot jsou do aplikace nahrány adresy BSSID všech dostupných zařízení v této oblasti. Tudíž aplikace porovnává, jak jsou silné signály z 5 zjištěných pozic, na kterých se nacházejí vysílače. Při měření bylo zjištěno, že zařízení detekuje signály, které mají přicházející výkon s hodnotou nejméně -85dBm. Hodnota síly signálu, kterou není momentálně možné změřit, je pak nastavená na -90dBm. Všechny změřené údaje jsou pak uloženy do databáze SQLite, která má název podle pozice kde bylo dané měření realizováno.



Obrázek 23 - aplikace na měření síly signálu v prvním patře

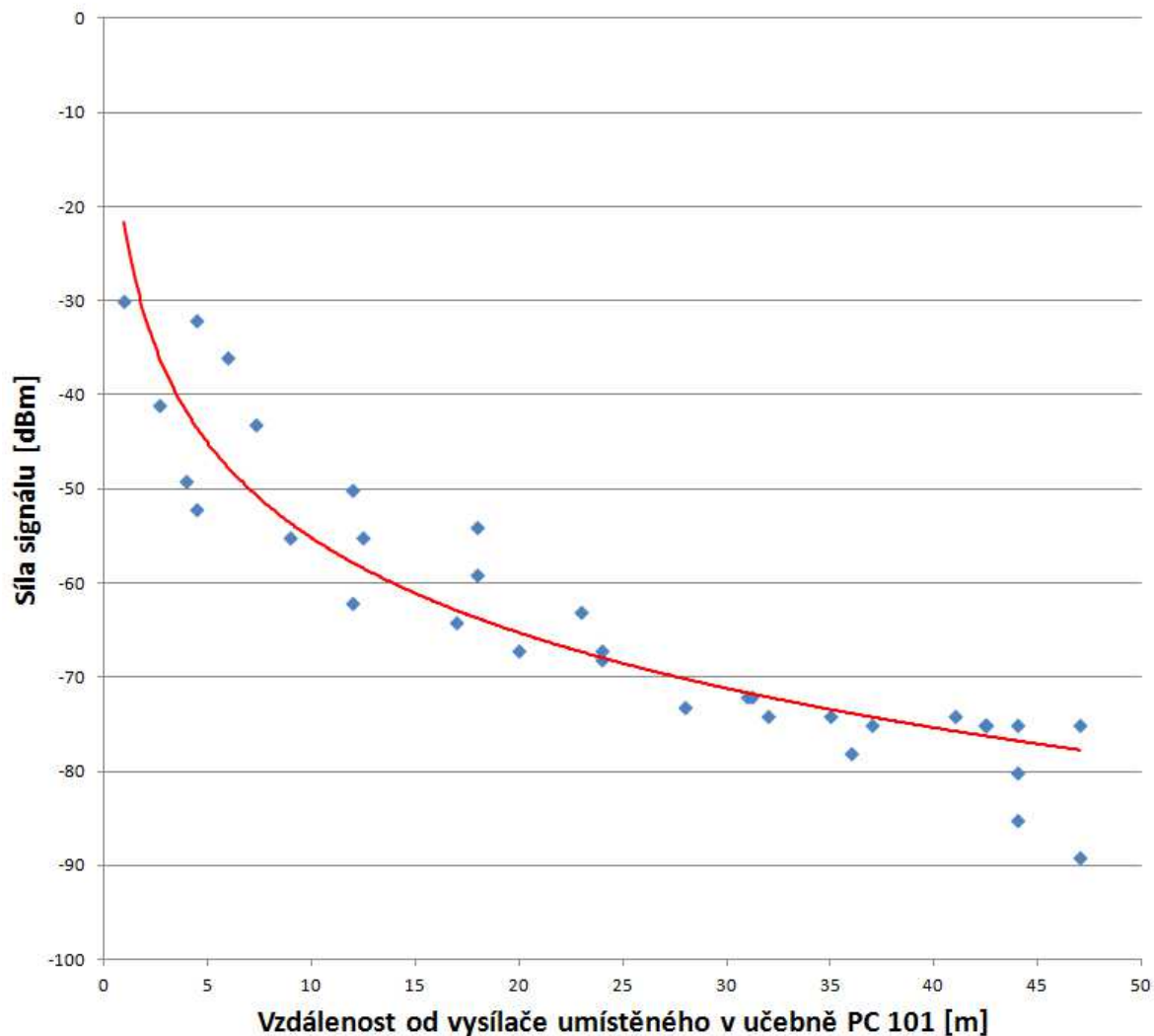
Aplikace se skládá z textového pole, do kterého je zapsáno číslo pozice, které je též nutné zaznamenat do mapy. Pod tímto polem je dvoupolohové tlačítko, které slouží k zapnutí a vypnutí měření síly aktuálních signálů. Pod ním jsou vypsány hodnoty síly signálu všech hledaných vysílačů. Dále je zde tlačítko „Create“, které slouží k vkládání hodnot do SQLite databáze, která je pojmenována podle čísla pozice ve které bylo provedeno měření. Poslední grafickou položkou je tlačítko „Show Table“ pomocí kterého je možné si zobrazit všechny změřené hodnoty na dané pozici uložené v databázi.

Hodnoty byly měřeny v rámci jednoho patra na celkem 70 místech. Body, v kterých bylo prováděno měření, jsou od sebe vzdáleny v průměru 4m. Při měření jednoho bodu se odchylka pohyboval okolo 5dB a tudíž by ani nebylo možné mít větší vzdálenost mezi měřenými body, protože ve volném prostoru se sousední hodnoty lišily o jednotky decibel a tudíž by při menší vzdálenosti mohlo docházet k špatně identifikovaným aktuálním pozicím. Hodnoty, které byly změřeny v jednotlivých místech, by mělo být dostačující seřadit a 3 nejvyšší a 3 nejnižší hodnoty odebrat, protože ve většině případů se v těchto hodnotách nacházely extrémy, které ovlivňovaly výsledný průměr a medián. Případně by bylo možné v každém místě provést více měření, v kterých by tolik extrémy neovlivňovaly průměrnou hodnotu a medián. A v poslední řadě by bylo možné z většího souboru, i po odebrání extrémních hodnot, možné vyhodnotit přesnější údaj o průměru a mediánu, než v tomto případě, kdy byly hodnoty získány z 10 měření.



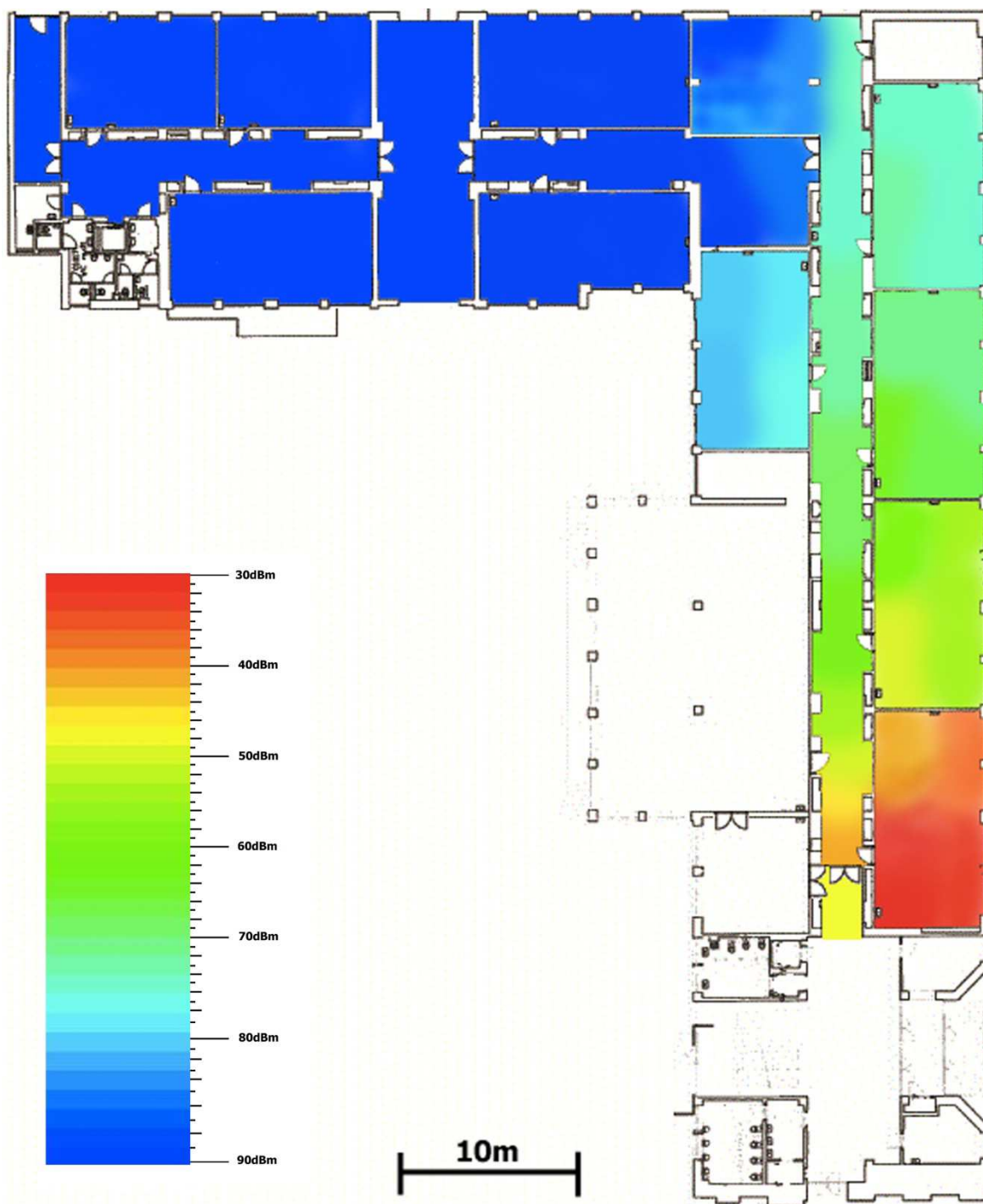
Obrázek 24 - rozmístění bodů měřených v budově

Po proměření všech bodů byla zjištěna špatná dostupnost signálu v učebně PC 101, kde byla dostupná pouze hodnota z vysílače v této učebně a také byla velmi slabě přijímána hodnota z vysílače umístěného v respiriu.



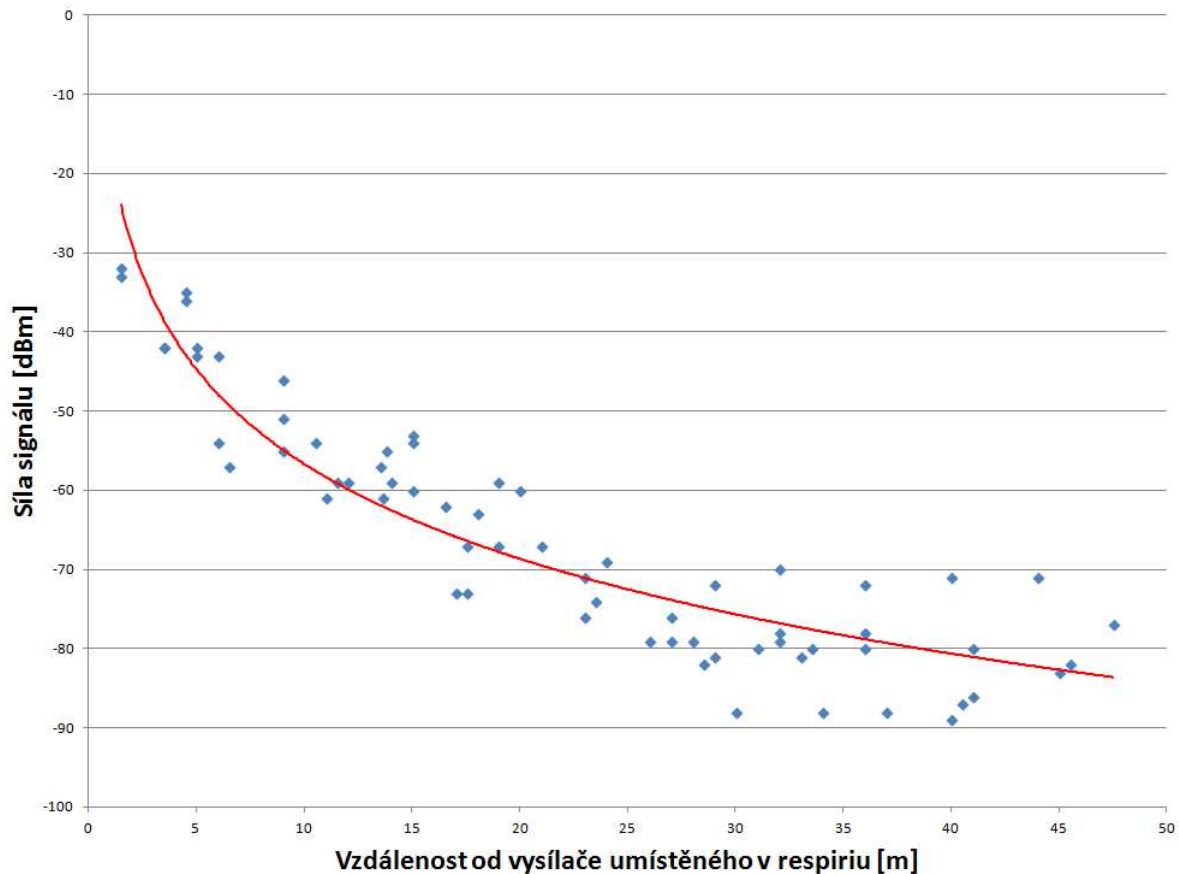
Obrázek 25 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně PC 101

Při návrhu pomocí One-Slope modelu by bylo nutné znát spádový koeficient, který byl pro tento vysílač určen na hodnotu 3,4. To by odpovídalo hodnotě z teoretické části, kde byla uvedena hodnota, při použité frekvenci 2,5GHz, spádového koeficientu pro kanceláře 4,2. V tomto případě jsou jednotlivé prostory větší než běžné kancelářské místnosti a tudíž vychází i spádový koeficient menší.



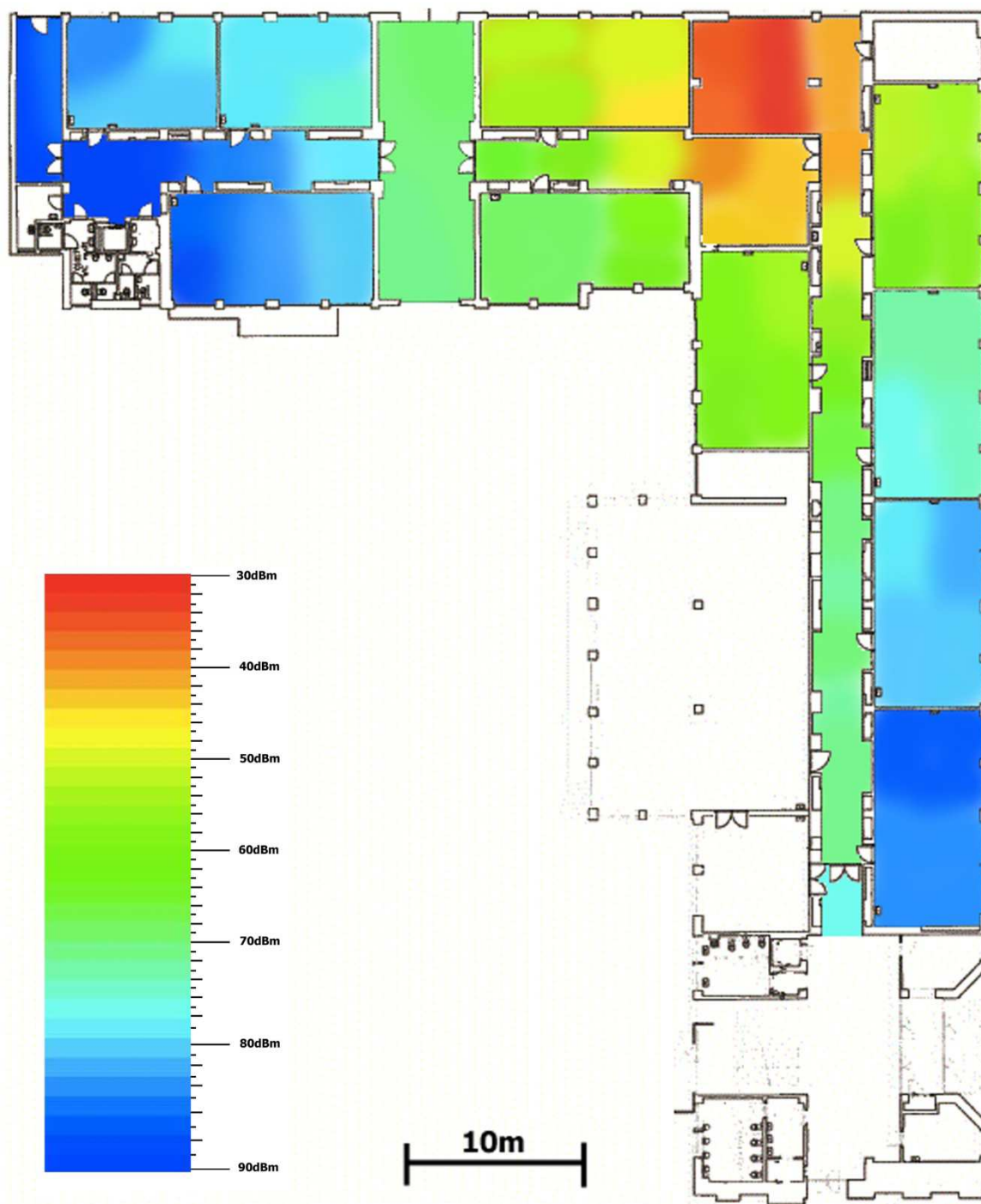
Obrázek 26 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně PC 101

Z obrázku výkonové úrovně signálu je patrné, že vysílač z hlediska využití pro lokalizaci by vyzařoval hodně výkonu směrem ke vchodu do budovy. Proto by bylo vhodné tento vysílač umístit dále od vchodu a dosáhlo by se tím i více příchozích signálů na dalších pozicích.



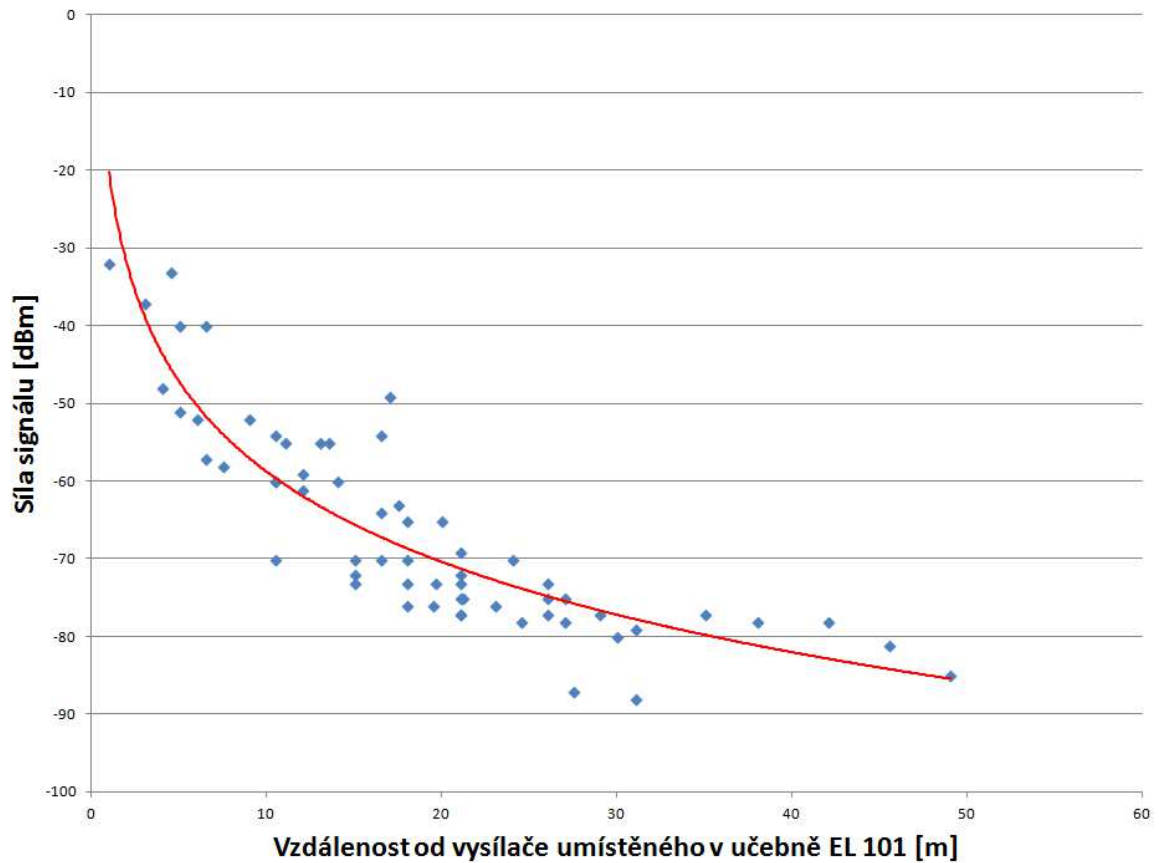
Obrázek 27 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v respiriu

U tohoto vysílače by se při modelování signálu pomocí One-Slope modelu použil spádový koeficient 3,7. Opět tato hodnota odpovídá teoretickému údaji, kde na podobné frekvenci v kancelářských prostorech byla doporučena hodnota 4,2. V tomto případě je hodnota vyšší, oproti spádovému koeficientu z učebny PC 101, z důvodu, že tento vysílač pokrývá mnohem větší území.



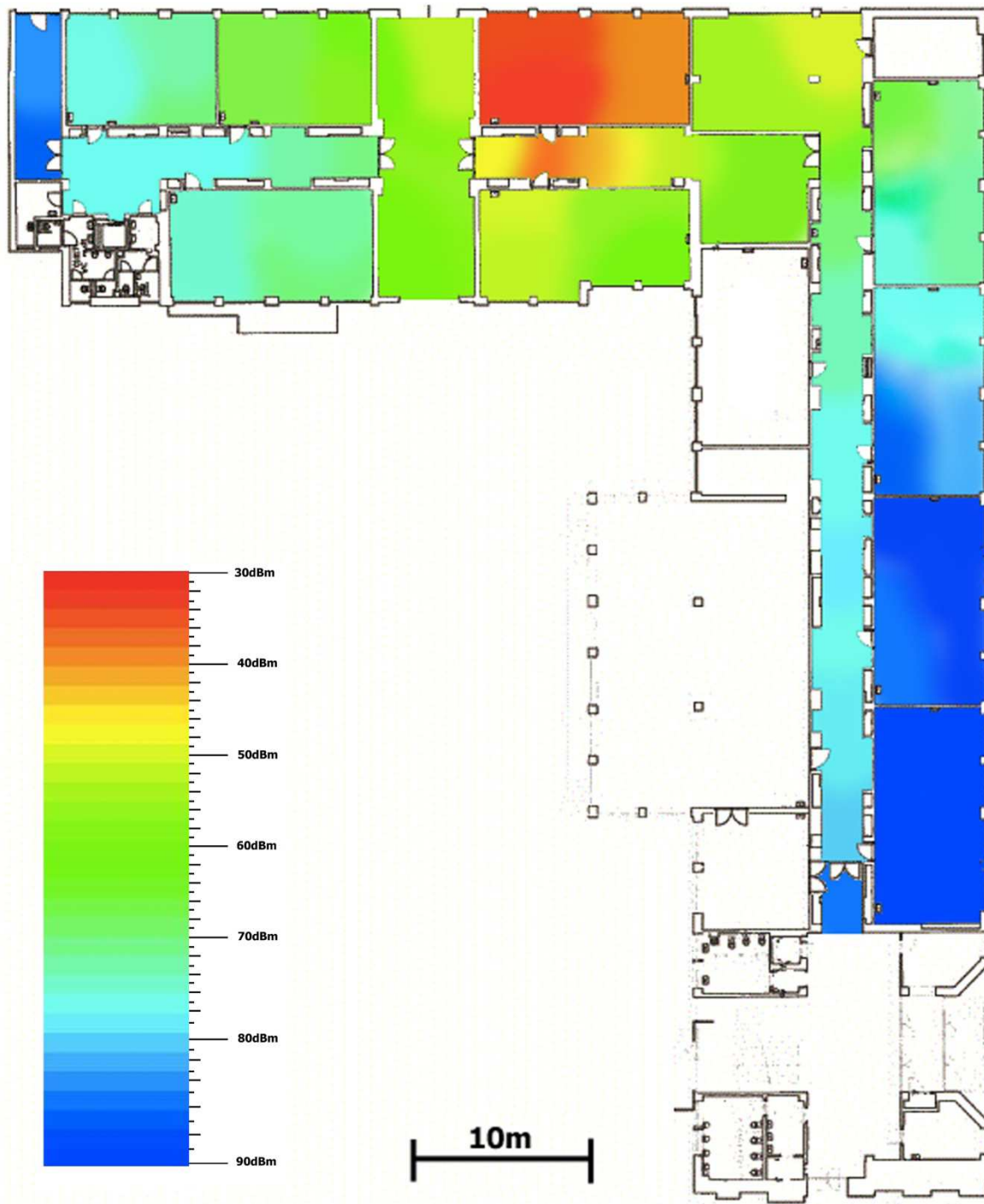
Obrázek 28 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v respiriu

Tento vysílač je pro účely lokalizace velmi vhodně umístěn, jeho dosah je téměř pro celé patro. Proto by bylo vhodné naplánovat další vysílače v okolí pozic, kde je signál z toho vysílače nedostupný, což je částečně v učebně PC 101 a u zadního východu z budovy.



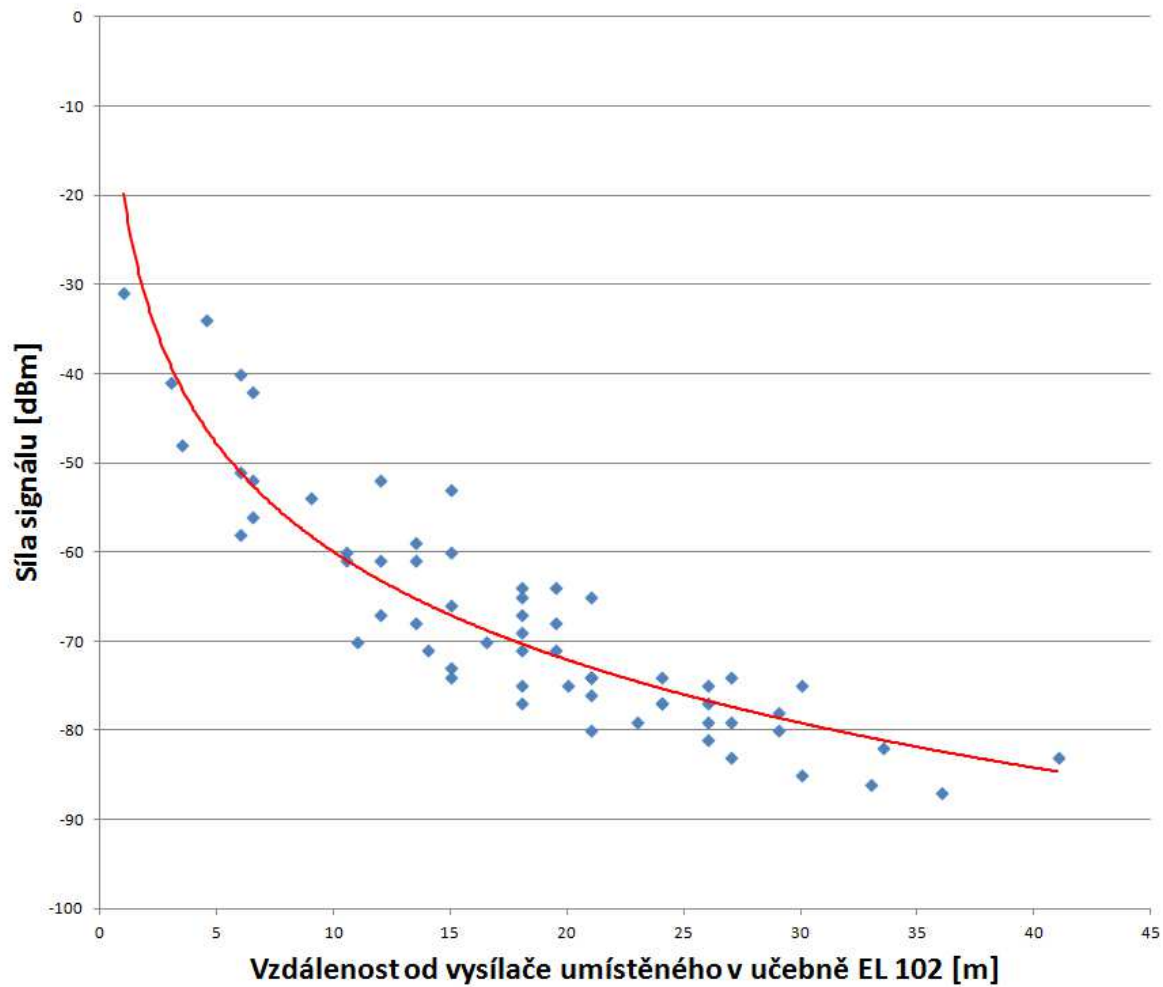
Obrázek 29 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně EL 101

Při modelování šíření signálu pomocí One-Slope modelu by zde bylo vhodné použít spádový koeficient 3,9. Opět to odpovídá teoretické hodnotě, která byla v kancelářských prostorech 4,2. Zde je koeficient vyšší, oproti hodnotě u prvního vysílače, z důvodu, že pokrývá mnohem větší území, tudíž je nutné do výpočtu zahrnout více překážek tvořených zdmi.



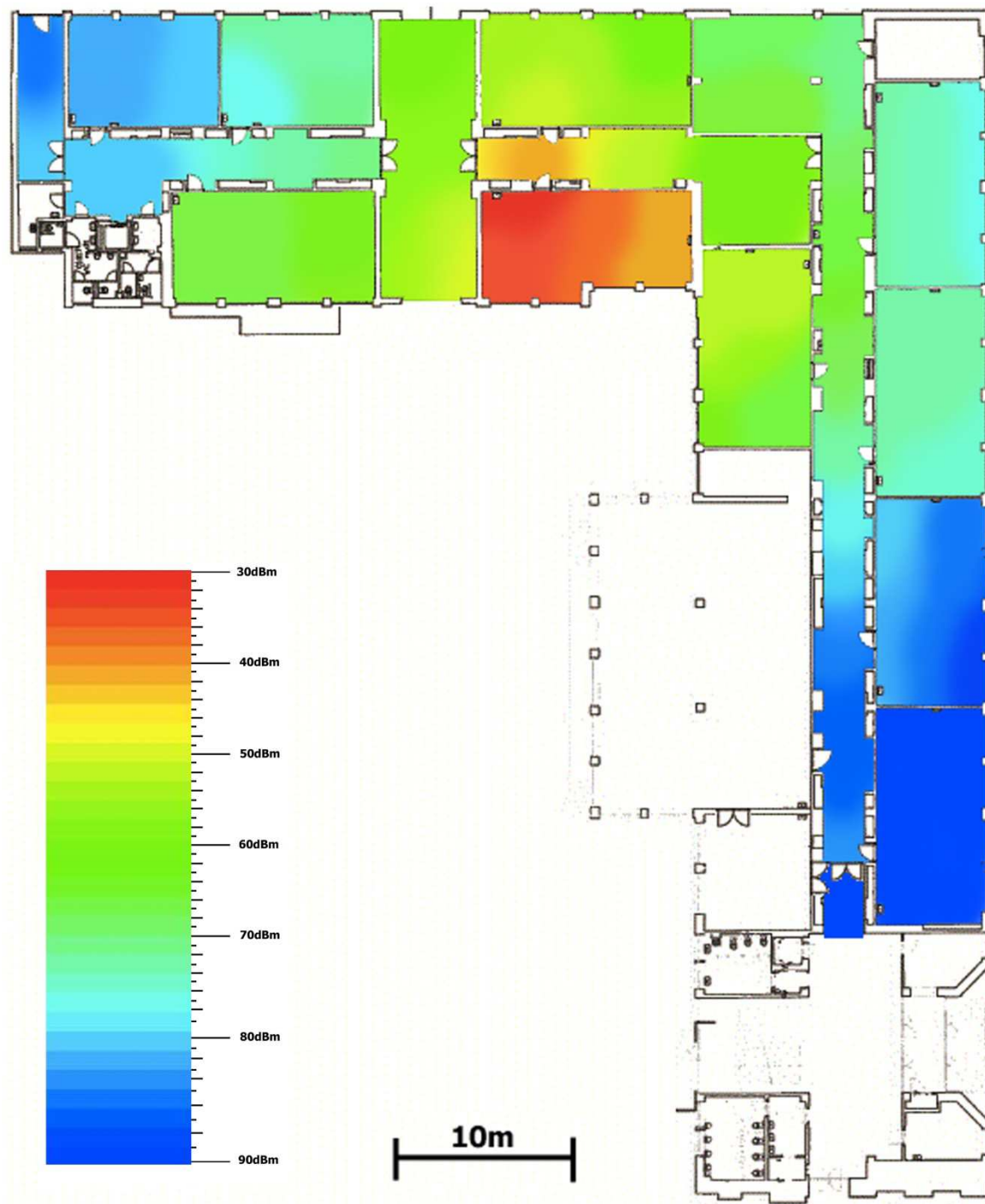
Obrázek 30 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně EL 101

Při zhodnocení rozložení výkonové úrovně signálu tohoto vysílače, je vidět, že velmi dobře doplňuje pokrytí vysílače umístěného v respiriu. Opět je patrné, že signál směrem k učebně PC 101 velmi klesá a v této učebně je již neměřitelný.



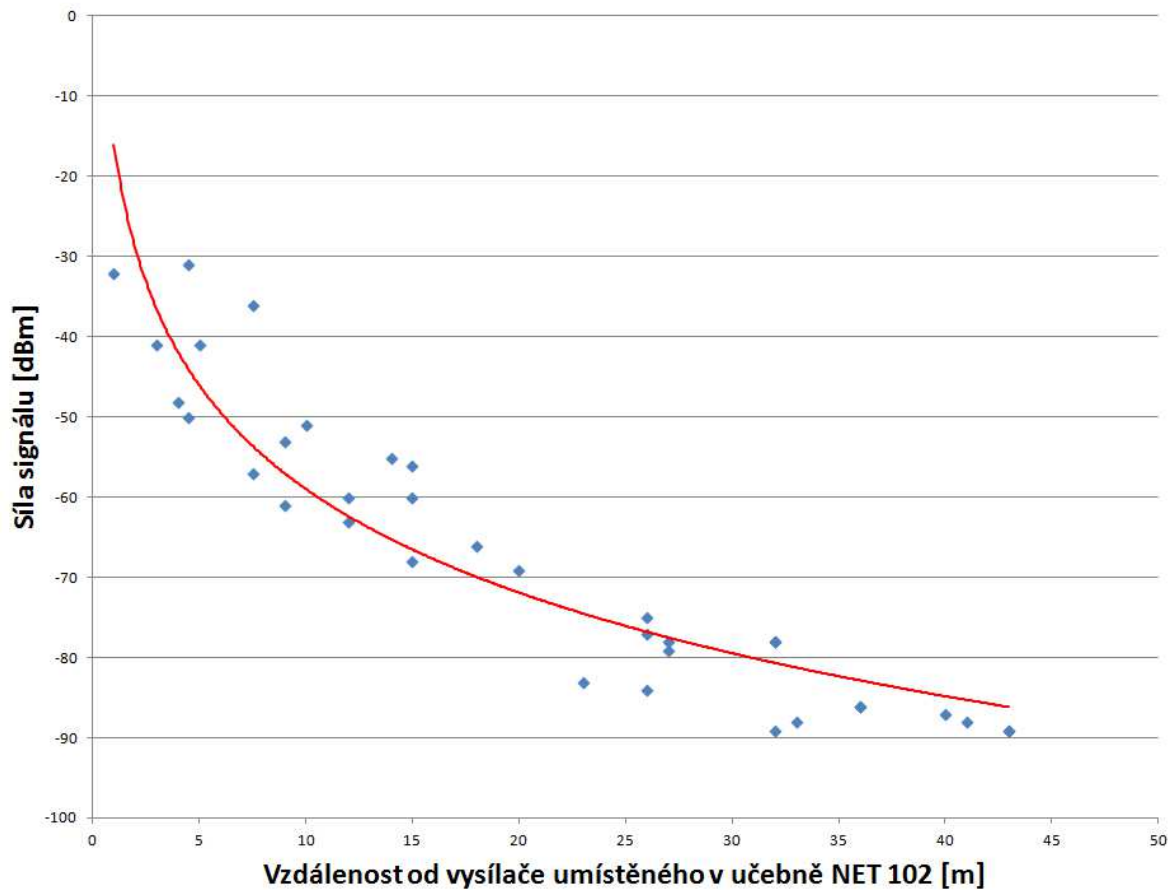
Obrázek 31 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně EL 102

Zde by byl spádový koeficient, při modelování šíření signálu One-Slope modelem, zvolen na hodnotu 3,9. Hodnota je stejná jako u předchozího vysílače, což je očekávaná hodnota, protože oba vysílače jsou od sebe vzdáleny pouze 5m.



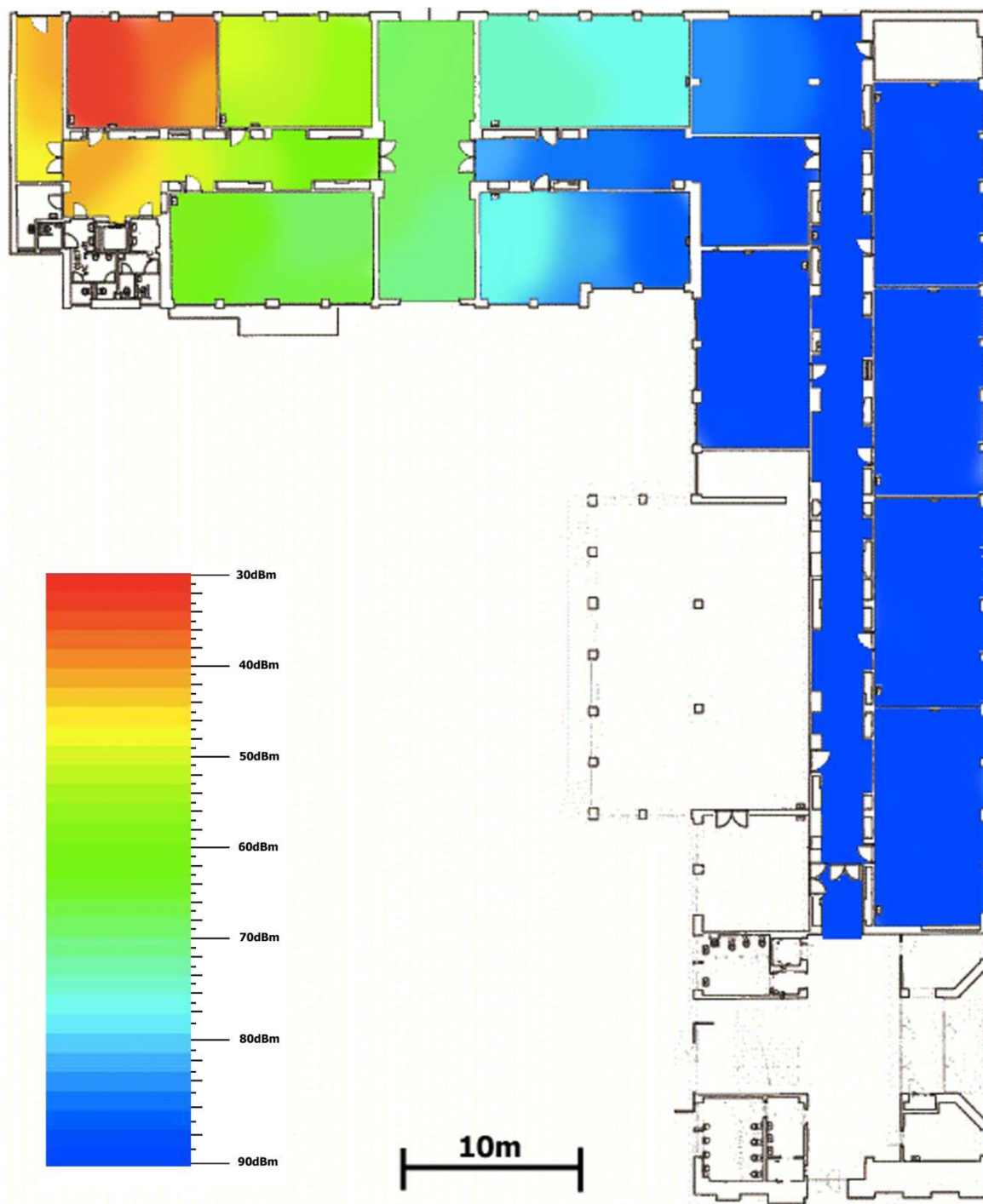
Obrázek 32 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně EL 102

Tento vysílač je pro určování polohy nevhodně umístěn, protože další vysílač se nachází v protější místnosti a je vzdálen pouhých 5m. Tento vysílač by se více hodil umístit do některé počítačové učebny a zvýšit tak počet přijímaných signálů v učebně PC 101.



Obrázek 33 - závislost vzdálenosti na síle signálu vysílače umístěným v učebně NET 102

U tohoto vysílače by byl spádový koeficient, pro modelování nejjednodušší metodou, zvolen na 3,8 a hodnota se opět blíží údajům z teoretické části.



Obrázek 34 - rozložení výkonové úrovně signálu vysílače umístěným v učebně NET 102

Opět je v grafu rozložení výkonu vidět, že umístění tohoto vysílače není, z hlediska dostupnosti signálu v okolních prostorech, zvoleno vhodně. Výkon je vysílán směrem k zadnímu východu, kde se nejspíše ani uživatel nebude pohybovat. Vysílač by bylo vhodnější umístit spíše do učebny NET 101.

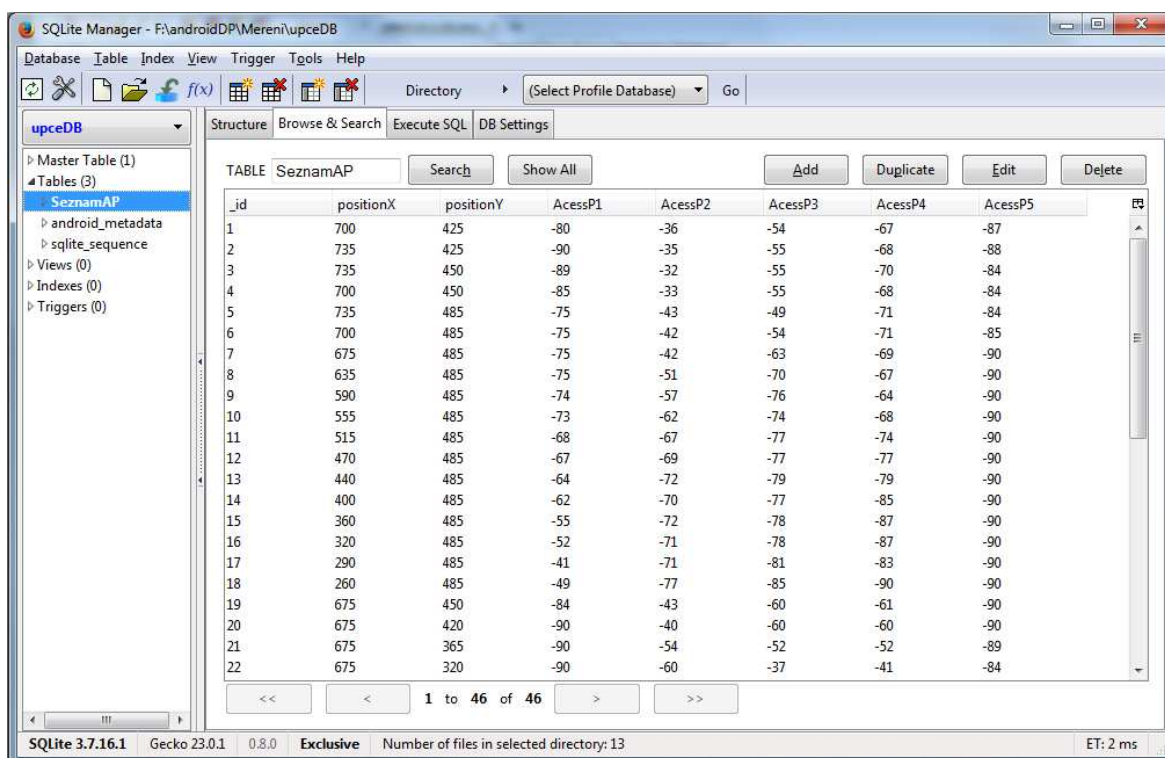
Spádové koeficienty se nejčastěji pohybovaly kolem hodnoty 3,8. Tato hodnota by se mohla použít jako spádová hodnota pro daný typ vysílačů při použití v kterémkoliv místě na tomto patře. Podle grafů výkonové úrovně je jasné, že vysílače nejsou umístěny

na nejvhodnějších místech. Důkazem je vysílač v učebně PC 101 a NET 102, které vyzařují více do prostor, které jsou mimo budovu, nebo se v nich uživatel bude pohybovat jen zřídka. Vhodnější by bylo přemístit vysílač z učebny NET 102 do učebny NET 101 nebo PL 101. Také by se mohl jeden z vysílačů v učebnách EL 101 a EL 102 přemístit tak, aby byla lépe pokryta situace v počítačových učebnách. Vhodné umístění by bylo nejspíše v učebně PC 103 nebo PC 105.

Navrhovaný spádový koeficient 3,8 by bylo možné využít pro orientační zjištění, kde by mohly být umístěny vysílače. K jinému účelu by toto modelování nebylo vhodné, protože při lokalizaci by hodnoty, které by byly v blízkosti vysílače, určovaly špatnou pozici z důvodu, že spádový koeficient zahrnuje vliv všech překážek v okolí, ale v nejbližším okolí vysílače by se žádná překážka nacházet nemusela.

8 Navigace v budově

Pro účely navigace byla vytvořena SQLite databáze, v které jsou zaznamenány hodnoty všech změřených sil signálu, číslo bodu a souřadnice, kde se bod nachází na mapě. Hodnoty byly vyhodnoceny z jednotlivých měření a posouzeny na základě velikosti průměru a mediánu, které se od sebe lišily pouze o desetiny decibel, ve výjimečných případech o decibel.



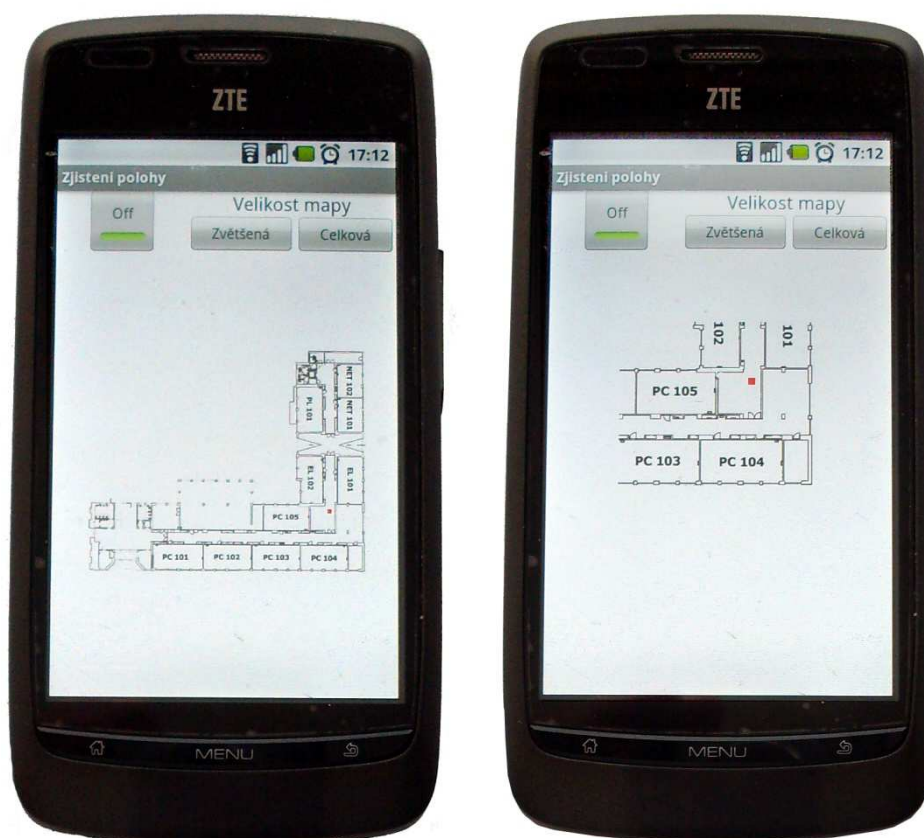
_id	positionX	positionY	AcessP1	AcessP2	AcessP3	AcessP4	AcessP5
1	700	425	-80	-36	-54	-67	-87
2	735	425	-90	-35	-55	-68	-88
3	735	450	-89	-32	-55	-70	-84
4	700	450	-85	-33	-55	-68	-84
5	735	485	-75	-43	-49	-71	-84
6	700	485	-75	-42	-54	-71	-85
7	675	485	-75	-42	-63	-69	-90
8	635	485	-75	-51	-70	-67	-90
9	590	485	-74	-57	-76	-64	-90
10	555	485	-73	-62	-74	-68	-90
11	515	485	-68	-67	-77	-74	-90
12	470	485	-67	-69	-77	-77	-90
13	440	485	-64	-72	-79	-79	-90
14	400	485	-62	-70	-77	-85	-90
15	360	485	-55	-72	-78	-87	-90
16	320	485	-52	-71	-78	-87	-90
17	290	485	-41	-71	-81	-83	-90
18	260	485	-49	-77	-85	-90	-90
19	675	450	-84	-43	-60	-61	-90
20	675	420	-90	-40	-60	-60	-90
21	675	365	-90	-54	-52	-52	-89
22	675	320	-90	-60	-37	-41	-84

Obrázek 35 - ukázka databáze hodnot pro navigaci v programu SQLite Manager

V programu je použita ještě jedna SQLite databáze, která obsahuje hodnoty, pomocí nichž se orientuje program, do kterého bodu se může z aktuální pozice přemístit. Z každého bodu je možné dostat se maximálně do 8 okolních pozic, tudíž je každý řádek databáze tvořen 10 hodnotami (aktuální pozice, 8 okolních pozic a pozice, v které se uživatel momentálně nachází).

8.1 Aplikace pro zjištění polohy

Aplikace je navržena tak, aby uživatel měl s jejím ovládáním co nejméně práce. Možnosti, které uživatel může v aplikaci provést, je pouze zapnutí navigace a nastavení velikosti mapy ve dvou polohách označených jako „celková“ a „zvětšená“.



Obrázek 36 - aplikace pro zjištění aktuální pozice

Program je tvořen třemi tlačítky a jedním polem, v kterém se zobrazuje mapa. První tlačítko je dvoupolohové „On/Off“ a slouží k zapnutí nebo vypnutí vyhledávání pozice. Poté je po zadaných časových intervalech aktualizována současná poloha. Tlačítko je dvoupolohové, protože kdyby zde byly zavedeny dvě tlačítka, jedno pro zapnutí a druhé pro vypnutí, tak při stisknutí tlačítka „On“ vícekrát po sobě, by bylo zjišťování polohy spuštěno několikrát a tím by došlo k zbytečnému zatížení aplikace, která by v hraničním případě vedla k nefunkčnosti celé aplikace. Vedle něj se nacházejí dvě tlačítka, která slouží pro ovládání velikosti zobrazované mapy. Tlačítko „Zvětšená“ zvětší mapu na dostatečnou velikost, aby uživatel, který nedisponuje vysokou úhlopříčkou displeje, případně má horší rozlišení displeje, mohl zjistit, které učebny jsou v jeho nejbližším okolí. Tlačítko „Celková“ umožňuje uživateli pohled na celkový plán prvního patra s vyznačenou aktuální pozicí.

8.2 Podrobný popis programové části aplikace

Prvním krokem při návrhu aplikace byla tvorba grafického uživatelského rozhraní, které spočívalo naplněním okna, které symbolizuje displej mobilního zařízení, grafickými prvky jako jsou tlačítka (pro nastavení velikosti mapy a dvoupolohové tlačítko pro zapnutí a vypnutí vyhledávání pozice) a pole, do něž bude vložena mapa pro zobrazení pozice.

Dále bylo nutné do souboru manifestu zadat, že aplikace bude využívat přístup na SD kartu, na které budou nahrány SQLite databáze. Dalším prvkem v manifestu byla inicializace, že bude využito připojení k internetu, které je důležité pro zjišťování aktuální síly signálu v daném místě. Také zde bylo nastaveno, že displej bude nastaven vždy na výšku, aby nebyla uživateli při natočení displeje za účelem zorientování se v mapě natočena i aktuální zobrazovaná informace.

Doplňené informace do souboru AndroidManifest

Využívání WiFi připojení

```
<uses-permission
android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE"></uses-permission>
<uses-permission
android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE"></uses-permission>
```

Přístup k datům na SD kartě

```
<uses-permission android:name="android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE" />
```

Nastavení pevné vertikální pozice displeje

```
<activity
android:screenOrientation="portrait"

</activity>
```

Poté byla zpracována programová část aplikace, která se programuje v jazyce Java. Na začátku kódu jsou naimportované použité knihovny, které daný program využívá (práce s tlačítky, práce s obrázky, práce s WiFi připojením atd.). Poté je nutné do kódu zapsat odkazy na prvky, které byly zabudovány v grafickém rozhraní a kterým zde budeme přiřazovat nějakou hodnotu či funkci. Bylo zde také nutné zadat přístupovou cestu k obrázku s mapou, který se nachází na externím zařízení (SD kartě). Dále zde byly zadány hodnoty BSSID adres zařízení, u kterých budeme hledat jejich momentální sílu signálu v aktuálních pozicích.

Nastavení tlačítka, ovládající zvětšení a zmenšení mapy, je pouhé přiřazení booleovské hodnoty (true pro zvětšenou a false pro celou mapu) do třídy, která se spouští pouze po stisknutí zadaného tlačítka a která signalizuje, zda uživatel chce mít mapu na displeji zvětšenou či celou.

Příklad nastavení tlačítka pro zvětšení mapy

Tlačítko zvětšení má zde název „zoomIn“

```
zoomIn.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    public void onClick(View v) {
        zoom = true; }
});
```

Hlavní část programu je vepsána do třídy, která zpracovává stisknutí tlačítka „On/Off“. Do této části byl zadán i prvek, který zjišťuje, zdali je zapnuté připojení k WiFi sítím. Pokud po stisknutí tlačítka „On/Off“ není WiFi připojení zapnuto, aplikace

signalizuje pomocí informační zprávy, že připojení není zapnuté a kód který by se měl spustit za účelem vyhledávání pozice, tak spuštěn nebude.

Pokud však připojení je k dispozici, začne se provádět hlavní část kódu. Prvním krokem, který provede je, že zjistí všechny aktuální dostupné WiFi sítě v okolí a porovná je se zadanými adresami BSSID. Pouze u adres, které jsou shodné, se provede měření síly signálu.

Algoritmus porovnávání BSSID adres

```
wifi.startScan();
List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
final int N = results.size();

for(int i=0; i < N; ++i) {
String nazevsite=results.get(i).BSSID;
if(nazevsite.equals(BSSIDAP1)==true)
{silaAP1cd=results.get(i).level;};
}
}
```

Pokud není nějaký signál momentálně dostupný, jeho porovnání se nezdaří a je mu přiřazena předem definovaná hodnota, která byla stanovena na -90 dBm, což je hodnota, která je pro mobilní zařízení již neměřitelná. Následuje načtení databáze z SD karty a nastavení kurzoru na první pozici (na první měřený bod – bod 1). Poté je porovnáno všech 5 naměřených signálu s každým zaznamenaným bodem a zjištěna nejmenší celková odchylka od databázových hodnot. Pokud je však signál detekován jako nedostupný, tudíž je u něj hodnota -90 dBm, tak jeho odchylka se do celkové odchylky nezapočítává.

Bod, jenž má nejmenší odchylku, je nastaven jako bod, ve kterém se uživatel nachází. Z řádku v databázi, kde se tento bod nacházel, je zaznamenána poloha, která je v databázi zanesena jako souřadnice X a Y. Poté je do mapy vykreslen čtverec se středem v zjištěných souřadnicích.

Algoritmus pro výpočet odchylky

Hodnota „count“ v cyklu značí řádek SQLite databáze

```
for (Integer j = 0; j < count; j++){
    newodchylka=0;
    if (silaAP1cd>=-90){
        String silaP1 = c.getString(c.getColumnIndex("AcessP1"));
        int silaP1data = Integer.parseInt(silaP1);
        newodchylka = newodchylka+Math.abs(silaP1data-silaAP1cd);
    }

    if(newodchylka<oldodchylka){
        posXcd = Integer.parseInt(c.getString(c.getColumnIndex("positionX")));
        posYcd = Integer.parseInt(c.getString(c.getColumnIndex("positionY")));
        iddatab=Integer.parseInt(c.getString(c.getColumnIndex("_id")));
        oldodchylka = newodchylka;
    }
    c.moveToNext();
}
}
```

Vykreslování bodu do mapy by se dalo rozdělit do tří kroků. První krok je vytvořen při spuštění aplikace a je zde na pozadí nahrán soubor s mapou. V druhém kroku se tato mapa zkopíruje a zakreslí se do ní bod podle zjištěných souřadnic. Bod, který je vykreslen jako čtverec, je nastaven na velikost o straně čtverce 11 pixelů. Třetí krok se řídí nastavenou velikostí zobrazované mapy. Jednou z možností je, že má uživatel nastavenou mapu jako zvětšenou (proměnná „zoom“ je nastavena na hodnotu „true“). Pro takovéto případy je mapa rozdělena do 5 kvadrantů, přičemž tyto kvadranty se vzájemně prolínají, díky tomu je přechod mezi body plynulý. Pokud by se kvadranty nepřekrývaly, mohlo by docházet při přesouvání z bodu do nové pozice k neustále aktualizaci sousedních kvadrantů. Z tohoto důvodu mají sousední kvadranty 2 společné body a k přepnutí na vedlejší oblast dojde až po přechodu mimo aktuálně vyznačenou oblast. Druhou možností je, že má uživatel nastavenou mapu jako celkovou. V tomto případě se zobrazí na displeji mapa celého patra s vyznačeným bodem.

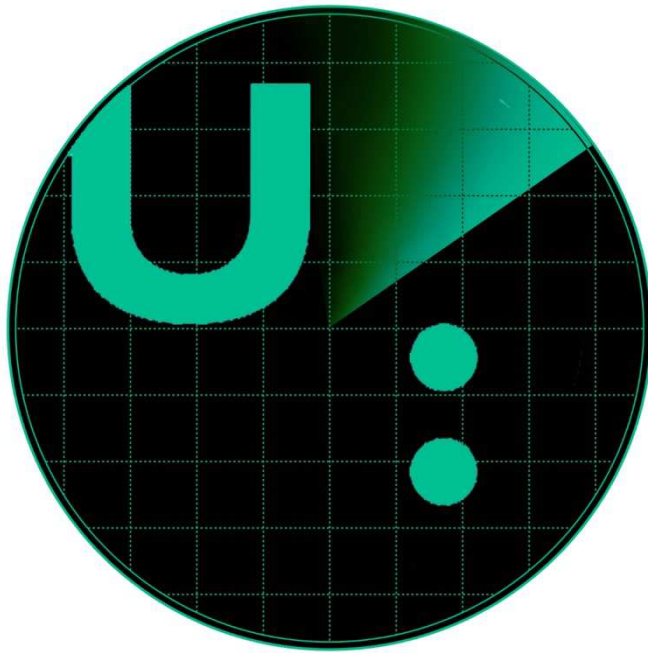
Do další části programu je zaveden cyklus, který obnovuje data každé 2 vteřiny. Tento časový údaj byl navržen vzhledem k tomu, že body jsou od sebe vzdáleny přibližně 4 metry. Člověk se pohybuje průměrnou rychlostí 5km/h a tudíž během zadané doby urazí přibližně 3m. Dále je tento cyklus podobný předchozímu kroku, kdy se vyhledávala aktuální pozice, avšak v kroku minulém se prohledávala databáze celá, protože nebylo jinak možné zjistit aktuální pozici. V této části se již využívá zjištěné pozice a je z databáze možných následujících pozic zjišťována možná pozice následující. Tímto se počet prohledávaných pozic sníží z celkového počtu zanesených pozic, kterých bylo 70, na pouhých 9. Přičemž může nastat, že není vždy možné pohybovat se o dvě sousední pole do všech čtyř směrů. V cestě doprava a doleva může být pouze zeď a tudíž je možné se pohnout jen dopředu či dozadu. Tím je opět snížen počet možných následujících pozic na 5.

Při opětovném stisknutí tlačítka „On/Off“ pokud byl předchozí stav nastaven na vyhledávání pozic, se vyhledávání vypne a aplikace je ve stejném stavu jako při prvním spuštění. Při opětovném spuštění vyhledávání, se s pozicí, která byla zjištěna jako poslední, před vypnutím, již nepočítá. Aplikace nemá možnost zjistit, jakým směrem se během tohoto času uživatel pohyboval. Tudíž je při opětovném spuštění znovu prohledána celá databáze hodnot a až pomocí této zjištěné polohy se průběžně zjišťuje aktuální poloha.

8.3 Návrh loga pro vytvořenou aplikaci

Všechny aplikace, které jsou vytvořeny pro systém Androidu, mají implicitně nastavené stejné logo, kterým je logo zeleného panáčka. Proto by bylo vhodné vytvořit logo, pod kterým by se tato aplikace prezentovala. Všechny vytvořené aplikace je totiž možné distribuovat mezi uživatele pomocí internetového obchodu Android Market, který je pro tyto příležitosti zřízen a u každé aplikace je zobrazeno jeho logo.

Jelikož se jedná o lokalizaci uživatele, tak základním prvkem v logu by mělo být něco spojené s navigací. Takovýmto prvkem by mohla být například obrazovka radaru. Jelikož se jedná o aplikaci, která je navržena pro lokalizaci v budově Univerzity Pardubice, tudíž by mělo být součástí také její logo. A v neposlední řadě by zde mělo být zdůrazněno, že aplikace vznikla na Fakultě elektrotechniky, tudíž je logo vyvedeno v barvě této fakulty.



Obrázek 37 - logo aplikace pro navigaci

9 Měření útlumu překážky

Součástí diplomové práce bylo i změření hodnoty útlumu skrz překážku a porovnání hodnoty s hodnotou z měření v budově.



Obrázek 38 - signální generátor Rohde & Schwarz SMC100A

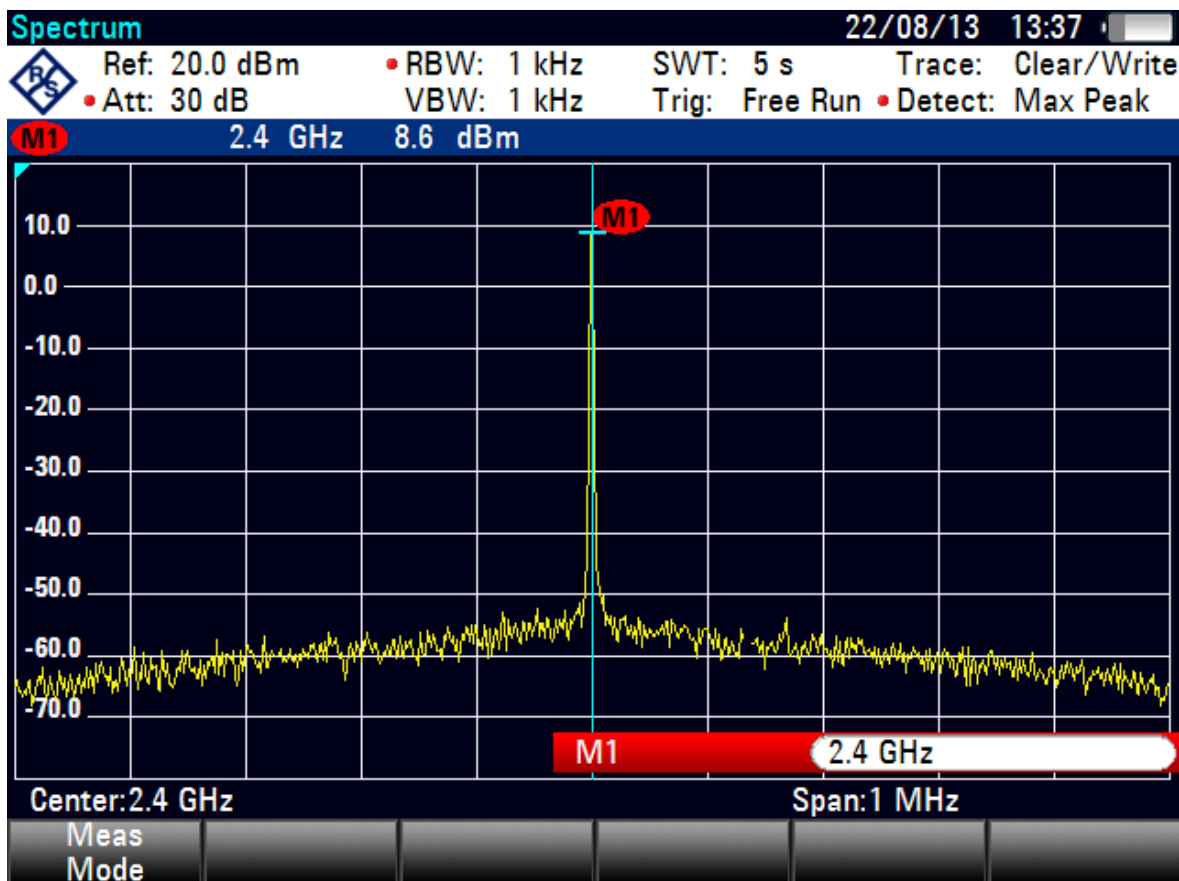
Pro toto měření byly použity dvě antény použitelné na frekvenci 2,4 GHz, signální generátor pro nastavení velikosti vstupního signálu a spektrální analyzátor na zjištění přijímaných hodnot.

Před vlastním měřením bylo nutné zjistit, jaký útlum do cesty vloží připojené vodiče. Pomocí tohoto údaje zjistíme, jak velký výkon je dodáván do vysílací antény. Poté se měřil útlum skrz pevnou překážku na určité vzdálenosti a útlum při stejné vzdálenosti bez překážky. Porovnáním těchto dvou hodnot bylo poté zjištěno, jak velký útlum vkládala překážka do cesty.



Obrázek 39 - spektrální analyzátor Rohde & Schwarz FSH8

Nejprve bylo tedy nutné zjistit, jak velký útlum nám do cesty vloží připojené vodiče. Za tímto účelem byl připojen signální generátor pomocí použitého vodiče se spektrálním analyzátozem a tím byla zjištěna hodnota, o kterou se sníží výkon signálu procházející vodičem. Na generátoru byl nastaven signál na kmitočtu 2,4 GHz a vysílaný výkon 10dBm. Výkon, který byl přijat spektrálním analyzátozem, byl 8,6dBm. Z toho vyplývá, že vodič nám snížil výkon o 1,4dBm.



Obrázek 40 - spektrum signálu měřeného na spektrálním analyzátoru

Poté bylo sestaveno pracoviště na měření útlumu skrz překážku a zjištěny hodnoty, z kterých bylo nutné vypočítat výsledný útlum. Výpočet útlumu byl odvozen z radiokomunikační rovnice. Parametry, které byly známy a byly nutné dosadit do výpočtu, byly zisky antén, vysílaný a přijímaný výkon, vzdálenost a vlnová délka. V následujícím vztahu je napsána radiokomunikační rovnice.

$$P_P = P_V \cdot G_V \cdot G_P \cdot \frac{1}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\lambda}{4\pi} \cdot L(d) \quad (9.1)$$

Upravený vztah pro výpočet útlumu:

$$L(d) = P_V \cdot G_V \cdot G_P \cdot \frac{1}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \frac{1}{P_P} \quad (9.2)$$

P_P – výkon přijatý = -21,1 dBm

P_V – výkon vysílaný = 8,6 dBm

R - vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem = 1,35m

L – vlnová délka na 2,4 GHz = 0,125m

G_V, G_P – zisky vysílací a přijímací antény = 16,5 dBi

Vzorec pro útlum je zadán v poměrných jednotkách, tudíž bylo nutné hodnoty v decibelech převést na poměrné jednotky. Z tohoto údaje bylo zjištěno, že při vzdálenosti 1,35m mezi kterou je překážka, která zde byla tvořena zdí o šířce 62cm, je výsledný útlum

-17,44 dBm. Na následujících obrázcích je zobrazeno měřicí pracoviště pro měření útlum skrz překážku, v tomto případě zeď.



Obrázek 41 - pracoviště pro měření útlum skrz překážku

V další části měření bylo změřeno, jak velký útlum vznikne mezi vysílačem a přijímačem, pokud se mezi nimi nenachází žádná překážka. Vzdálenost mezi oběma anténami byla stejná jako v předchozím případě, 135cm. Po výpočtu této hodnoty útlumu již snadno zjistíme, jak velký útlum vložila do cesty zeď o šířce 62cm. Vzorec pro výpočet je stejný jako v předchozím případě a hodnota, kterou bylo nutné zjistit, byla přijímaný výkon. Velikost přijímaného výkonu v tomto případě byla -13,7 dBm. Výpočtem z radiokomunikační rovnice bylo zjištěno, že útlum bez překážky činí -10,04 dBm. Výsledný útlum, který nám tedy vkládá zeď o zadané tloušťce do cesty je 7,4 dBm.



Obrázek 42 - pracoviště pro měření útlum bez překážky

Při měření hodnot, které byly získávány pro účely lokalizace polohy, byla zjištěna hodnota útlumu, kterou do cesty vkládala překážka (zeď). Tato hodnota se pohybovala okolo 7 dBm. Tento údaj však není tak přesný, jako při laboratorním měření, protože hodnoty, pomocí nichž byl tento útlum zjištěn, byly průměrovány a je možné, že hodnota by se mohla mírně lišit.

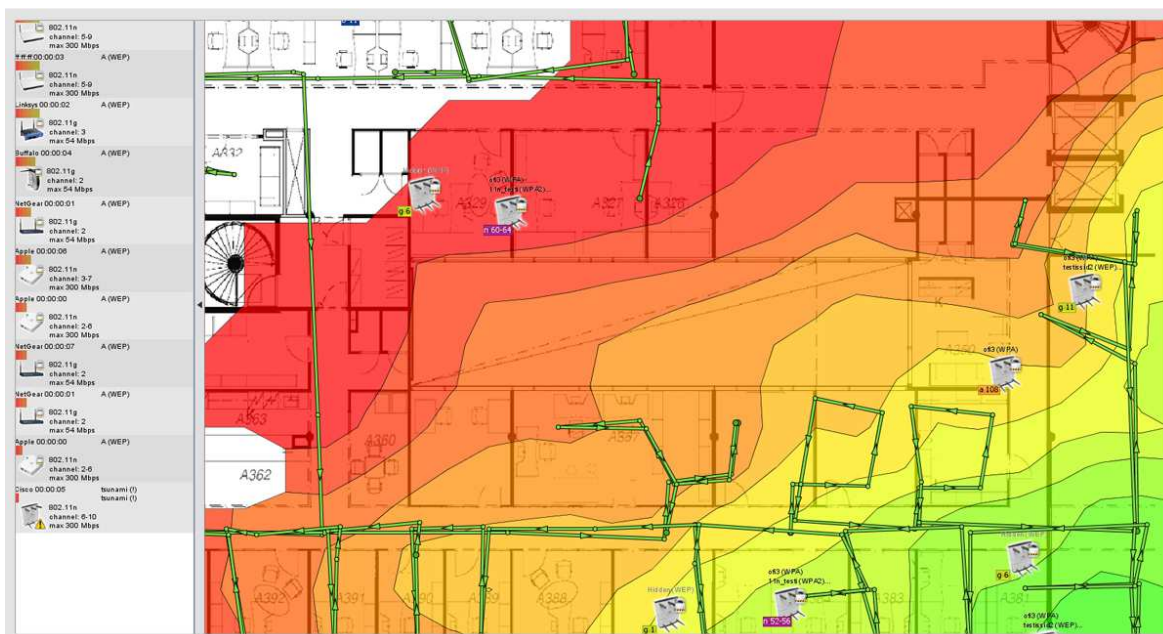
10 Software pro zjištění pokrytí vnitřních prostor

Pro zjištění jaká je situace pokrytí signálu v budově, existují softwary, které dovedou zobrazit jaká je situace s pokrytím v okolních prostorech.

10.1 Ekahau HeatMapper

Do tohoto softwaru je možné nahrát libovolnou mapu, která je v běžně používaných formátech, jako jsou jpeg nebo png. Poté se do mapy zadá, kde se nacházejí vysílače, které jsou momentálně v dosahu. Tento software je vhodné použít v notebooku, protože pozice vzdálené od vysílače jsou zaznamenávány na principu aktuální síly signálu. Tudiž je nutné na mapě zadávat pozice, kde se právě notebook nachází a program si zapíše hodnoty sil signálů. Takto lze projít celou budovu a výsledkem je poté mapa výkonové úrovně signálu.

Tento software je vhodné použít pro zjištění aktuálního stavu, který může naznačit, kde je vyzařovaného výkonu mnoho a kam se signál naopak vůbec nedostane. Poté stačí jen změnit pozici vysílače a znovu proměřit. Software je možné si stáhnout ve free verzi, ale ta je omezená na 15 minut záznamu.

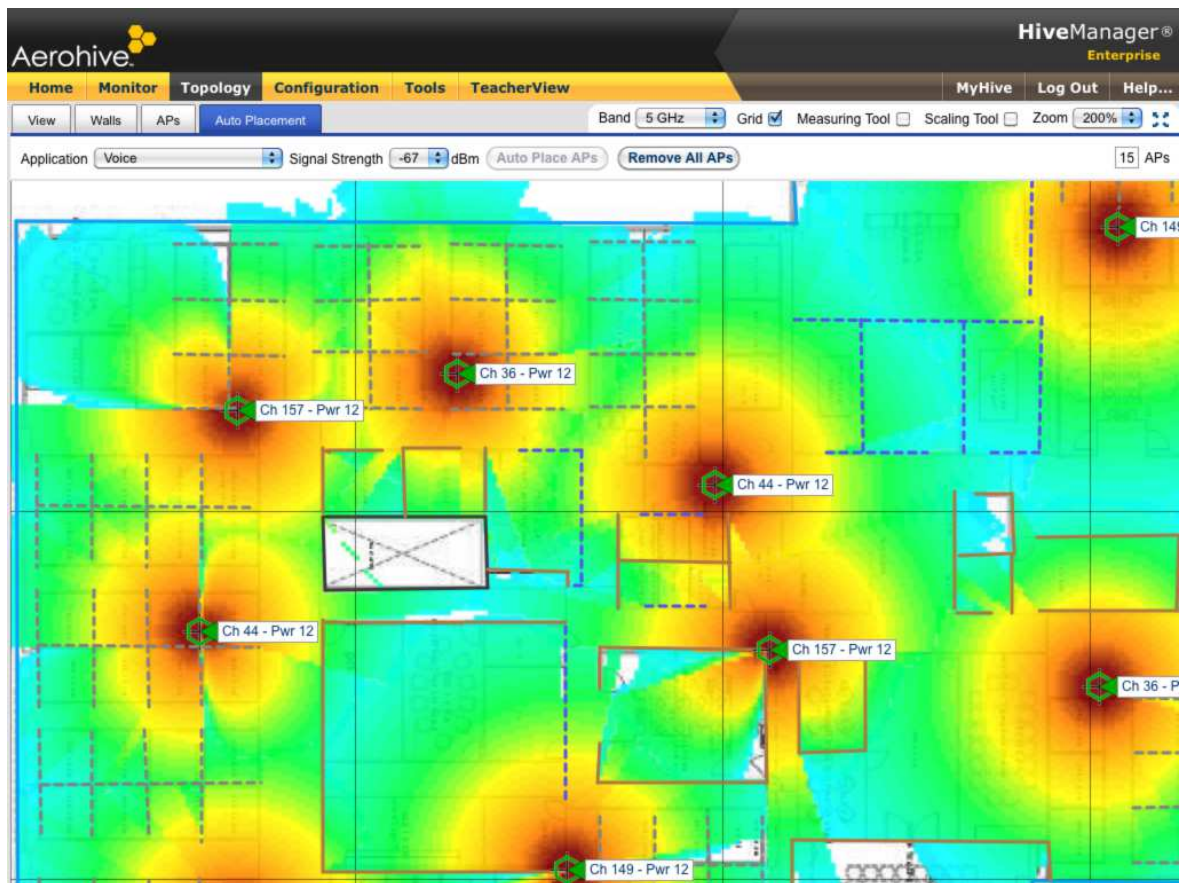


Obrázek 43 - plánovací software Ekahau Heatmapper [9]

10.2 Aerohave HiveManager OnlinePlanner

Jedná se o další software, pomocí kterého je možné zjistit situaci s rozložením výkonu v interiérech. Zde se ale jedná pouze o modelový případ. V aplikaci si uživatel navrhne svůj interiér, přičemž je důležité správně zvolit parametry jednotlivých překážek, jako jsou dveře, stěny nebo okna. Pokud je interiér navrhnout, je dále nutné nastavit parametry vysílače.

Software je opět volně přístupný. Je však nutná registrace před prvním použitím tohoto softwaru na stránkách výrobce, registrace je platná po dobu 60 dní. Je to vhodný nástroj, pokud síť ještě není nainstalována a umožňuje tak pohled na to jak bude vypadat pokrytí signálem v budově.



Obrázek 44 - plánovací software Aerohave HiveManager OnlinePlanner [10]

Závěr

Po proměření dostupnosti signálu, byla aplikace vyznačující aktuální polohu vytvořena pouze pro první patro Fakulty elektrotechniky a informatiky. Pro ostatní patra nebyl dostatečný počet přijímaných signálů. Přičemž by bylo možné zkusit realizovat měření ve čtvrtém patře, kde byla dostupnost signálu vyhodnocena také jako dostačující, ale po podrobném měření by se toto tvrzení muselo ještě potvrdit. Jediným nedostatkem při proměřování prvního patra byl signál, který byl přijímán v učebně PC 101. Zde byl k dispozici pouze signál z AP, které je umístěno v této místnosti a velmi slabě se zde také nacházel signál z respiria. Z hlediska dostupnosti signálu v budově pro účely lokalizace uživatele bych doporučil přemístit AP, které jsou v okrajových místnostech budovy více ke středu, např. do vedlejší učebny. Jedná se o AP nacházející se blízko hlavního vchodu do budovy (v učebně PC 101) a AP nacházející se v blízkosti únikového východu na opačné straně budovy (v učebně NET 102). Signály z těchto vysílačů vyzařují signál zbytečně do částí, v kterých by se uživatel pohyboval jen velmi zřídka nebo v částech které jsou mimo tuto budovu. Dále by bylo vhodné přemístit jeden vysílač, z učeben EL 101 nebo EL 102, do jiné části budovy. Nejvhodnější by bylo přemístění blíže k učebně PC 101, čímž by došlo k posílení signálu v okolí této učebny. Doporučené rozmístění by tedy mohlo být tvořeno těmito 5 vysílači, avšak umístěných v jiných učebnách. Vysílače z učebny EL 101 a respiria jsou umístěny vhodně a bylo by vhodné přemístit zbylé tři do učeben PC 102, PL 101 a PC 105. Tímto rozvržením by se mělo docílit lepší dostupnosti signálu v hlavních frekventovaných pozicích na prvním patře.

Aplikace je připravena pro reálné použití a po minimálních úpravách by ji bylo možné využít i pro jiné objekty, které by byly proměřeny. Aplikace využívá soubory, které jsou v zařízení nahrány na externím úložišti (SD karta). Momentálně bude aplikace fungovat i při doplnění nových hodnot zadaných do databáze. Obrazový podklad mapy je taktéž do aplikace nahráván z externího místa, takže by neměl být problém např. při nahrání kvalitnějšího obrazového podkladu a při nastavení správných souřadnic jednotlivých bodů, aplikaci spustit a používat. Samozřejmě je dále možné aplikaci nadále rozšiřovat o další služby, které by uživatel využil. Např. se může jednat o přepnutí se do textové databáze všech tříd na určitém podlaží, ve kterém by se např. uživatel nacházel a k jednotlivým učebnám připojit rozvrhy místností. Další možností jak aplikaci vylepšit by bylo vyhledávání nejkratší trasy k zadanému bodu. Směr trasy by se mohl na mapě vyznačovat rozdílnou barvou bodů, které by označovaly směr, jakým by se měl uživatel ubírat.

Poslední praktická část diplomové práce byla zaměřena na laboratorní měření útlumu signálu skrz pevnou překážku. Tato překážka byla přibližně stejně silná jako zeď mezi učebnami PC 105 a EL 102. Výsledné měření téměř odpovídalo naměřeným hodnotám, které byly zjištěny pro účely lokalizace uživatele v budově. Výsledky však nemohou být naprosto stejné, protože hodnoty získané při lokalizaci byly zprůměrovány z důvodu omezení vlivu natočení uživatele, který není vždy ve stejném směru, jako se nachází vysílač.

Aktuální pokrytí signálu v budově je možné si vyzkoušet zmapovat pomocí softwarů, které byly zmíněny v poslední kapitole. Jeden software je vhodný pro zjištění aktuální stávající situace a druhý je vhodný pro zjištění jaké by mohlo být pokrytí při určitém rozmístění vysílačů, avšak reálné uspořádání nakonec nemusí odpovídat navrhovanému řešení, protože do programu je nutné zadávat rozložení prvků, které tvoří útlum v budově. Pokud by se tedy špatně nastavil některý z těchto prvků, došlo by ke zkreslení. Také se v budově může nacházet i nějaký prvek, který by mohl signál odrážet do místa, kde bychom ho nečekali.

Literatura

- [1] **KUBÁNEK, J.** *Software pro určování polohy mobilního zařízení*. FEI, 2011.
- [2] **PECHAČ, Pavel; ZVÁNOVEC, Stanislav.** *Základy šíření vln pro plánování pozemních radiových spojů*. Praha: 1. vydání, BEN - technická literatura, 2007. 199 s. ISBN 978-80-7300-223-7
- [3] **ŽALUD, Václav.** *Moderní radiotechnika*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 767 s. ISBN 80-7300-132-2
- [4] **PECHAČ, Pavel.** *Šíření vln v zástavbě*. Praha: 1. vydání, BEN - technická literatura, 2005. 108 s. ISBN 80-7300-186-1
- [5] **CDR** [online]. *Android má 75% podíl na trhu se smartphony, Windows Phone se vyhoupl na třetí místo*, 2013. [cit. 25. 8. 2013]. Dostupné na <<http://cdr.cz/clanek/android-ma-75-podil-na-trhu-se-smartphony>>
- [6] **ALLEN, Grant.** *Android 4 - průvodce programováním mobilních aplikací*. Brno: 1. vydání, Computer Press, 2013. 656 s. ISBN 978-80-251-3782-6
- [7] **UJBÁNYAI, Miroslav.** *Programujeme pro Android*. Praha: 1. vydání, Grada Publishing a.s., 2012. 192 s. ISBN 978-80-247-3995-3
- [8] **SCHILDT, Herbert.** *Java 7*. Brno: 1. vydání, Computer Press, 2012. 664 s. ISBN 978-80-251-3748-2
- [9] **ekahau** [online] *Ekahau Heatmapper* [cit. 26. 8. 2013]. Dostupné na <<http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-heatmapper#!overview-0>>
- [10] **Aerohive NETWORKS** [online] *HiveManager Online Network Management* [cit. 26. 8. 2013]. Dostupné na <<http://www.aerohive.com/products/cloud-services-platform/hivemanager-online>>
- [11] **SEYBOLD, S. John.** *Introduction to RF propagation*. USA: John Wiley & Sons, 2005. 352 s. ISBN 978-0-471-65596-1

Příloha A – Databáze hodnot sil signálů

bod	X	Y	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
1	700	425	-80	-36	-54	-67	-87
2	735	425	-90	-35	-55	-68	-88
3	735	450	-89	-32	-55	-70	-84
4	700	450	-85	-33	-55	-68	-84
5	735	485	-75	-43	-49	-71	-84
6	700	485	-75	-42	-54	-71	-85
7	675	485	-75	-42	-63	-69	-90
8	635	485	-75	-51	-70	-67	-90
9	590	485	-74	-57	-76	-64	-90
10	555	485	-73	-62	-74	-68	-90
11	515	485	-68	-67	-77	-74	-90
12	470	485	-67	-69	-77	-77	-90
13	440	485	-64	-72	-79	-79	-90
14	400	485	-62	-70	-77	-85	-90
15	360	485	-55	-72	-78	-87	-90
16	320	485	-52	-71	-78	-87	-90
17	290	485	-41	-71	-81	-83	-90
18	260	485	-49	-77	-85	-90	-90
19	675	450	-84	-43	-60	-61	-90
20	675	420	-90	-40	-60	-60	-90
21	675	365	-90	-54	-52	-52	-89
22	675	320	-90	-60	-37	-41	-84
23	675	290	-90	-63	-48	-48	-83
24	675	255	-90	-71	-57	-58	-69
25	675	215	-90	-79	-70	-70	-60
26	675	175	-90	-88	-73	-73	-60
27	675	135	-90	-88	-76	-75	-57
28	675	110	-90	-90	-77	-76	-50
29	675	65	-90	-90	-77	-79	-41
30	675	30	-90	-90	-88	-78	-48
31	645	320	-90	-67	-51	-31	-79
32	615	320	-90	-67	-52	-34	-78
33	645	365	-90	-59	-58	-40	-90
34	615	365	-90	-61	-60	-42	-88
35	700	320	-90	-53	-32	-51	-75
36	735	320	-90	-54	-33	-54	-77
37	700	365	-90	-46	-40	-56	-78
38	735	365	-90	-55	-40	-61	-78
39	700	65	-90	-80	-75	-81	-32
40	735	65	-90	-86	-75	-83	-31
41	700	110	-90	-80	-69	-80	-41

bod	X	Y	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
42	735	110	-90	-78	-72	-79	-36
43	700	150	-90	-79	-64	-77	-53
44	735	150	-90	-78	-65	-75	-51
45	700	200	-90	-76	-59	-71	-55
46	735	200	-90	-79	-61	-74	-56
47	635	520	-74	-61	-75	-74	-90
48	635	545	-78	-59	-73	-77	-90
49	675	545	-75	-57	-70	-77	-90
50	675	520	-75	-54	-65	-74	-90
51	555	450	-78	-59	-75	-65	-90
52	555	420	-82	-60	-73	-60	-90
53	590	420	-80	-59	-70	-52	-90
54	590	450	-79	-55	-73	-53	-90
55	515	520	-63	-76	-87	-75	-90
56	515	545	-67	-74	-80	-75	-90
57	555	545	-72	-73	-78	-74	-90
58	555	520	-72	-73	-78	-74	-90
59	400	520	-50	-81	-81	-82	-90
60	400	545	-55	-80	-90	-90	-90
61	440	545	-54	-82	-90	-86	-90
62	440	520	-59	-79	-90	-80	-90
63	280	520	-30	-83	-90	-90	-90
64	280	545	-32	-82	-90	-90	-90
65	340	545	-43	-87	-90	-90	-90
66	540	520	-36	-89	-90	-90	-90
67	645	150	-90	-90	-77	-64	-61
68	615	150	-90	-88	-76	-65	-63
69	645	200	-90	-81	-72	-61	-68
70	615	200	-90	-80	-70	-59	-66