

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Software pro určování polohy mobilního zařízení

Bc. Jan Kubánek

Diplomová práce

2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Kubánek**
Osobní číslo: **I09370**
Studijní program: **N2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Software pro určování polohy mobilního zařízení**
Zadávatel katedra: **Katedra softwarových technologií**

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

Cílem práce je navrhnout matematický algoritmus pro určování polohy a implementovat ho do mobilního zařízení typu PDA nebo mobilního telefonu. Teoretická část práce bude obsahovat přehled dostupných postupů pro určení polohy zařízení Wi-Fi pomocí bezdrátové sítě standardu 802.11. Pomocí softwarového modelu bude prokázána očekávaná chybovost systému založeného na měření výkonových úrovní a navržen bude postup pro statistické vyhodnocení měřených parametrů sítě (výkon signálu, dostupná přenosová rychlost atd.). Určování polohy bude založeno na znalosti rozmístění přístupových bodů bezdrátové WiFi sítě ve známém prostředí uvnitř rozsáhlé budovy se známými mapovými podklady pro vybraná podlaží. Mobilní zařízení musí disponovat vlastním operačním systémem a podporou technologie 802.11g. Vytvořená aplikace bude pracovat v reálném čase a bude umožňovat zobrazování textových informací ve spojitosti s určenou polohou, případně i polohu mobilního zařízení v mapě.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

www.ekahau.com Šafařík, J., Určování polohy WiFi zařízení, diplomová práce, FEI UPCE, 2010 Sharp, J., Microsoft Visual C2008 krok za krokem, ComputerPress, 2008, ISBN 978-80-251-2027-9 Boling, D., Programming Windows Mobile Devices, MicrosoftPress, 2009

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Šilar
Katedra informačních technologií

Datum zadání diplomové práce: **27. října 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2011**


prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

L.S.


prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. listopadu 2010

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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. 2011.

Jan Kubánek

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Zdeňku Šilarovi za rady a čas věnovaný během práce.

Anotace

Práce se zabývá určováním polohy ve vnitřních prostorech, především pomocí technologie 802.11 a metodou RSSI. Praktická část je věnována popisu vlastní aplikace, nejvíce použitelným algoritmům a dále otestování vybraných metod.

Klíčová slova

Určení polohy, RSSI, síla signálu, přístupový bod, WiFi

Title

Software for localization to the mobile device

Annotation

This thesis deals with indoor location, especially using 802.11 technology and using RSSI. The practical part is devoted to describing software application and most used algorithms and to test selected methods.

Keywords

Location, RSSI, signal strength, Access Point, WiFi

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	10
Seznam zkratek	11
1 Úvod	12
2 Systémy pro určování polohy	13
2.1 Kategorizace systémů určování polohy	13
2.1.1 Princip určení polohy	13
2.1.2 Používaný signál	15
2.2 Bezdrátové systémy	16
2.2.1 GSM	16
2.2.2 GPS	16
2.2.3 Systémy využívající WiFi infrastrukturu	17
2.2.4 Bluetooth	17
2.2.5 RFID	18
3 Technologie 802.11	19
3.1 802.11a	19
3.2 802.11b	19
3.3 802.11g	20
3.4 802.11n	21
4 Současné systémy určování polohy v 802.11 a 2,4 GHz	22
4.1 RTLS	22
4.1.1 RTLS dle infrastruktury	22
4.2 Metody určení polohy v 802.11	22
4.2.1 Identifikace buňky v 802.11	23
4.2.2 RSSI (Received Signal Strength Indication)	23
5 Popis existujících systémů	25
5.1 Ekahau RTLS	25
5.1.1 Architektura Ekahau RTLS	25
5.1.2 Využití Ekahau RTLS	25
5.1.3 Komponenty Ekahau	26
5.1.4 Parametry systému	27
5.1.5 Algoritmus v Ekahau	27
5.1.6 Požadavky na systém	28
5.2 Westico Visibility System	28
5.2.1 Princip systému	28
5.2.2 Topologie systému	28
5.2.3 Vlastnosti systému	29
5.2.4 Westico tagy	29
5.2.5 Využitelná platforma	30
6 Mobilní zařízení	31
6.1 Mobilní telefony a smartphony	31
6.1.1 Mobilní telefony	31
6.1.2 Smartphony	31
6.2 PDA	32
6.3 Vývoj aplikací pro mobilní zařízení	32
6.3.1 Android	32
6.3.2 Symbian	33
6.3.3 Windows Mobile	34
6.3.4 Windows Phone	34
7 Návrh systému pro určení polohy do mobilního zařízení	36

7.1	Cílové zařízení	36
7.2	Mapové podklady	36
7.3	Přístupové body	36
7.3.1	Rozmístění přístupových bodů.....	36
7.3.2	Vybrané přístupové body	37
7.3.3	Výkon přístupových bodů.....	37
8	Vlastní aplikace	38
8.1	Požadavky na systém	38
8.1.1	Hlavní požadavky	38
8.1.2	Další požadavky	38
8.2	Prostředky pro vývoj.....	38
8.2.1	Vývojové prostředí.....	38
8.2.2	Popis využitých struktur a tříd jazyka C#	39
8.2.3	Reálné zařízení.....	40
8.3	Prostředí pro testování	41
8.3.1	Mapa testovacího prostředí	41
8.3.2	Vybrané přístupové body	41
8.3.3	Proměřená místa.....	42
9	Měření signálů.....	43
9.1	Přístupové body	43
9.1.1	AP1 – Respirium.....	43
9.1.2	AP2 – PC102.....	44
9.1.3	AP3 – EL101.....	45
9.2	Signály proměřených míst	47
9.3	Měření vybraného místa	48
9.4	Změna sklonu křivky	48
10	Popis vytvořeného systému	50
10.1	Architektura aplikace.....	50
10.1.1	Popis hlavních tříd	50
10.2	Funkce systému	51
10.2.1	Měření signálů.....	51
10.2.2	Metody určování polohy založené na korelaci prostředí	52
10.2.3	Metody určování polohy založené na modelování signálů	55
10.3	Užívání systému.....	57
10.3.1	Konfigurační fáze.....	57
10.3.2	Uživatelská fáze	58
11	Reálné měření.....	59
11.1	Naměřené hodnoty signálů pro testování.....	59
11.2	Měření ze všech míst pomocí korelace prostředí.....	60
11.2.1	Poloha ze všech míst	60
11.2.2	Poloha ze všech míst + váhy signálů.....	60
11.2.3	Poloha ze všech míst váhově.....	61
11.2.4	Poloha ze všech míst váhově + váhy signálů	62
11.2.5	Vyhodnocení chyb měření ze všech míst.....	63
11.3	Měření z okolních míst pomocí korelace prostředí.....	64
11.3.1	Poloha z okolí váhově	64
11.3.2	Poloha z okolí váhově + signály vahami.....	65
11.3.3	Vyhodnocení chyb a měření z okolních míst.....	66
11.4	Měření pomocí modelování signálů	66
11.4.1	Poloha ze všech bodů matice	66
11.4.2	Závěr z měření modelováním signálů	68
11.5	Zpřesnění výsledné polohy	68
11.5.1	Rozmístění / přidání přístupových bodů	68

11.5.2 Zpřesnění měření.....	69
11.5.3 Algoritmus	69
11.5.4 Rozpoznávání prostředí.....	69
12 Závěr	70
Zdroje informací.....	72
Seznam příloh	74

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mobilní zařízení s navigačním softwarem.....	14
Obrázek 2: Zjednodušený příklad radaru.....	14
Obrázek 3: Princip kombinované metody určení polohy.....	15
Obrázek 4: Překrývání kanálů na frekvenci 2,4 GHz.....	20
Obrázek 5: Efektivní rozložení kanálů v 802.11b, g.....	21
Obrázek 6: Architektura Ekahau[11].....	25
Obrázek 7: Topologie Westico Visibily System.....	29
Obrázek 8: Architektura systému Android.....	33
Obrázek 9: Mobil s OS Windows Mobile.....	34
Obrázek 10: Windows Phone.....	35
Obrázek 11: Vývojové prostředí a emulátor.....	39
Obrázek 12: MIO P560.....	40
Obrázek 13: Testované prostředí.....	41
Obrázek 14: Průběh signálu u AP1.....	43
Obrázek 15: Závislost signálu AP1 na vzdálenosti.....	44
Obrázek 16: Průběh signálu u AP2.....	44
Obrázek 17: Závislost signálu AP2 na vzdálenosti.....	45
Obrázek 18: Průběh signálu u AP3.....	45
Obrázek 19: Závislost signálu AP3 na vzdálenosti.....	46
Obrázek 20: Průběh signálů u všech míst.....	47
Obrázek 21: Průběh signálu u místa 18.....	48
Obrázek 22: Ukázka změny signálu.....	49
Obrázek 23: Diagramy tříd Mapamist a MaticeSignalu.....	51
Obrázek 24: Signál pro modely šíření vln.....	56
Obrázek 25: Ukázka aplikace.....	58
Obrázek 26: Rozdíly hodnot signálů míst mezi uloženými a testovacími.....	59
Obrázek 27: Přesnost modelování signálů na začátku chodby.....	66
Obrázek 28: Přesnost modelování signálů okolo AP2.....	67
Obrázek 29: Přesnost modelování signálů okolo učeben PC103, PC104, PC105.....	67
Obrázek 30: Přesnost modelování signálů okolo respiria.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled standardů IEEE 802.11 [7].....	19
Tabulka 2: Kanály s frekvencemi 802.11g [7] [8].....	20
Tabulka 3: Technické parametry Westico Visibily System [17].....	30
Tabulka 4: Porovnání hodnot signálů AP.....	47
Tabulka 5: Příklad využití váhování signálů.....	54
Tabulka 6: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst.....	60
Tabulka 7: Přesnost korelační metody ze všech míst.....	60
Tabulka 8: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst za použití vah signálů.....	60
Tabulka 9: Přesnost korelační metody ze všech míst s váhy signálů.....	61
Tabulka 10: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst váhově.....	61
Tabulka 11: Přesnost korelační metody ze všech míst váhově.....	62
Tabulka 12: Výsledky korelační metody všech míst váhově s váhováním signálů.....	62
Tabulka 13: Přesnost korelační metody ze všech míst váhově s váhováním signálů.....	63
Tabulka 14: Výsledky měření korelační metodou okolních míst váhově.....	64
Tabulka 15: Přesnost korelační metody z okolních míst váhově.....	65
Tabulka 16: Výsledky měření korelační metodou okolních míst váhově + váhy signálů.....	65
Tabulka 17: Přesnost korelační metody z okolních míst váhově + váhy signálů.....	65

Seznam zkratek

API	Application Programming Interface
BPSK	BiPhase Shift Keying
CCK	Complementary Code Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EPE	Ekahau Positioning Engine
ERC	Ekahau RTLS Controller
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GUI	Graphics User Interface
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial Scientific and Medical
LINQ	Language Integrated Query
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple-Input multiple-Output
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OS	Operační systém
PDA	Personal Digital Assistant
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RFID	Radio Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indication
RTLS	Real Time Locating System
SDK	Software Development Kit
SIM	Subscriber Identity Module
SQL	Structured Query Language
TDoA	Time Difference of Arrival
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UWB	Ultra Wide Band
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	WiFi Protected Access
XNA	Xbox New Architecture

1 Úvod

Určováním polohy se lidstvo zabývá od nepaměti, ať už jde o polohu vlastní nebo umístění cizích osob a předmětů. K určení polohy lze využít pomoci různých objektů. V dobách minulých se k tomu využívalo nebeských objektů (hvězdy, planety), až se přešlo na objekty umělé (majáky, později družice).

V dnešní době se k lokalizaci využívá nejvíce rádiových signálů, které slouží jako nosná vlna pro bezdrátový přenos dat. Systémů pro určování polohy je celá řada, s rozkvětem technických možností, ale i s většími pracovními požadavky, se rozvíjí lokalizační systémy pro využití ve vnitřních prostorech.

Tato práce se věnuje hlavně systémům pro vnitřní prostředí (budovy, areály) využívající rádiového přenosu dat v pásmu 2,4 GHz. První kapitoly jsou věnovány obecně systémům pro určování polohy, jejich rozdělení a principu. Detailněji jsou popsány systémy využívající technologii 802.11, které je věnovaná samostatná kapitola.

Cílem práce je navrhnout algoritmus určující polohu ve vnitřním prostředí a implementovat ho do mobilního zařízení typu PDA nebo mobilního telefonu. Návrh takového systému je popsán ve vlastní kapitole, stejně tak mobilní zařízení. Hlavní část práce je věnována vytvořené aplikaci, je popsáno prostředí pro testování, proměření signálů přístupových bodů a detailně vytvořené algoritmy. V poslední kapitole jsou vyhodnoceny výsledky a uvedeny možné přesnosti pro vybrané algoritmy a možná vylepšení.

2 Systémy pro určování polohy

S rostoucími technickými možnostmi, s čím dál větší potřebou být mobilní, s požadavky na stále větší efektivitu práce a dalšími nároky, je využití systémů pro určování polohy stále častější a nutnější v nejrůznějších oblastech.

Systémů pro určování polohy je již v dnešní době mnoho. Tyto systémy, podobně jako většina technických vynálezů, byly původně navrženy pro potřeby armády a až poté se začalo uvažovat o jiných účelech. Stejně tak neměly tyto systémy v počátcích vysokou přesnost a rychlost, jak jsou známé z dnešní doby, ale vývoj i v tomto odvětví šel rychle kupředu.

V současnosti je již běžné, že většina mobilních zařízení typu PDA a mobilního telefonu jsou schopny zpracovávat GPS signál a jím určenou polohu.

S příchodem technologií, jako např. WiFi, ale i s využitím již zaběhlých, se rozšiřuje využití systémů pro určování polohy v budovách, skladech a podobných prostorách. Tyto systémy jsou určeny pro sledování lidí, dopravních prostředků a jiných objektů.

2.1 Kategorizace systémů určování polohy

Systémy pro určování polohy by se daly rozdělit do několika kategorií, např. podle používaného signálu, principů určení polohy, využívané infrastruktury a dalších vlastností.

2.1.1 Princip určení polohy

Na následujících řádkách je rozdělení podle principu určení polohy zařízení a následného využití určené polohy. Existují tři možnosti: určení vlastní polohy, určení polohy cizí a kombinace metod.

Lokalizace pomocí mobilního zařízení

Určuje se poloha vlastního zařízení ve známém prostředí. Poloha se může zobrazit graficky nebo jen textově. Zařízení na tomto principu pracují samostatně, to znamená, že nepotřebují žádné jiné přístroje k výpočtům a jiným operacím. K určení polohy může aparát např. využít signály přístupových bodů WiFi sítě nebo rádiových signálů.

Typickým příkladem této metody je navigace v mobilních zařízeních, kde na displeji je zobrazena mapa s polohou objektu v okolí.

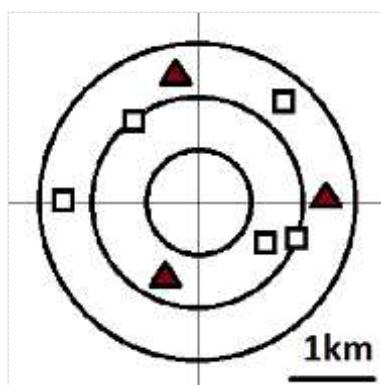


Obrázek 1: Mobilní zařízení s navigačním softwarem

Lokalizace pomocí sítě

Zařízení v prostoru slouží jen pro "označení" objektu, výrobku apod., jeho polohu určuje server. Zařízení pošle potřebné informace serveru nebo si je server stáhne sám, server vyřeší polohu objektu a případně ji zobrazí na monitoru, uloží pro další zpracování nebo pošle uživateli pro jiné možné využití.

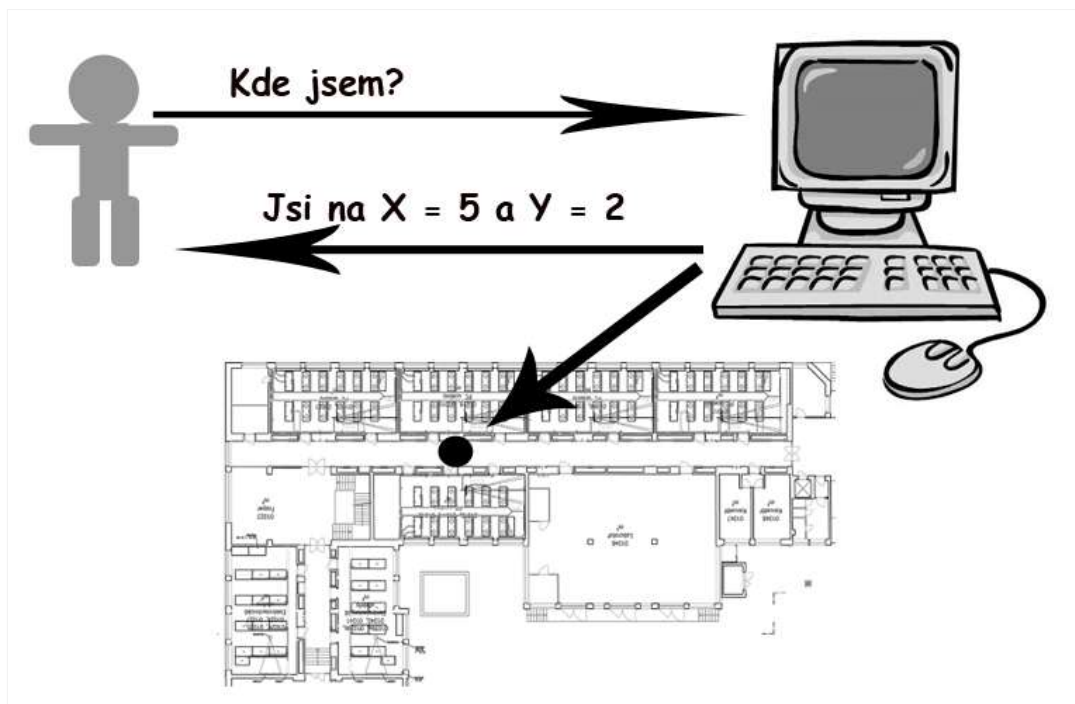
Příkladem těchto metod můžou být zařízení využívající principu radarů, kde jsou na mapce vyobrazeny objekty pohybující se v pokrytém prostoru.



Obrázek 2: Zjednodušený příklad radaru

Kombinovaná metoda

Používá se také kombinace předchozích dvou metod. Server ze získaných informací získá polohu a pošle ji zpět přístroji, který ji zobrazí na mapu nebo vypíše. Přestože je zde zřejmá nevýhoda někdy zbytečného přenosu dat "tam a zpět", ve správném použití je tato technika výhodná. V případě, že se chce sledovat velké množství objektů, bylo by finančně neúnosné vybavit každý objekt sledovacím zařízením. Dalším důvodem aplikování tohoto postupu je také daleko větší výkon desktopových strojů, takže se výsledná poloha může vypočítat rychleji. Princip této metody je zobrazen na obrázku níže.



Obrázek 3: Princip kombinované metody určení polohy

2.1.2 Používaný signál

Infračervený signál

Infračervené paprsky jsou pro člověka neviditelné elektromagnetické vlnění. Rozlišují se krátké, střední a dlouhé vlny záření. Infračervené paprsky se šíří rychlostí světla a mají dosah několik desítek metrů. Prostupnost zdmi je omezená, jejich využívání tedy také.

Ultrazvukový signál

Ultrazvuk je zvuk na prahu lidského slyšení s frekvencemi 20 kHz až 1000 MHz. Zvuk se šíří pomaleji než u infračerveného záření nebo rádiových signálů, a to rychlostí 330 m/s. Při nárazech na překážky se signál odráží, dosah signálu je silně omezen výkonem vysílače. Ultrazvukové vysílače a přijímače jsou laciné, a proto jsou vhodné pro komerční využití.

Rádiový signál

Rádiové vlny představují část elektromagnetického spektra s kmitočty od 75 kHz a 10 GHz a mohou být využívány jako nosné vlny pro bezdrátový přenos dat. K přenosu informace se může využít mnoho druhů modulace, většinou popisovaných jako frekvenční, amplitudové nebo fázové. Rádiový signál ve většině případů prostupuje zdmi, proto se může využívat nejen v uzavřených prostorech [1].

2.2 Bezdrátové systémy

Existuje několik druhů systémů využívajících rádiových signálů, rozdílných v možném využití podle prostředí i výsledné přesnosti.

2.2.1 GSM

Globální Systém pro Mobilní komunikaci je standard pro mobilní telefony, od předcházejících technologií se liší především tím, že signální i hovorové kanály jsou digitální, jedná se tedy o druhou generaci mobilních telefonů, tzv. 2G.

GSM je buňková síť, to znamená, že mobilní telefony se připojují do této sítě s použitím nejbližší buňky. GSM komunikace probíhá na několika rádiových frekvencích. Existují čtyři velikosti buněk, a to makro, mikro, piko a deštníkové buňky. Velikost pokrytého území se liší podle prostředí a záleží na výšce antény, výkonu antény a podmínkách šíření. Velikost pokrytí se pohybuje od několika stovek metrů až po několik desítek kilometrů [2].

Identifikace buňky

Tato metoda se dá aplikovat tam, kde je síť tvořena buňkami, například právě GSM. Umístění přijímače se zjistí ze známé polohy vysílačů a jejich dosahu. Přesnost je přímo úměrná velikosti buňky. Větší přesnosti se dosáhne, pokud se signál přijme od více vysílačů, ještě větší přesnosti se dosáhne, pokud se jednotlivé buňky překrývají. Tato metoda je velice jednoduchá, ale její přesnost není vysoká. Využití této metody lze najít ve venkovních prostorách i v budovách a přesnosti se pohybují v řádech desítek nebo stovek metrů [3].

2.2.2 GPS

Global Positioning System, původně označováno NAVSTAR GPS, je globální družicový polohový systém, provozovaný Ministerstvem obrany USA, s nímž lze určit polohu kdykoliv a kdekoliv na Zemi s přesností do deseti metrů, s použitím dalších metod a rozšíření dokonce s přesností jednotek centimetrů.

Z dnešních globálních družicových polohových systémů, kam dále patří ruský systém GLONASS, systém Evropské unie Galileo nebo čínský Compass, je GPS ve vývoji nejdále a dá se říct, že jako jediný funguje spolehlivě. Uplatnění nalezne zejména v navigaci a sledování různých objektů. Systém se dělí do tří segmentů: kosmického, řídicího a uživatelského.

Kosmický segment

Původně bylo zamýšleno 24 družic, nyní se ale využívá až mezních 32. Družice obíhají ve výšce 20 200 km nad Zemí po šesti kruhových drahách a se sklonem 55°. Jednotlivé dráhy jsou vzájemně posunuty o 60°, na každé z nich je pět nebo šest nepravidelně rozmístěných pozic pro družici. Hlavní části družic jsou tři nebo čtyři velmi

přesné atomové hodiny, několik antén pro vysílání rádiových vln a komunikaci s ostatními družicemi, solární panely a baterie.

Řídící a kontrolní segment

Segment se skládá z několika částí, velitelství, řídicího střediska, tří povelových stanic a 18 monitorovacích stanic. Jeho účel je v monitorování kosmického segmentu, zasílání povelů družicím, provádění jejich manévru a údržbě atomových hodin.

Uživatelský segment

GPS přijímače získávají signály z dohledných družic a na základě těchto dat a parametrů přijímače vypočítají polohu, nadmořskou výšku a přesný datum a čas. Komunikace se koná jen od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní [4].

Time Differece of Arrival

K určení polohy používá GPS metodu rozdílů v časech příchodů signálů (TDoA). Princip této metody vychází ze znalosti rychlosti šíření signálu, která je cca 300km/ms. GPS využívá několika seřazených družic, které ve stejný okamžik vyšlou na Zemi signál. Přijímač potom vypočítá svoji polohu podle toho, s jakým zpožděním signál přijme z jednotlivých družic.

K určení polohy v rovině jsou potřeba tři vysílače, v prostoru čtyři. Díky nim lze stanovit všechny tři souřadnice bodu v prostoru, tedy zeměpisnou délku, zeměpisnou šířku a nadmořskou výšku.

Princip výpočtu pro prostor je následující: Jsou k dispozici čtyři vysílače, tím pádem lze získat šest časových rozdílů ($t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$, $t_4 - t_3$, $t_3 - t_1$, $t_4 - t_2$ a $t_4 - t_1$), z nichž pouze tři jsou nezávislé, tzn. zbývající lze dopočítat. Z rozdílů lze zkonstruovat šest rotačních hyperboloidů protínajících se v jednom bodě v prostoru. Postačí však libovolné tři [5].

2.2.3 Systémy využívající WiFi infrastrukturu

Systémy pro lokalizaci polohy v budovách využívající signálů WiFi nejčastěji určují polohu pomocí RSSI. Metoda vychází z proměření síly signálu radiově viditelných přístupových bodů. Využívá se závislost síly signálu na vzdálenosti od vysílače. Metoda je vhodná pro systémy pracující ve vnitřním prostředí [10].

Přesnost těchto metod se pohybuje v řádech metrů a závisí na několika aspektech. Více se o těchto metodách nachází v kapitole 4.2 [1].

2.2.4 Bluetooth

Bluetooth je technologie prvotně pro snadné připojení periférií a notebooků, která pracuje s rádiovými signály v pásmu 2,4 GHz stejně jako WiFi. Využívá FHSS modulaci, během jedné sekundy se provede 1600 přeladění frekvence, tím se zabrání ztrátě dat při přetížení sítě. Využitelný dosah se pohybuje do deseti metrů.

Bluetooth lze využít i pro určování polohy a představuje laciné a snadné řešení. Každý jednotlivý přístroj s Bluetooth technologií má svoji adresu, kterou je identifikován. Tato zařízení se uloží do databáze na server, který je propojen s interní sítí. Po síti jsou pak posílány informace, kde se jednotlivá zařízení nachází, přesnost je do 10 metrů, jestliže je zařízení v dosahu více systémů, přesnost se zvýší [1].

2.2.5 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) – rádiofrekvenční systém identifikace je moderní technologie identifikace objektů pomocí rádiofrekvenčních vln. Tento systém lze úspěšně začlenit do mnoha odvětví a oblastí, kde je kladen důraz zejména na rychlost a přesnost zpracování informací a okamžitý přenos těchto načtených dat k následnému zpracování. To následně vede ke zvýšení přesnosti, rychlosti a efektivnosti obchodních, skladových, logistických a výrobních procesů.

Informace jsou v elektronické podobě uloženy do malých chipů, nazývajících se tagy. Z tagů lze načítat a mnohonásobně je přepisovat pomocí rádiových vln. Takovéto zpracování lze provést až u několika set tagů za minutu, to je rozdíl a velká výhoda oproti čárovým kódům. Tato technologie dokáže identifikovat objekty na větší vzdálenost bez přímé viditelnosti.

V současnosti se RFID velmi rozvíjí a dochází k nasazení v mnoha oblastech trhu, největší uplatnění nachází v logistice, výrobě, sledování osob a objektů [6].

Aktivní chipy

Aktivní tagy samy vysílají své údaje do okolí, to umožňuje miniaturní baterie s výdrží od jednoho roku do pěti let. Tato baterie však způsobuje menší odolnost na teplotu. Aktivní chipy jsou schopny identifikovat objekty až na 100 metrů, jsou však poměrně drahé. Paměť na chipu může dosahovat velikosti až 100 kb.

Pasivní chipy

Pasivní chipy jsou oproti aktivním výrazně levnější, vydrží déle, jsou méně náročné na obsluhu a více odolné. Akční vzdálenost tohoto druhu tagů je proměnlivá, pohybuje se od 0,5 m do 10 m, záleží, na jaké frekvenci štítky pracují. Paměť na chipu může mít velikost mezi 64 až 256 bity. Pasivní chipy nemají vlastní baterii, napájení je vyřešeno polem snímače, který periodicky vysílá pulsy anténou do prostoru, chip přijímaný signál využije k nabití svého napájecího kondenzátoru a pošle odpověď [6].

3 Technologie 802.11

Jedná se o specifikaci standardu od IEEE z roku 1997 pro bezdrátové sítě pracující v pásmu ISM. Původní standard nabízel rychlost až 2 Mb/s. Postupně začaly vznikat nové specifikace označující se 802.11x, kde x značí konkrétní standard.

Jednotlivé standardy se od sebe liší parametry, jako jsou například přenosová rychlost nebo použitá modulace. Některé standardy jsou pouze vylepšením stávajících, to je případ 802.11i z roku 2004, které vylepšuje 802.11x o autentizační a šifrovací algoritmus (WPA2) [7].

Tabulka 1: Přehled standardů IEEE 802.11 [7]

Standard	Vydáno	[GHz]	[Mbit/s]	Fyzická vrstva
IEEE 802.11	1997	2,4	2	DSSS a FHSS
IEEE 802.11a	1999	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2,4	54	OFDM a DSSS
IEEE 802.11n	2009	2,4 nebo 5	600	MIMO a OFDM

3.1 802.11a

Je jednou z nejstarších specifikací WLAN. Poskytuje teoretickou rychlost 54 Mbit/s, pro dosažení této rychlosti se (prvně v paketové komunikaci) využila modulace OFDM. Pracuje v bezlicenčním pásmu 5 GHz, využívané frekvence jsou některé od 5,1 GHz do 5,9 GHz. V 802.11a lze využít až 8 nepřekrývajících se kanálů, což je velká výhoda oproti ostatním standardům. Další výhodou je, že zde nedochází k rušení od zařízení jako v jiných specifikacích (802.11b, 802.11g). Pro systémy určování polohy by tedy mohl být tento typ vhodný.

Nevýhodou ovšem je, že se tato norma ne vždy může využívat, v některých zemích není dovoleno využití pásma 5 GHz nebo je dovoleno pouze z části nebo jen doplňkově [7] [8].

3.2 802.11b

Doplněk 802.11 pracující v pásmu 2,4 GHz s rychlostí 11 Mbit/s. Na fyzické vrstvě pracuje na principu DSSS s doplňkovým kódovaným klíčováním (CCK). Nezajišťuje kvalitu služeb (QoS) ani dostatečnou bezpečnost, v současné době již nestačí ani rychlostí. U všech WLAN platí, že rychlost se mění dynamicky podle momentální

rušivosti prostředí. Zde jsou možné rychlosti 11 Mbit/s, 5,5 Mbit/s, 2 Mbit/s, 1 Mbit/s. S nejvyššími rychlostmi tedy můžeme počítat pouze na kratší vzdálenost [7] [8].

3.3 802.11g

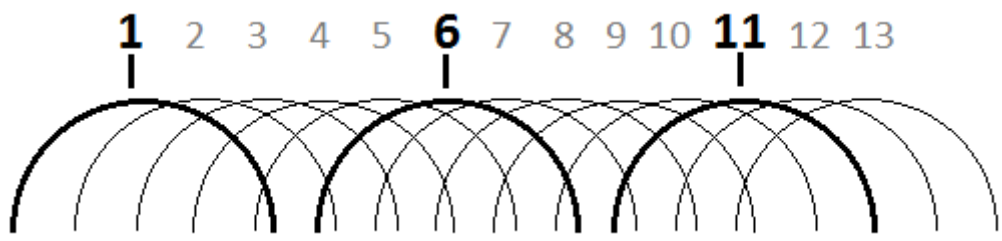
V dnešní době stále ještě nejrozšířenější specifikace WLAN. Jde o rozšíření 802.11b, pracuje na stejném kmitočtu 2,4 GHz a je zpětně kompatibilní. Tento standard rozšiřuje 802.11b o doplňky 802.11d, 802.11e a 802.11i. Rychlost může být maximálně 54 Mbit/s, další podporované rychlosti jsou 48, 36, 24 Mbit/s (16-QAM), 18 a 12 Mbit/s (QPSK), 9 a 6 Mbit/s (BPSK). Vyšší rychlosti jsou na bázi OFDM, další rychlosti vyžadují DSSS z důvodu souladu s 802.11b. Může zde docházet k rušení od Bluetooth, bezšňůrových telefonů nebo mikrovlnné trouby.

Využitelné kanály pro pásmo 2,4 GHz jsou v tabulce 2. Uvedeny jsou středy frekvencí.

Tabulka 2: Kanály s frekvencemi 802.11g [7] [8]

Kanál	1	2	3	4	5	6	7
Frekvence [MHz]	2,412	2,417	2,422	2,427	2,432	2,437	2,442
Kanál	8	9	10	11	12	13	14
Frekvence [MHz]	2,447	2,452	2,457	2,462	2,467	2,472	2,484

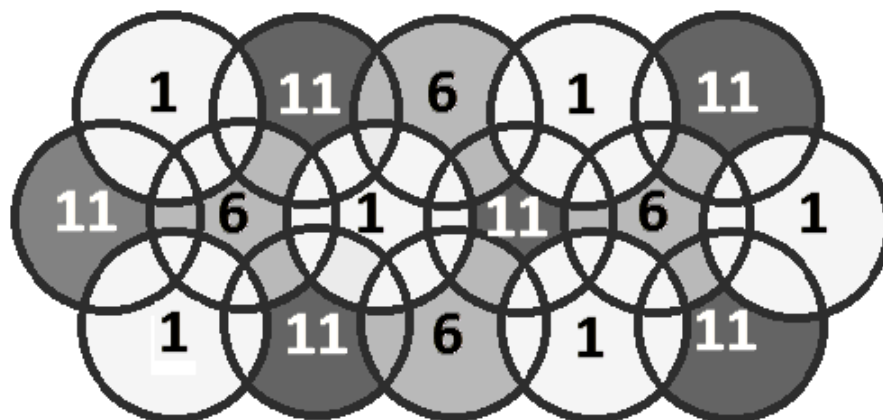
Česká republika může využívat prvních 13 kmitočtů. Avšak neznamena to, že je všech 13 pásem k dispozici, protože podle technologie rozprostřeného spektra znamená vysílání každého kanálu do rozsahu 22 MHz. Je vidět, že vzdálenost mezi jednotlivými kanály je 5 MHz, vysílání na jednom kanálu překrývá sousední čtyři. Pokud se tedy chce provozovat více přístupových bodů tak, aby se jejich signál překrýval, ale nerušil, musí se nastavit tak, aby pracovaly alespoň 5 kanálů od sebe. Pro lepší představu poslouží obrázek [7].



Obrázek 4: Překrývání kanálů na frekvenci 2,4 GHz

Z předchozího obrázku je vidět, že je možné pracovat maximálně pouze s třemi nepřekrývajícími se kanály. To je nevýhoda pro systémy určování polohy, kde je u míst možného určení polohy požadavek na pokrytí co nejvíce přístupovými body. Zde by mohlo

dojít k rušení. Jak postavit bezdrátovou síť efektivně z více přístupových bodů znázorňuje obrázek 5 [7].



Obrázek 5: Efektivní rozložení kanálů v 802.11b, g

3.4 802.11n

Jeden z novějších standardů, jehož cílem bylo vyrovnat se tehdejšímu Ethernetu a dosáhnout tak reálných rychlostí přes 100 Mbit/s. K tomu využívá úpravu fyzické vrstvy a podčásti vrstvy linkové, Media Access Control (MAC) podvrstvu tak, aby se docílilo reálných rychlostí přes 100 Mbit/s. Tato norma dokáže pracovat na obou předchozích frekvencích, 2,4 GHz i 5 GHz a je plně kompatibilní s 802.11a i 802.11g. Reálná maximální rychlost je na fyzické vrstvě 600 Mbit/s, reálná přenosová rychlost se pohybuje okolo 130 Mbit/s. Zvýšení rychlosti se dosahuje použitím MIMO technologie, která využívá více vysílacích a přijímacích antén [8].

4 Současné systémy určování polohy v 802.11 a 2,4 GHz

WiFi technologie prošla v posledních letech značným vývojem od rychlosti až po bezpečnost. WiFi sítě se ovšem nepoužívají jen pro zajištění mobilního připojení k internetu, ale k mnoha dalším účelům. Jedním z nich je i určování polohy. Využití stávající WiFi infrastruktury vede ke snížení nákladů.

V této kapitole jsou popsány systémy určování polohy, které pracují na standardu 802.11 v pásmu 2,4 GHz. Vysvětlen je princip fungování, možné využití a přesnosti jednotlivých metod.

4.1 RTLS

Real Time Locating System jsou systémy, které slouží ke sledování pozic majetku, osob, zařízení v reálném čase pomocí elektronických zařízení, a to aktivních RTLS tagů. Tato technologie, určená pro využití v budovách a areálech, dosahuje přesnosti v řádech metrů, někdy dokonce v řádech decimetrů. Technologicky se jedná o aktivní RFID technologii. Lokalizace osob a předmětů pomocí RTLS v podnikové WiFi síti optimalizuje obchodní procesy a snižuje provozní náklady.

4.1.1 RTLS dle infrastruktury

Podle používané bezdrátové infrastruktury se mohou RTLS dělit do dvou skupin: proprietální systémy a systémy používající standardizovanou infrastrukturu.

Proprietální systémy

Vyžívající pro svou činnost speciální jednoúčelovou bezdrátovou infrastrukturu na frekvencích 433, 860 a 900 MHz a 2,4 GHz. Nevýhodou těchto systémů je zmíněná jednoúčelovost, infrastruktura slouží pouze pro potřeby RTLS, což je finančně náročné.

Systémy používající standardizovanou infrastrukturu

Používají ZigBee (2,4GHz), UWB (Ultra Wide Band) nebo WiFi. RTLS na těchto sítích odstraňují nevýhodu zmíněnou v předešlém případě, tyto sítě jsou univerzální, tedy levnější a s daleko větší možností využití. [10]

4.2 Metody určení polohy v 802.11

V technologii 802.11 se může využít několik metod k lokalizaci, podrobně je popsána hlavně RSSI.

4.2.1 Identifikace buňky v 802.11

Metoda popsaná v kapitole 2.2.1 se může využít i ve vnitřních prostorách s využitím WiFi. V 802.11g mají buňky velikost 30m, přesnost je tedy nejhůře právě 30m. Při průniku několika buněk nad přijímačem se výsledná přesnost výrazně zlepšuje. Ani to však nepomůže, aby tato metoda byla ve vnitřních prostorách reálně využitelná [3].

4.2.2 RSSI (Received Signal Strength Indication)

Základní princip této techniky je v proměření síly signálu od přístupových míst z aktuálního bodu a porovnáním s daty z mapy signálů uloženými v systému. Metoda je založena na fyzikálním principu, kdy přijatý výkon klesá se vzdáleností od vysílacího zařízení podle vztahu:

$$L(d) = 10n \log(d) \quad (1)$$

L(d) [dB]	ztráty šířením
d [m]	vzdálenost od vysílací antény
n [-]	spádový koeficient [9]

Získání mapy pokrytí

Získat mapu signálů prostředí lze dvěma způsoby. Korelace prostředí je první a modelování signálu druhá. Každá má své výhody i nevýhody. U obou metod závisí dosah pouze na ploše, kde jsou rozmístěny vysílače.

Korelace prostředí

Je známá též pod označením *otisk prstu* (Fingerprint). Dělí se do dvou částí, na fázi mimoprovozní (Offline Phase) a fázi v reálném čase (Real time Phase).

V průběhu první části se změří signály důležitých míst a spolu se souřadnicemi uloží. Nejlépe je měřit místa v různých směrech, aby se vyhnulo rušení a stínění. Výsledkem této fáze je získání obrazu intenzity signálu pro každý přístupový bod. Správné a důsledné proměření míst má zásadní vliv na přesnost metody.

Ve fázi reálného času změří přijímač signály přístupových míst a porovnává je s daty z offline verze. Určení nejpřesnější polohy zajišťuje vhodný algoritmus.

Přesnost této metody se pohybuje v rozmezí jednoho až tří metrů v závislosti na velikosti a obsazení prostoru. Velkou nevýhodou této metody je časová a finanční náročnost. Jak při instalaci nových přístupových bodů nebo úpravách stávajících anebo stavebních úpravách prostor musí být prostředí proměřeno znovu [1].

Modelování signálu

Tento postup je rychlejší a jednodušší než předešlý. Stačí znát pouze reálné souřadnice přístupových bodů. Mapa signálů prostředí se vypočítá pomocí modelů šíření

vln. Útlum signálu v závislosti na vzdálenosti je popsán empirickými modely. Jenomže ty lze použít jen omezeně.

V málo členitých prostředích, například chodbách, by tato metoda byla docela spolehlivá. Přesnost by byla několik metrů, takže by se o této základní verzi dalo uvažovat. Naproti tomu v členitějším prostředí uvnitř budov nebo prostornějších areálech by se přesnost rapidně zhoršila, protože empirické modely nedokážou popsat věrohodně signál procházející různými materiály.

Vylepšení tohoto postupu se dosáhne pomocí softwaru, který v plánu rozezná zdi. Čím více detailů je schopna aplikace rozeznat, tím se samozřejmě signál v bodech zpřesní, znamená to ale také více výpočtů a delší čas na provedení matematických operací. Základem je digitální plán prostoru obsahující souřadnice důležitých bodů a zdí. Pro každý bod lze určit vzdálenost od protilehlé stěny. Změřená data jsou poté porovnána v modelu a postup je totožný jako u metody korelace [1].

Porovnání metod

I přes popsané vylepšení je dosažitelná přesnost průměrně u metody modelování menší. Srovnatelné přesnosti se dá dosáhnout v nečlenitém terénu, kde je přímá viditelnost na přístupové body. Pro přesnější lokalizaci je tedy vhodnější metoda korelace prostředí.

5 Popis existujících systémů

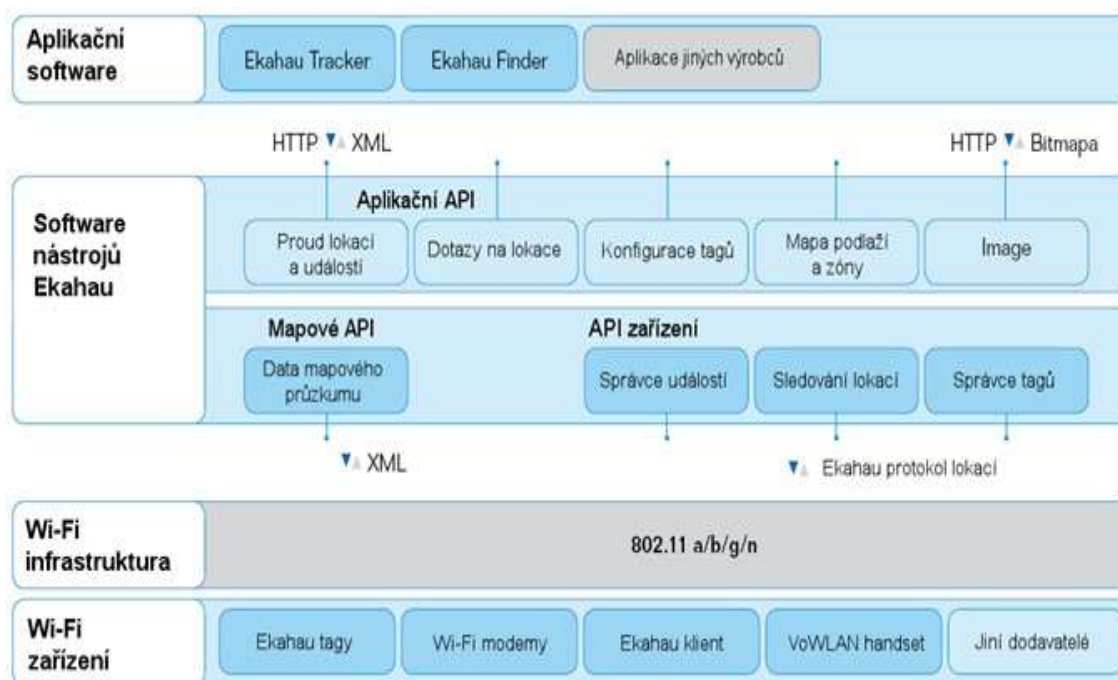
V této kapitole jsou popsány existující produkty k lokalizaci polohy. Jsou popsány technické parametry, prostředí, v kterém mohou běžet, možné přesnosti apod. Vybrány byly systémy Westico a Ekahau

5.1 Ekahau RTLS

Ekahau lokalizační systém od stejnojmenné finské firmy je plně automatický systém, který neustále monitoruje polohu předmětů a osob v dané oblasti. RTLS je zpravidla tvořen datovou sítí, tagy, referenční zařízení pro lokalizaci tagů, serverem a aplikačním software koncových uživatelů. Jako referenční zařízení pro lokalizaci tagů využívá Ekahau RTLS existující přístupové body WiFi sítě (802.11 a/b/g/n), to snižuje náklady na pořízení systému a stejně tak zjednodušuje instalaci infrastruktury [11].

5.1.1 Architektura Ekahau RTLS

Na následujícím obrázku je vidět architektura systému Ekahau. Lze vypořadovat rodění Ekahau modulů, spolupráci s jinými technologiemi.



Obrázek 6: Architektura Ekahau[11]

5.1.2 Využití Ekahau RTLS

Ekahau lokalizační systém lze využít v různých odvětvích. Níže je výpis nejběžnějších.

Rychlé nalezení

Ekahau RTLS představuje snadnou formu pro lokalizaci lidí a jiných objektů a zkracuje dobu, potřebnou pro vyhledání důležitých předmětů a inventáře. Ekahau RTLS může zaručit, že sledované objekty budou vždy k nalezení.

Zlepšený tok informací

Poloha objektů je automaticky aktualizována a jednoduše může být předána jiným systémům nebo personálu. Předměty jsou tak využívány efektivněji.

Lepší využití majetku

Systém umožňuje informovat a evidovat, kde se vyskytují důležité předměty, to je užitečné ve zdravotnictví nebo ve výrobě. Podobně by se dalo uvažovat také v prevenci před krádežemi

Bezpečnost

V případě kritické situace je možné pomocí nouzového volání shromáždit zaměstnance nebo pacienty na bezpečná místa [11].

5.1.3 Komponenty Ekahau

Ekahau RTLS se dělí do několika komponent, každá má za úkol odlišnou činnost a dohromady se skládají v jednu robustní aplikaci.

Ekahau RTLS Controller

Ekahau RTLS Controller (ERC) je srdcem celého systému. Uchovává centrální databázi, všechny algoritmy, správu tagů, podniková pravidla, řízení komunikace, API pro integrování s jinými systémy, síťové připojení a pravidla a mnoho dalších důležitých funkcí. Tagy komunikují a jsou řízené ERC [13].

Ekahau Vision

Ekahau Vision je webová aplikace, ve spojení s nástrojem pro určování polohy (EPE) pomáhá okamžitě lokalizovat lidi a objekty na jakémkoliv počítači v síti. Vision napomáhá zaměstnancům lokalizovat vybavení, inventář, klíčové členy personálu nebo jiné důležité objekty.

Podle podnikových pravidel může alarmovat pracovníky. Pro lepší orientaci pracovníků zviditelňuje kritické objekty a procesy a je schopno optimalizovat používání předmětů a pracovní proces v organizaci. Data poskytuje ve vizualizovaném interaktivním rozhraní prohlížeče.

Vizuální rozhraní znázorňuje s použitím aktuálních půdorysných výkresů přesné údaje o lokalizaci sledovaných objektů v reálném čase, časové údaje o aktualizaci posledního místa, a další parametry (typ zařízení) [14].

Ekahau Tracker

Ekahau Tracker je aplikace koncových uživatelů a sleduje předměty a osoby. Převádí lokalizační data na použitelné informace. Tracker informuje bezpečnostní zaměstnance, když se osoba nebo předmět dostane do nepovolené oblasti. Tracker zaznamenává pohyb všech sledovaných bodů tagů a tvoří přehledy pro pozdější vyhodnocení a kontroly práce [11].

Ekahau Finder

Ekahau Finder je taktéž aplikace pro koncové uživatele pro okamžité určení polohy osob a objektů, ale pomocí kteréhokoliv standardního webového prohlížeče. Má jednoduše použitelné uživatelské rozhraní, které lze přizpůsobit pro různé seznamy k vyhledávání. Dálkově umožňuje aktivovat LED a bzučáky v sledovacích čípech. Finder tedy slouží k automatizaci vyhledávání různých věcí [11].

5.1.4 Parametry systému

- **Bezpečnost** Podporuje WPA2-PSK a další bezpečnostní bezdrátové protokoly.
- **Přesnost** Ověřené a testované algoritmy jsou velmi přesné.
- **Otevřenost** Flexibilní API umožňuje snadnou integraci do kteréhokoliv podnikového systému.
- **Úspornost** Využívá existující WiFi infrastrukturu [12].

5.1.5 Algoritmus v Ekahau

Algoritmus využívá *Multi-Hypotheses tracking* a pracuje tak, že pro každý sledovaný objekt neustále zjišťuje možnou polohu. Používá přitom síly signálů přístupových bodů podle metody RSSI.

Každé možné poloze přiřadí algoritmus hodnotu podle pravděpodobnosti správného určení skutečné polohy. Sleduje přitom všechny možné činitele, např. vlastnosti prostředí, historii signálů, pohyb tělesa nebo rozdíly způsobené mobilním zařízením. Algoritmus také vylučuje z průběhu výpočtů nesmyslné pozice (např. polohy na druhém konci areálu apod.) z důvodu velké výpočetní náročnosti při sledování velkého množství objektů.

Přesnost při sledování tisíců objektů a lidí je obvykle od jednoho do tří metrů. Kde je menší signál nebo vyžadována větší přesnost, mohou se umístit pomocné signální majáky, které mají unikátní signál a dosahovaná přesnost s nimi potom je do jednoho metru. Je to levný způsob zpřesnění polohy [15].

5.1.6 Požadavky na systém

- Bezdrátová síť: standardní síť Wi-Fi 802.11 a/b/g .
- Ekahau Positioning Engine (EPE) server: CPU alespoň 2GHz Intel Pentium, 1GB RAM, 500MB HD, Windows XP Professional, Windows 2000, nebo Windows 2003 Server.
- Ekahau Site Survey laptop: CPU alespoň 1GHz Intel Pentium, 1GB RAM, 500MB HD, Windows XP Professional nebo Windows 2000.
- Sledovaná zařízení: Ekahau tagy T201, T301 a podporovaná zařízení WiFi [12].

5.2 Westico Visibility System

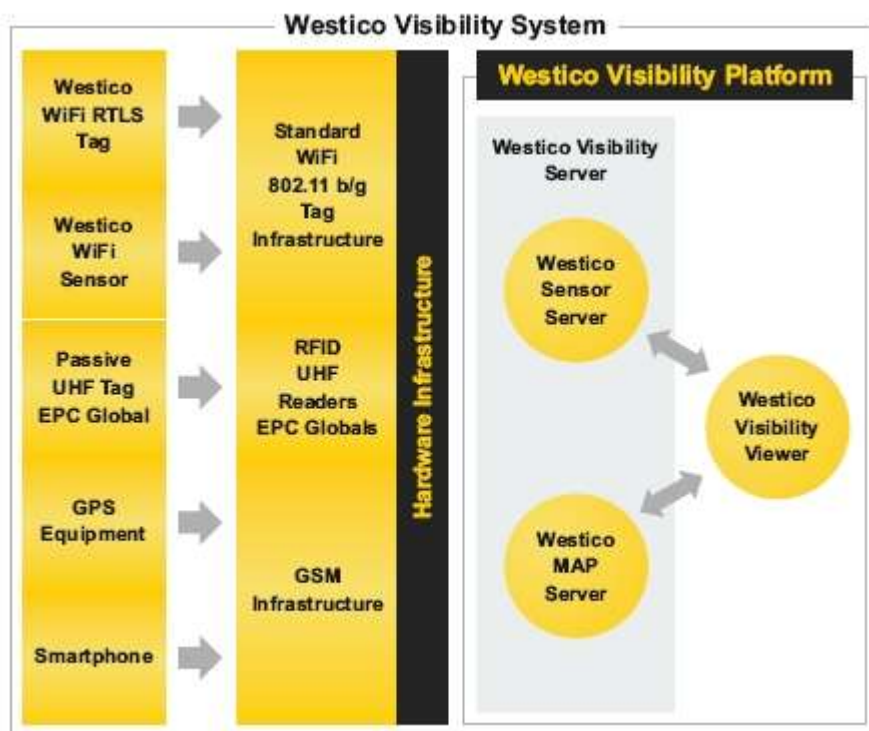
Westico Visibility System umožňuje sledování majetku, osob a zařízení v reálném čase ve standardní WiFi síti. Pro určování polohy používá malé wifi tagy s dlouhou životností baterie. Tato technologie je určena k lokalizaci objektů primárně vevnitř budov a v rámci areálů. Systém typicky dosahuje přesnosti v řádu jednotek metrů. Systém rovněž podporuje velmi efektivní bezdrátový sběr dat ze senzorů, jimiž jsou tagy osazeny. Technologicky se jedná o aktivní RFID technologii [16].

5.2.1 Princip systému

Pro stanovení polohy systém využívá techniku RSSI. Pro správnou funkci přesné lokalizace tagů je nutné mít v každém sledovaném místě signál nejméně od tří přístupových bodů bezdrátové sítě. Tagy v pravidelných mezechasech pasivně skenují prostor a data předají serveru, který z nich určí polohu. Data jsou poté uložena na SQL server, odkud jsou přes datová rozhraní přístupná uživatelům.

5.2.2 Topologie systému

Stejně jako naprostá většina jiných RTLS systémů, je i Westico Visibility System založen na bezdrátové infrastruktuře. Tagy touto sítí posílají data na lokalizační server, který je dále zpracuje a polohu spolu s dalšími vlastnostmi tagů zprostředkuje dalším aplikacím. Výhodou tohoto systému je, že využívá už vybudovanou WiFi síť standardu 802.11 b/g a ušetří tak náklady.



Obrázek 7: Topologie Westico Visibility System

5.2.3 Vlastnosti systému

Poskytování dat

Systém poskytuje data odkudkoli a z jakéhokoli zařízení, které je vybaveno webovým prohlížečem. Je možno získat data o aktuální poloze objektů, údaje ze senzorů, trasy sledovaných objektů, historická data nebo definované události.

Zobrazení údajů

Kombinací interních map a Google Map je možné sledovat objekty v rozsáhlé oblasti na podkladu Google Map. V nejdetailejším rozlišení je možno objekty vidět s rozlišením až na jednotlivý kancelářský nábytek. Systém interně pracuje se zeměpisnými souřadnicemi.

5.2.4 Westico tagy

Tagy mají vlastní miniaturní baterii, která vydrží podle používání až pět let. Aby se spotřeba energie co nejvíce snížila, je základním režimem tagů spánek, kdy tag není připojen k síti. Do aktivního režimu přejde buď plánovaným probuzením časovače anebo aktivací některého senzoru. V aktivním režimu dochází k přenosu dat, který je velmi krátký, přenáší se jeden datový paket, takže i v aktivním režimu tagy zatěžují síť jen minimálně.

Tagy lze osadit senzory a systém z nich může sbírat různá data, to se hodí v rozsáhlých areálech. Tagy jsou standardně osazeny senzory teploty a detektorem

sabotáže, který reaguje na pokus o odstranění tagu. Další typy senzoru jsou pohybový a nárazový, jímž lze nastavit mezní hodnoty. Pokud je tag ve WiFi síti, pracuje v aktivním módu, jinak se data ukládají do paměti tagu a na server se přenesou až ve chvíli, kdy se tag dostane do dosahu sítě.

Tabulka 3: Technické parametry Westico Visibility System [17]

Vnější dosah	200 m
Vnitřní dosah	40 m
Infrastruktura	802.11 b/g
Max. vysílací výkon	+20 dBm / 100mW
Bezpečnost	WEP, WPA1 & WPA2 Personal, EAP-TLS pro WPA1 & WPA2 Enterprise
Kryptování	AES-128, RC4, MD5, SHA-1, CRC-32
Frekvence UHF	866 - 868 MHz (Evropa), 902 – 928 MHz (US)
Senzory teploty	-30°C až + 70°C / přesnost ± 2°C
Senzory vlhkosti	0 až 100%, přesnost ± 3% RH
Provozní teplota	-30°C až + 70°C
Vlhkost	0 až 100%, kondenzující
Napájení	3,6 V primární lithiová baterie
Životnost baterie	1 až 5 let v závislosti na četnosti vysílání
Rozměry	80 x 50 x 19 mm
Hmotnost	53 g včetně baterie

5.2.5 Využitelná platforma

Westico Visibility Platform je sestavena na J2EE technologii, tím pádem je Westico Visibility System na platformě nezávislý. Může tedy být nainstalován na servery Windows, Linux i Unix. Další výhody platformy jsou škálovatelnost, vysoká dostupnost systému, robustnost, bezpečnost [16].

6 Mobilní zařízení

Mobilní zařízení jsou další z mnoha technických vynálezů, jejichž vývoj jde strmě kupředu. Jsou to malé bezdrátové elektrické přístroje s vlastním napájením a slouží různým potřebám. Bez těchto zařízení si dnes už prakticky nelze představit život. Mezi takovéto aparáty patří zejména mobilní telefony, notebooky, netbooky, PDA, tablety a MP3 přehrávače.

6.1 Mobilní telefony a smartphony

Původně to byla někdy až dost odlišná zařízení, v dnešní době se ale rozdíl mezi těmito stroji pomalu smazávají.

6.1.1 Mobilní telefony

Dnešní mobilní telefony už dávno nejsou jen krabičkou s anténou pro telefonování a psaní textových zpráv, ale zvládají daleko pokročilejší funkce, samozřejmostí jsou e-maily a internet, různorodé aplikace, podpora multimédií nebo fotoaparát.

Mobily jsou založeny na standardu GSM, využívají buňkovou síť. Uživatelé zpřístupní její služby mobilní operátor pomocí SIM karty. V současném vývoji mobilů se zdokonaluje každá oblast. Uvedu popis několika aktuálních mobilních technologií.

- GPRS je mobilní datová služba standardu GSM. Také bývá označována 2,5 G technologií. Pro uživatele je důležitá zvýšením rychlosti datových přenosů.
- EDGE je další stupeň vývoje GSM (2,75 G) po GPRS. EDGE obsahuje několik nových metod a zlepšení, která vedou k dalšímu zvýšení rychlosti přenosu dat.
- UMTS je následník GSM, spadá do 3 G, služby třetí generace přenáší obojí (hlas i data).
- HSDPA je protokol označovaný 3,5 G, podstatně zvyšuje rychlost pro download UMTS.
- HSUPA je nástavba protokolu 3 G, zvyšuje rychlost pro upload.

6.1.2 Smartphony

Smartphone neboli chytrý telefon je takový mobilní telefon, který poskytuje pokročilé funkce. Charakteristickým rysem chytrých telefonů je přítomnost operačního systému, ten umožní instalaci dalších doplňků. Mezi nejpoužívanější operační systémy smartphonů patří Android, Windows Mobile, Symbian OS, iOS, nebo PalmOS.

Výhody smartphone

- Chytré telefony budou napřed oproti stálým, budou podporovat nejnovější technologie
- Možnost vlastní tvorby aplikací pro konkrétní operační systém

Nevýhody smartphone

- Výdrž baterie
- Rozměr zařízení
- Cena stroje a některých aplikací

6.2 PDA

PDA (Personal Digital Asistant), jinak označovaný jako kapesní počítač nebo palmtop, je přístroj umožňující podobné funkce jako stolní počítače. Původním účelem PDA byla organizace času a kontaktů, dnes jsou daleko výkonnější a umí aplikace různého druhu. PDA jsou jen nepatrně větší než mobilní telefony, ale umějí toho několikanásobně více.

PDA rozlišuje tři druhy paměti:

- RAM je závislá na zdroji energie, slouží pro potřeby OS i uživatele
- ROM není závislá na zdroji energie, využívá se jako "bezpečné" úložiště dat (OS)
- Rozšiřovací karta

Některé PDA obsahují modul GSM/GPRS a slot na SIM kartu, takže je lze provozovat i jako mobilní telefon nebo připojení k internetu. V dnešní době se PDA využívají často jako GPS přijímač, k některým se lze připojit externě, např. pomocí Bluetooth.

Nejčastěji používané operační systémy pro PDA jsou Windows Mobile, Android, PalmOS a Symbian OS, je možno na PDA rozjet i Linux [18].

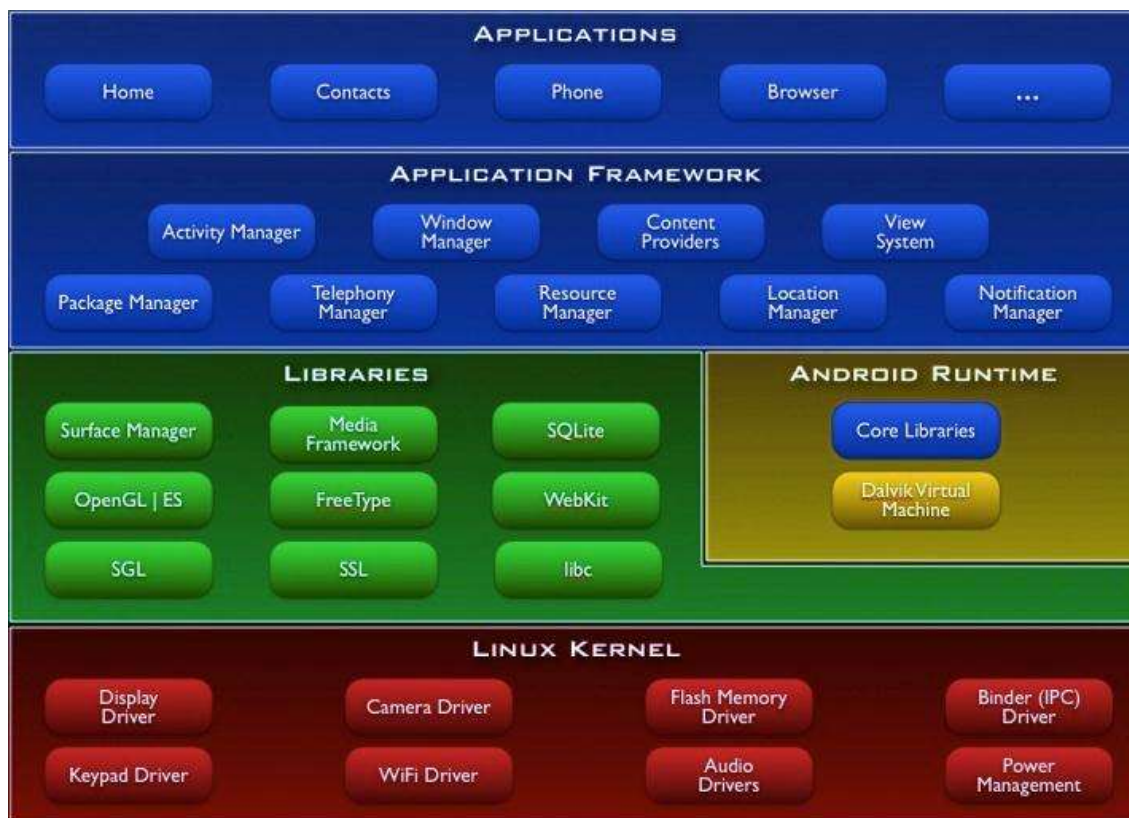
6.3 Vývoj aplikací pro mobilní zařízení

Aplikace pro mobilní zařízení se vyvíjí na několika platformách. Nyní jsou nejvíce využívány Android, donedávna Windows Mobile (začíná vývoj pro Windows Phone) a Symbian OS. Každá platforma potřebuje pro tvorbu své specifické nástroje, mezi které patří programovací jazyk a pomocné frameworky. Nástroje jsou za různé ceny, některé jsou úplně zadarmo nebo i se zdrojovými kódy, za jiné se platí.

6.3.1 Android

Android je platforma pro mobilní zařízení založená na Linuxovém jádru (nyní jádro 2.6) vyvinutá společností Google. Pro vývoj aplikací pro Android platformu je zapotřebí SDK Android, které umožňuje tvořit aplikace primárně v jazyce Java s možným využitím knihoven od Google.

Architektura systému Android



Obrázek 8: Architektura systému Android

Hlavní části Androidu:

- **Aplikační framework:** pro snadné využití komponent a jejich případnou výměnu
- **Virtuální stroj Dalvik:** je JAVA virtual machine optimalizovaná pro mobilní zařízení.
- **Integrovaný web prohlížeč**
- **Optimalizovaná grafika**
- **SQLite:** databázový mini server pro uložení a zpracování strukturovaných dat
- **Podpora multimédií:** formáty audio, video a obrazu
- **GSM telefonie, Bluetooth, EDGE, 3G, WiFi** (závislé na hardwarové podpoře)
- **Plnohodnotné vývojové prostředí:** emulátor zařízení, nástroje pro ladění, výkonnostní a paměťové profilování, prostředí Eclipse pro vývoj android aplikací

Android je dodáván s balíkem základních aplikací (email klient, SMS, kalendář, mapy, web prohlížeč, kontakty), které lze nahradit či doplnit. Běžně se doplňkové aplikace získávají z online obchodu Android Market [19].

6.3.2 Symbian

Symbian je svobodný operační systém pro mobilní zařízení. V současnosti se jedná o operační systém reálného času (RTOS). Existuje několik verzí Symbianu. Ty se liší podle typu přístroje, kde je systém nainstalován. Až na výjimky tak nelze

používat stejné aplikace na různých verzích. Donedávna byl Symbian využíván nejvíce v zařízeních značky Nokia, to se ovšem změnilo potom, co Nokia ohlásila partnerství s Microsoftem.

Symbian aplikace se vyvíjejí nejvíce v jazyce C++ s frameworkem Qt přes SDK Symbian. Další možné programovací jazyky jsou Python, Java ME, Ruby a jazyky založené na technologii .NET [20].

6.3.3 Windows Mobile

Windows Mobile je operační systém z dílny Microsoft, který je založen na Windows CE (WinCE). Má vzhled odvozený od klasických Windows desktopových počítačů. Poslední vydaná verze je 6.5.5, systém se dále nevyvíjí, Microsoft se soustředí na vývoj Windows Phone. Zařízení využívající Windows Mobile musí mít nainstalováno .NET Compact Framework podle verze OS.

Pro .NET Compact Framework je možné vytvářet aplikace v prostředí Visual Studio do verze 2008, v novějších verzích již vývoj není podporován. Programování lze zvolit nativní (v jazyce C++) nebo v řízeném kódu (jazyky C# nebo Visual Basic). K programování je zapotřebí využít některou verzi balíku Windows Mobile SDK, který v sobě má nástroje potřebné pro tvorbu a ladění mobilních aplikací, např. emulátor zařízení, krokování aplikace za běhu a další [21].



Obrázek 9: Mobil s OS Windows Mobile

6.3.4 Windows Phone

Windows Phone 7 je nástupcem Windows Mobile. Má nové jádro a od Windows Mobile se liší ve spoustě vlastností. Funkce jsou logicky uspořádané podle nejčastějších

aktivit do tzv. hubů, mezi které patří např. kontakty, hry, kancelář, obrázky, hudba a video a Marketplace, které usnadňují a zpříjemňují práci. Jako samozřejmost je už zde podpora sociálních sítí (Facebook, Twitter), Windows Live Messenger.

Tento systém je poměrně nový, vývoj neustále probíhá a např. pro Českou republiku ještě není plná podpora. Pro tvorbu do tohoto systému je potřeba technologií Silverlight a Microsoft XNA a vývojového prostředí Visual Studio 2010, programovací jazyky mohou být různé, nejčastěji budou využívány C# a Visual Basic [22].



Obrázek 10: Windows Phone

7 Návrh systému pro určení polohy do mobilního zařízení

V této kapitole je vysvětlen základní postup při tvorbě lokalizačního software pro mobilní zařízení. Je popsáno na jaké atributy se zaměřit, které možnosti uvažovat a na jaká omezení si dát pozor. Uvažuje se, že metodou určení polohy je RSSI.

7.1 Cílové zařízení

Před začátkem vývoje je nutné určit, v jakém cílovém zařízení a na jaké platformě výsledná aplikace poběží a podle toho zvolit nástroje pro tvorbu. Důležitým faktorem v tomto bodě plánu jsou také finanční možnosti a požadovaná náročnost software. Pro některé programy budou stačit omezené free prostředky, pro náročnější už se vyplatí zakoupit pokročilejší pomůcky. O vývojových prostředcích se více píše v kapitole 6.3. Při návrhu funkcí by se měl brát v potaz také výkon těchto strojů.

7.2 Mapové podklady

Při přípravě mapových materiálů pro mobilní zařízení je třeba dbát na jistá omezení, která z používání těchto aparátů vychází, na něž bychom u daleko větších stolních počítačů těžko narazili. Důležitým parametrem pro korektní spuštění programu je omezená velikost obrazového souboru. Mobilní zařízení totiž umějí zpracovávat jen omezeně velké soubory. S tímto problémem souvisí i následující, kde se projeví další vlastnost mobilních zařízení, a sice velikost displejů. Ta se pohybuje okolo 10 cm přes úhlopříčku a z těchto důvodů by se v mapách měly vyskytovat pouze důležitá místa a stavby a mapy by celkově neměly být zbytečně složité.

7.3 Přístupové body

Pro přesnou funkčnost je nutné mít přístupové body dobře vybrané z hlediska umístění a vyzařovaného výkonu.

7.3.1 Rozmístění přístupových bodů

Rozmístění přístupových bodů je klíčovou vlastností vedoucí k určování správné polohy. Pro určování polohy je nejvýhodnější, aby mapovanou oblast pokrývalo co nejvíce přístupových bodů. To je ovšem v rozporu se vzájemným rušením přístupových bodů, viz kapitola 3.3. Před vybráním spolupracujících přístupových bodů (AP) je tedy nutné analyzovat současnou infrastrukturu a v případě nutnosti provést možné úpravy.

7.3.2 Vybrané přístupové body

Značnou váhu pro přesnost má správný výběr přístupových bodů, jejichž signál se bude dále porovnávat. Vybrat by se měly ty AP, které mají pro danou oblast smysl. To znamená, nevybírat AP, které mají dosah jen na nepatrný prostor ze sledované oblasti. Sice by to mohlo eventuálně vést k zlepšení stanovení polohy v tomto území, ovšem příliš takových přístupových bodů v systému by mohlo vést k prodloužení doby výpočtů.

7.3.3 Výkon přístupových bodů

Pro správnou funkčnost systému je důležité, aby přístupové body vysílaly na stále stejném výkonu. Důvod je prostý, jestliže by se výkon měnil, muselo by se provést opakované proměření oblasti, protože v jeden okamžik by byl přijatý signál např. -50 dB a v druhé chvíli -71 dB. Tím by poté došlo k nesprávnému stanovení polohy.

8 Vlastní aplikace

Cílem praktické části této práce je vytvořit software pro mobilní zařízení, který bude určovat polohu podle teoretických poznatků z předchozích kapitol ve vnitřním prostředí v infrastruktuře 802.11. V následujících kapitolách je popsána vytvořená aplikace. Tyto části zahrnují popis možností a funkčnosti aplikace, technické prostředky využitě k tvorbě, možnou přesnost systému a další vlastnosti.

Aplikace běží na operačních systémech Windows Mobile 6.x a pro její chod je nutné v cílovém zařízení mít nainstalován .NET Compact Framework 3.5.

8.1 Požadavky na systém

8.1.1 Hlavní požadavky

- Aplikace musí pracovat v reálném čase.
- Metoda určení polohy je RSSI (korelace prostředí nebo modelování signálů).
- Zobrazování polohy zařízení v mapě, případně další textové informace o poloze.

8.1.2 Další požadavky

Tyto požadavky nejsou stěžejní, avšak umožňují snazší ovládání koncovým uživatelům a zlepšují aplikaci.

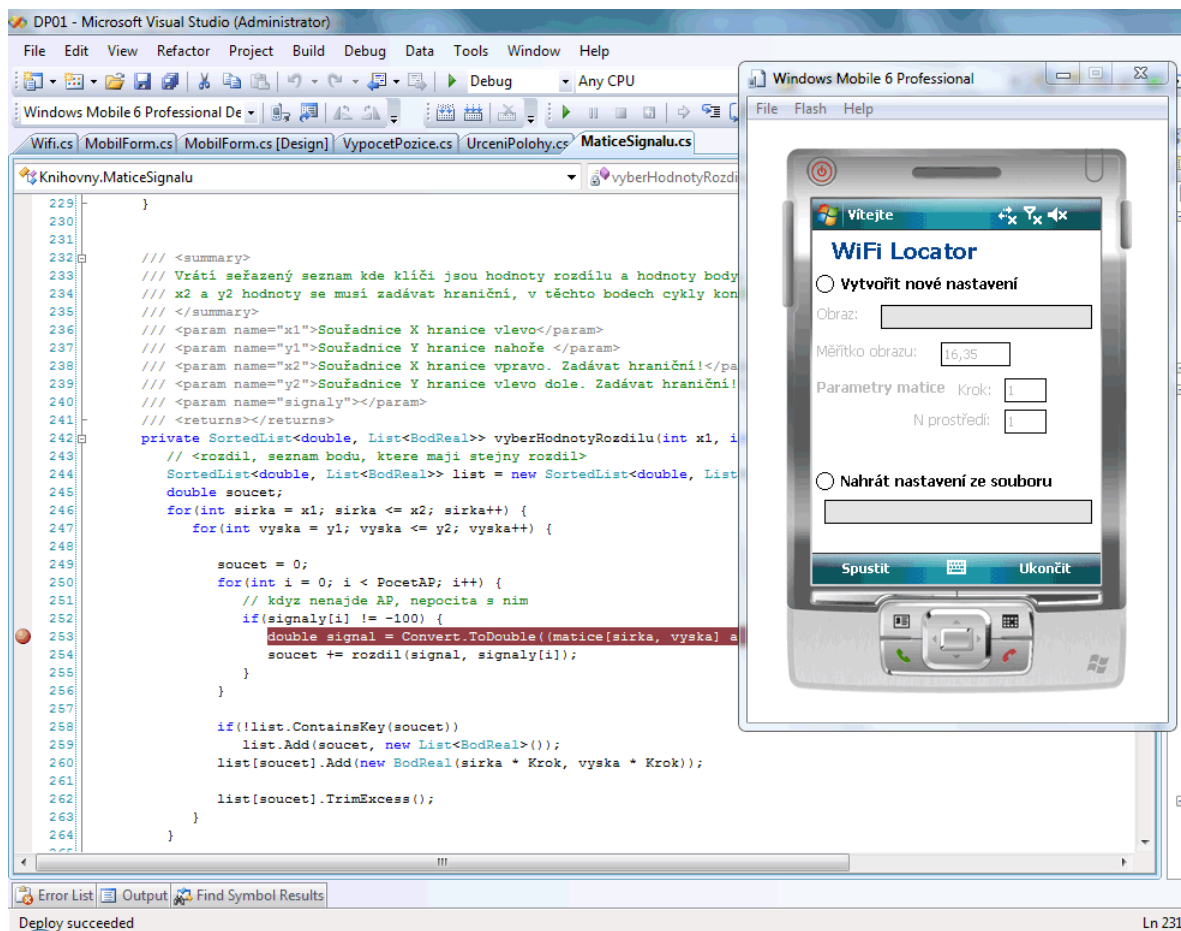
- Oddělení uživatelského módu od nastavování.
- Nahrání nebo uložení celého nastavení.
- Výběr zobrazovaných detailů.
- Uvažování rychlosti chůze.

8.2 Prostředky pro vývoj

Systém je vytvořen v IDE Microsoft Visual Studio 2008 na platformě .NET Compact Framework 3.5 jazykem C#. K vývoji mobilních aplikací bylo potřeba nainstalovat balík Windows Mobile 6 Professional SDK. Dále jsem pro rozšíření možností tvorby využil OpenNETCF Smart Device Framework verze Community Edition, která je zdarma a s online dokumentací.

8.2.1 Vývojové prostředí

Visual Studio 2008 s Windows Mobile SDK umožňuje pohodlnou tvorbu aplikací pro mobilní zařízení. Obsahuje emulátor, díky kterému není v některých fázích tvorby potřeba reálné zařízení. V emulátoru se může krokovat stejně jako při vývoji klasických aplikací. Ukázka emulátoru je na obrázku 11.



Obrázek 11: Vývojové prostředí a emulátor

8.2.2 Popis využitých struktur a tříd jazyka C#

Lineární seznam

Lineární seznam je datovou strukturou pro uchování jakýchkoliv prvků, většinou neseřazených, je možno uchovávat duplicity. K prvkům se přistupuje přes index nebo pomocí konkrétní instance. V jazyce C# jsou seznamy reprezentovány třídami implementující rozhraní `ICollection`. K dispozici jsou `List` nebo `LinkedList`. První je seznam na poli, druhý je dynamicky zřetěženým seznamem [23].

SortedList a Dictionary

Obě tyto struktury jsou implementací tabulky. Tabulka je datová struktura lineární i hierarchická. Přístup k prvkům tabulky je podle klíče. V C# jsou tabulky reprezentovány třídami, které implementují rozhraní `IDictionary`. Kromě `SortedDictionary` a `Dictionary` existuje navíc ještě `SortedDictionary`. Tyto třídy uchovávají prvky typu klíč – hodnota.

Dictionary (slovník) je založen na hashovací tabulce, přístup k prvkům je tedy velmi rychlý. Neumožňuje duplicitní klíče. **SortedDictionary** (seřazený seznam) je struktura

podobná Dictionary, také neumožňuje duplicitní klíče, ale k prvkům umí přistupovat podle indexů. Klíče i hodnoty jsou založeny na seřazených seznamech.

Linq

Linq (Language - Integrated Query) je technologie, která představuje dotazovací jazyk pro získání dat z konkrétního zdroje. Zdrojem může být kolekce dat, databáze, soubor XML apod. a dotaz má potom stejný tvar bez ohledu na typ zdroje. Výhodou je, že dotazy jsou zakomponovány přímo do programovacího jazyka, jsou tak kontrolovány v překladu [24].

Enumerable

Enumerable je třída knihoven .NET obsahující rozšiřující metody pro generické rozhraní `IEnumerable<T>`, to je pro všechny datové typy, které ho implementují. Tento datový typ je dále označován jako sekvence. Třída obsahuje běžné algoritmy pro práci s kolekcemi (hledání prvku s minimální hodnotou, počet prvků atd.) i metody operátorů LINQ technologie (počet prvků odpovídajících zadané podmínce, vrácení hodnot seřazeně). Metody této třídy lze použít i pro negenerické kolekce, jen se musí negenerická kolekce zkonvertovat na generickou (`IEnumerable` sekvence na `IEnumerable<T>`). Metody této třídy vykonávají operace odloženě, tzn., že se akce vykonají až při volání metody `GetEnumerator` nebo přímo cyklem `foreach`. Při každém dalším zavolání metody, se vykonání akce provede znovu [24].

8.2.3 Reálné zařízení

Pro reálné testování aplikace jsem měl k dispozici PDA MIO P560, ukázka je na obrázku 12. Tímto přístrojem byla provedena veškerá měření.

Technické parametry zařízení

- Procesor: Samsung 2443, frekvence 400 MHz
- Velikost displeje: 3,5"
- Interní paměť RAM: 2 GB
- Interní paměť ROM: 64 MB
- Operační systém: Windows Mobile 6.0
- GPS kanálů: 20



Obrázek 12: MIO P560

8.3 Prostředí pro testování

Aplikaci jsem testoval v prvním patře Fakulty elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice. Bylo potřeba získat mapu, upravit ji, naměřit signály AP a míst.

8.3.1 Mapa testovacího prostředí

Prostředí pro testování je vyobrazeno na obrázku 13. Dalo by se rozdělit do několika částí, jak je patrné z obrázku. Proměřená místa jsou vykreslena kružnicí a některá i očíslována.



Obrázek 13: Testované prostředí

8.3.2 Vybrané přístupové body

Pro měření byly vybrány tři přístupové body, s jejichž signálem se dalo v testovacím prostředí pracovat. Tyto body jsou vyznačeny na obrázku a nachází se na sloupu v respiriu (označeno AP1), nade dveřmi v počítačové učebně PC102 (AP2) a nad dveřmi v laboratoři EL101 (AP3).

8.3.3 Proměřená místa

Původně bylo změřeno v prostředí 58 míst (bodů), obvykle v rozestupu po třech metrech.

- Chodba 1: 16 míst
- Respirium: 6 míst
- Chodba 2: 6 míst
- Chodba 3: 5 míst
- Vjezd: 1 místo mezi chodbou 2 a chodbou 3
- Učebna PC102: 4 místa
- Učebna PC103: 4 místa
- Učebna PC104: 4 místa
- Učebna PC105: 4 místa
- Laboratoř EL101: 4 místa
- Laboratoř EL102: 4 místa

Učebna PC101 byla proměřena také, ale signály v ní nejsou takové kvality, aby mělo smysl s nimi dále pracovat, konkrétně se v této místnosti nachází signál pouze od AP2, ojediněle i od AP1. Z podobného důvodu se v dalších testovacích měřeních neprocházela chodba 3, protože zde se většinou nachází pouze signál od AP3.

9 Měření signálů

Pro účely testovací verze bylo třeba změřit výkon přístupových bodů i záchytných míst. Signál přístupových míst se měřil co nejbližší u nich. U přístupových bodů i míst bylo naměřeno nejméně 50 hodnot v každé pozici, zpoždění mezi jednotlivými měřeními byla minimálně 0,5 s. Z těchto hodnot se dále využívá hodnota mediánu.

Měření probíhala uvedeným přístrojem MIO P560, pro porovnání byly některé části proměřeny dalším softwarem na tomto PDA a dále i na vlastním notebooku. Z těchto měření se dalo usoudit, že tento přístroj neměří odlišně od ostatních zařízení a hodnoty jím naměřené se dají považovat za spolehlivé.

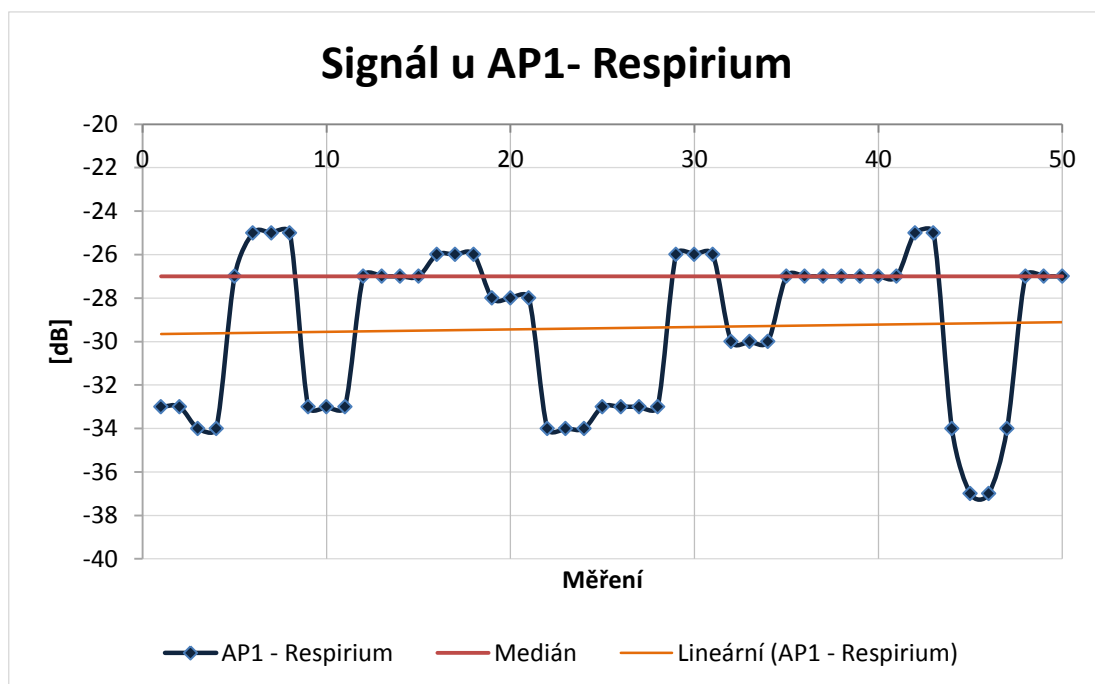
Mezní hodnotou, kdy se ještě signál od přístupového bodu rozezná, bylo z měření stanoveno -90 dB.

9.1 Přístupové body

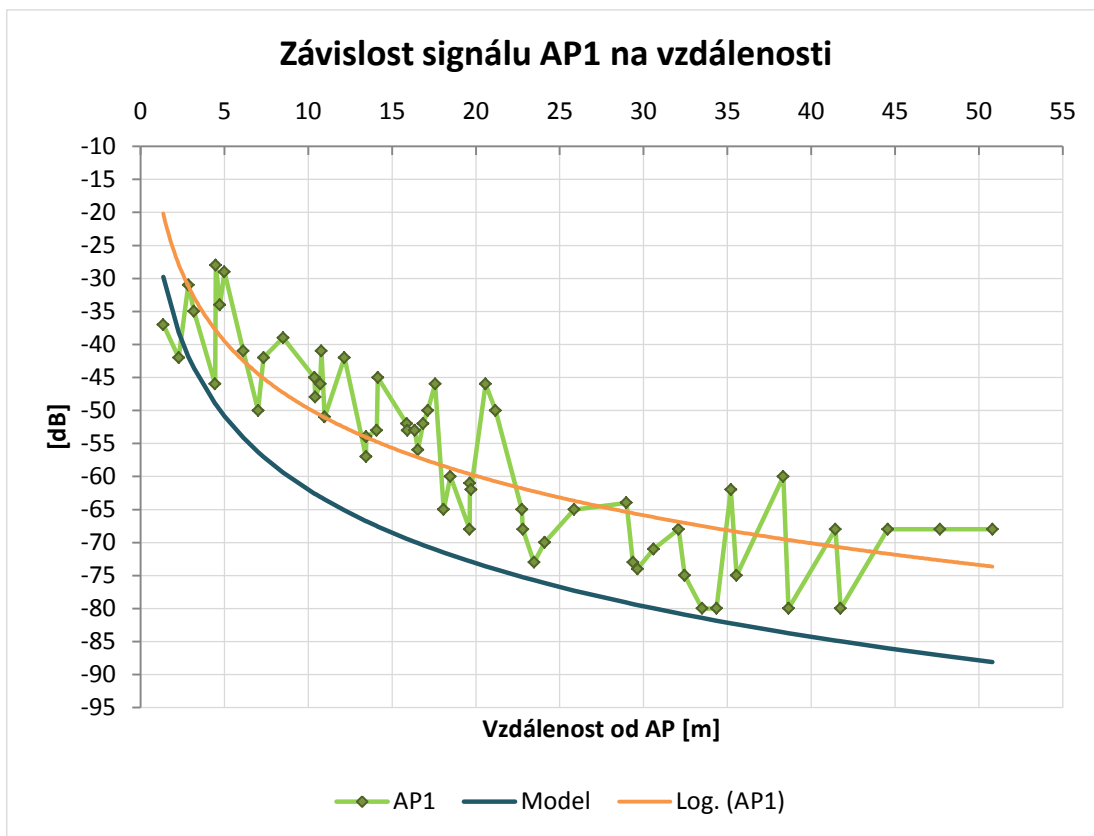
V této podkapitole jsou zobrazeny grafy se signálem přístupových bodů. Znázorněn je průběh signálu přímo u AP a jak se signál mění se vzdáleností. U druhého typu grafu je navíc vidět, jak by měl průběh signálu vypadat podle modelů šíření vln.

9.1.1 AP1 – Respirium

- Medián: -27 dB
- Průměr: -29,38 dB



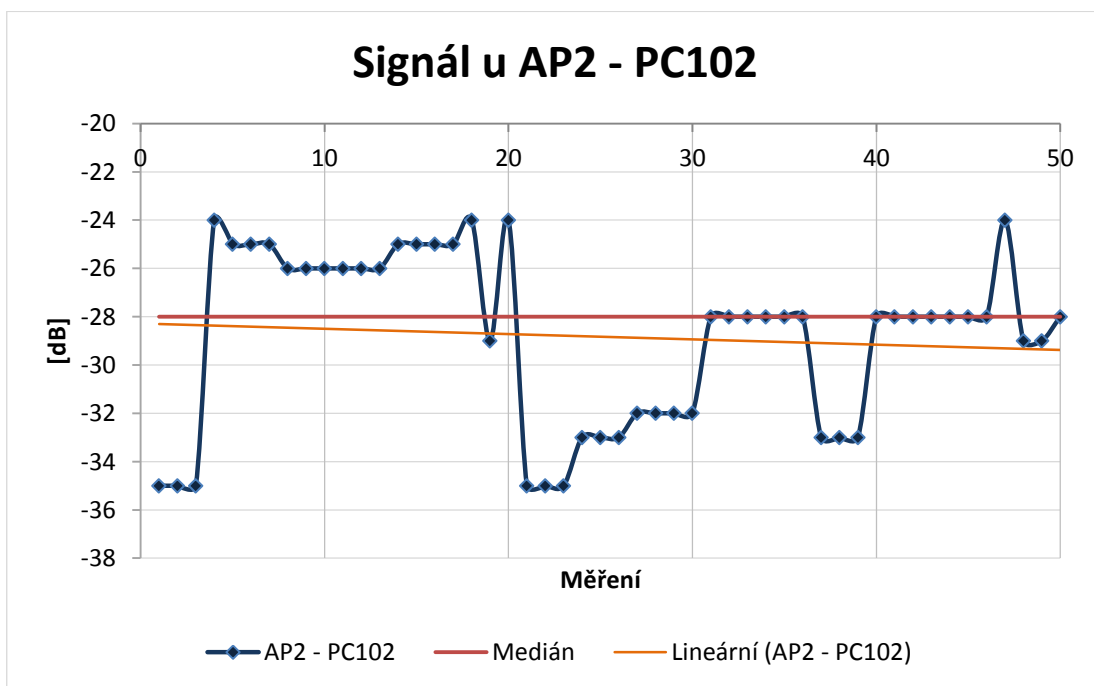
Obrázek 14: Průběh signálu u AP1



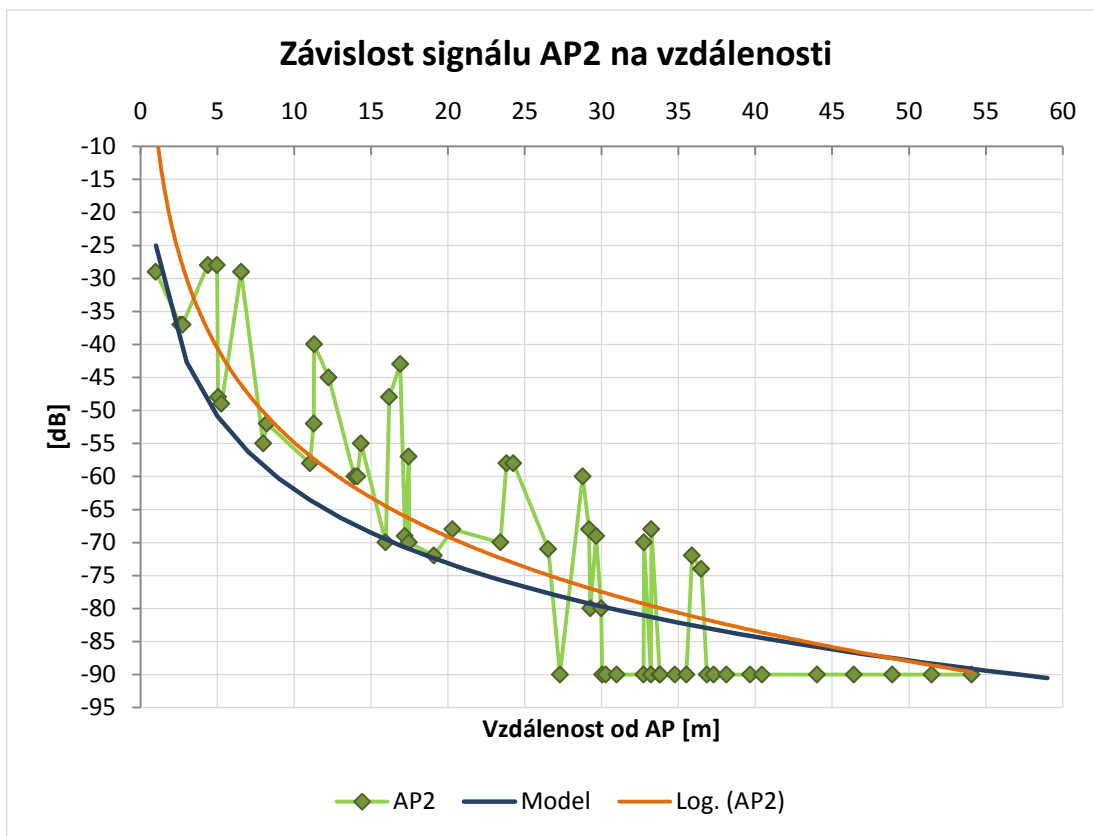
Obrázek 15: Závislost signálu AP1 na vzdálenosti

9.1.2 AP2 – PC102

- Medián: -28 dB
- Průměr: -28,84 dB



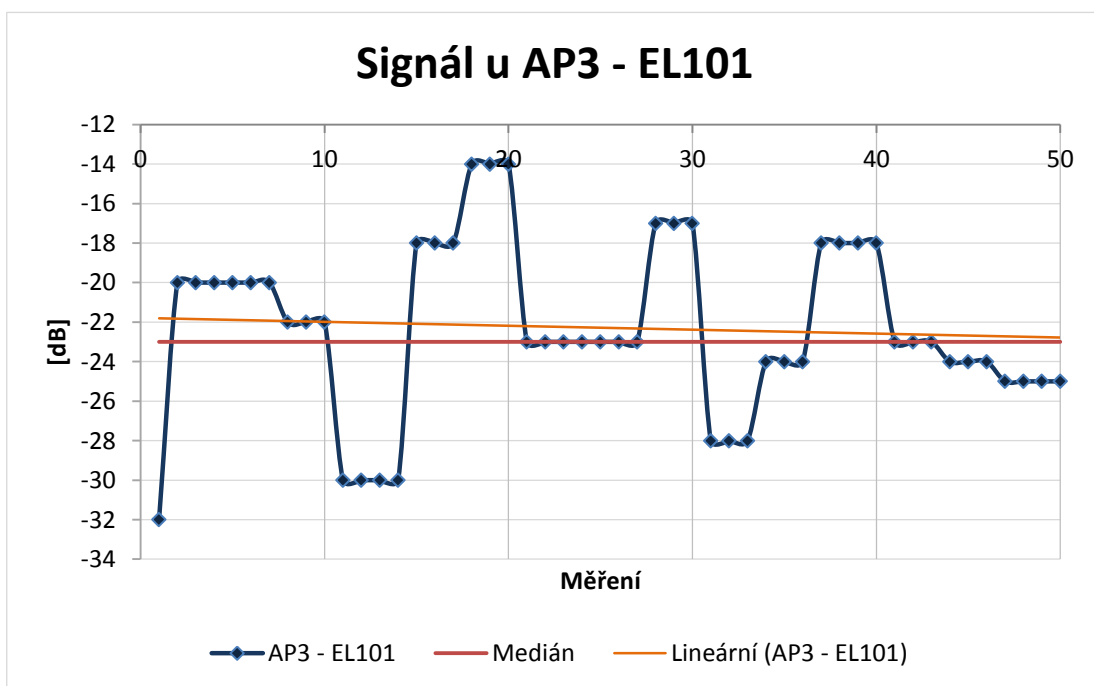
Obrázek 16: Průběh signálu u AP2



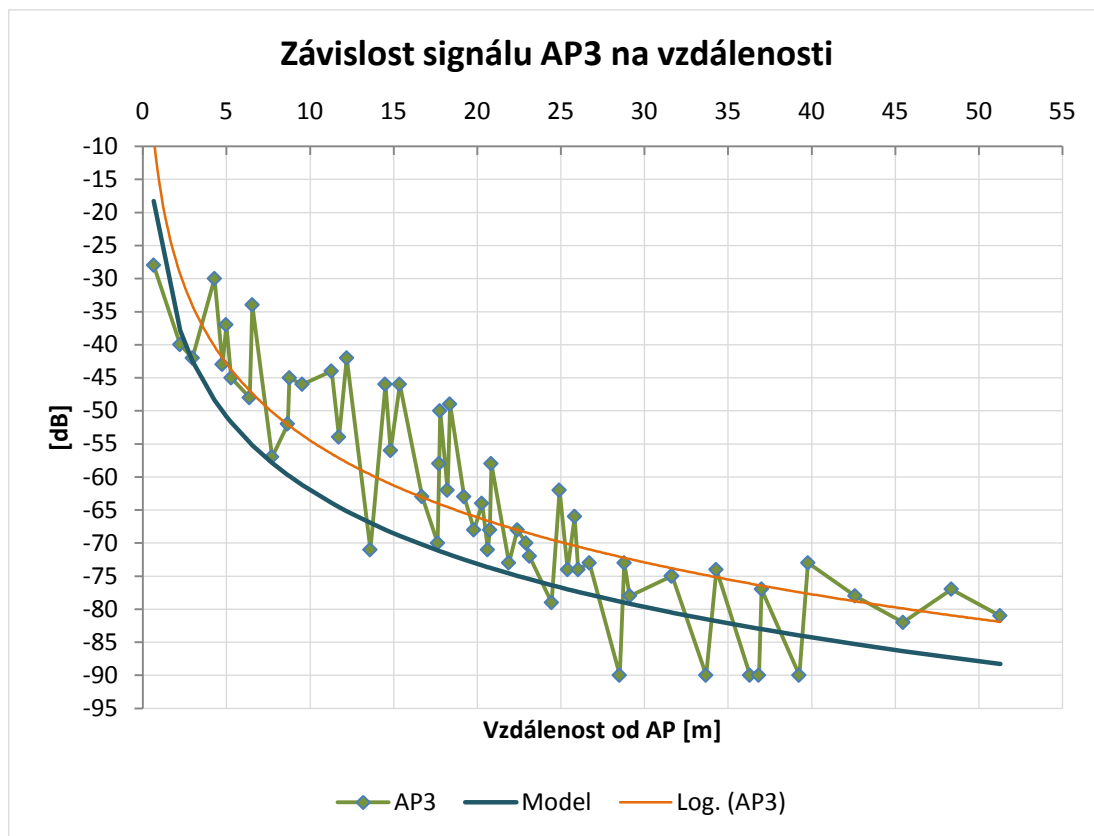
Obrázek 17: Závislost signálu AP2 na vzdálenosti

9.1.3 AP3 – EL101

- Medián: -23 dB
- Průměr: -22,3 dB



Obrázek 18: Průběh signálu u AP3



Obrázek 19: Závislost signálu AP3 na vzdálenosti

Zhodnocení měření přístupových bodů

Měření u přístupových bodů

Je vidět, že hodnoty průměrů a mediánů jsou vesměs stejné, kromě AP1, kde je rozdíl něco málo přes 2 dB. Jednotlivé hodnoty jsou od mediánu rozptýleny většinou do 5 dB, avšak výjimečně až o 10 dB.

Měření signálů v místech od přístupových bodů

Z naměřených grafů hodnot signálů v závislosti na vzdálenosti je vidět, že proložení regresní křivkou má dost podobný průběh jako podle teorie šíření vln, jen jsou křivky o několik decibelů posunuty. Průměrně jde o tyto hodnoty: u AP1 o 13 dB, u AP2 o 4,3 dB, přičemž se vzrůstající vzdáleností se rozdíl blíží k nule. U AP3 je průměrný rozdíl 7,5 dB.

Rozdíly mezi naměřenými daty a modelovými jsou v průměru následující. U AP1 je rozdíl 13,4 dB, u AP2 9,1 dB, nakonec u AP3 je rozdíl 9,2 dB.

Pro porovnání ještě uvedu poslední zbývající kombinaci rozdílů, průměrné rozdíly mezi regresní funkcí a skutečnými naměřenými hodnotami. U AP1 6,1 dB, u AP2 8,5 dB, u AP3 6,5 dB.

V následující tabulce jsou shrnuty předešlé rozdíly, navíc jsou uvedeny minimální a maximální hodnoty rozdílů pro jednotlivé varianty. Vysvětlení zkratk: M: hodnoty modelování, S: skutečné hodnoty, R: hodnoty podle regresní funkce.

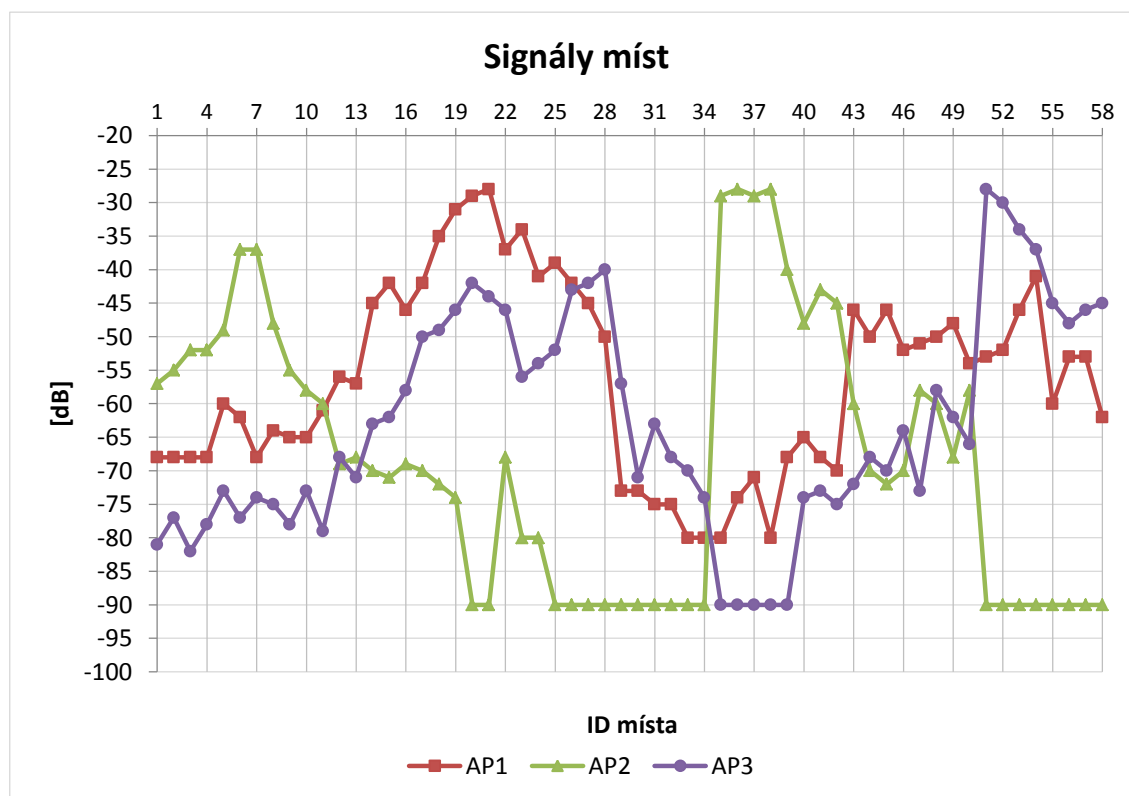
Tabulka 4: Porovnání hodnot signálů AP

	AP1			AP2			AP3		
Rozdíly:	MS	RM	RS	MS	RM	RS	MS	RM	RS
Průměr rozdílů:	13,4	13,0	6,1	9,1	4,3	8,5	9,2	7,4	6,5
Max. rozdíl:	27,6	14,6	16,9	27,4	16,9	22,6	23,2	9,5	19,2
Min. rozdíl:	1,4	9,7	0,0	0,1	0,1	0,8	0,5	6,7	0,1

9.2 Signály proměřených míst

Zde jsou v jednom grafu zobrazeny hodnoty signálů ve všech proměřených místech od všech AP. Jak je vidět, některá místa nemají dosah signálu všech AP. Všechny hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze Příloha B.

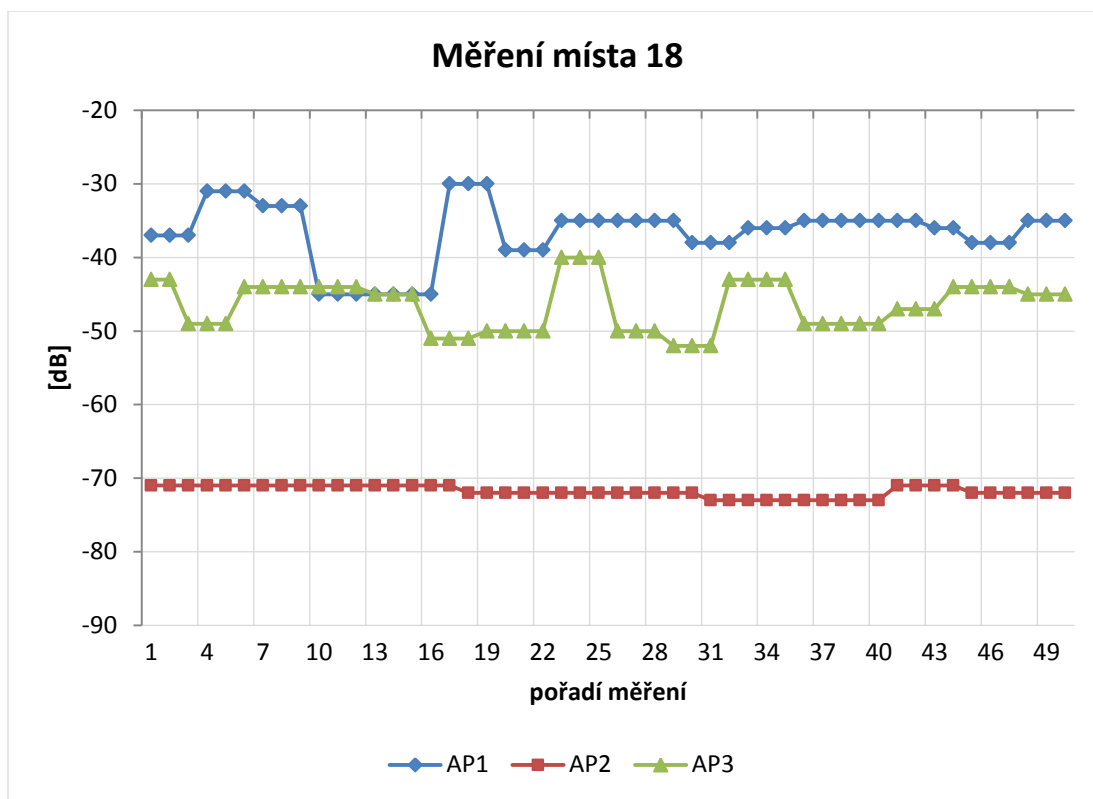
Hodnoty jsou uspořádány tak, že nejdříve jsou zobrazeny chodba 1, respirium, chodba 2, vjezd, chodba 3 a dále pak učebny PC102, PC103, PC105, PC104 a nakonec laboratoře EL101 a EL102.



Obrázek 20: Průběh signálů u všech míst

9.3 Měření vybraného místa

Pro ukázkou je zde graf z vybraného místa (místo 18) s úrovněmi signálů.



Obrázek 21: Průběh signálu u místa 18

Hodnoty místa 18 od všech AP

- Medián u AP1: -35 dB
- Průměr u AP1: -36,56 dB
- Medián u AP2: -72 dB
- Průměr u AP2: -71,78 dB
- Medián u AP3: -45 dB
- Průměr u AP3: -46,48 dB

Je vidět, že rozdíl hodnot je maximálně přes 10 dB, většinou se však pohybuje okolo 5 dB. Stejně jako u měření přístupových bodů, tak i zde je vidět, že hodnoty průměrů a mediánů jsou rozdílné maximálně o jednotky.

9.4 Změna sklonu křivky

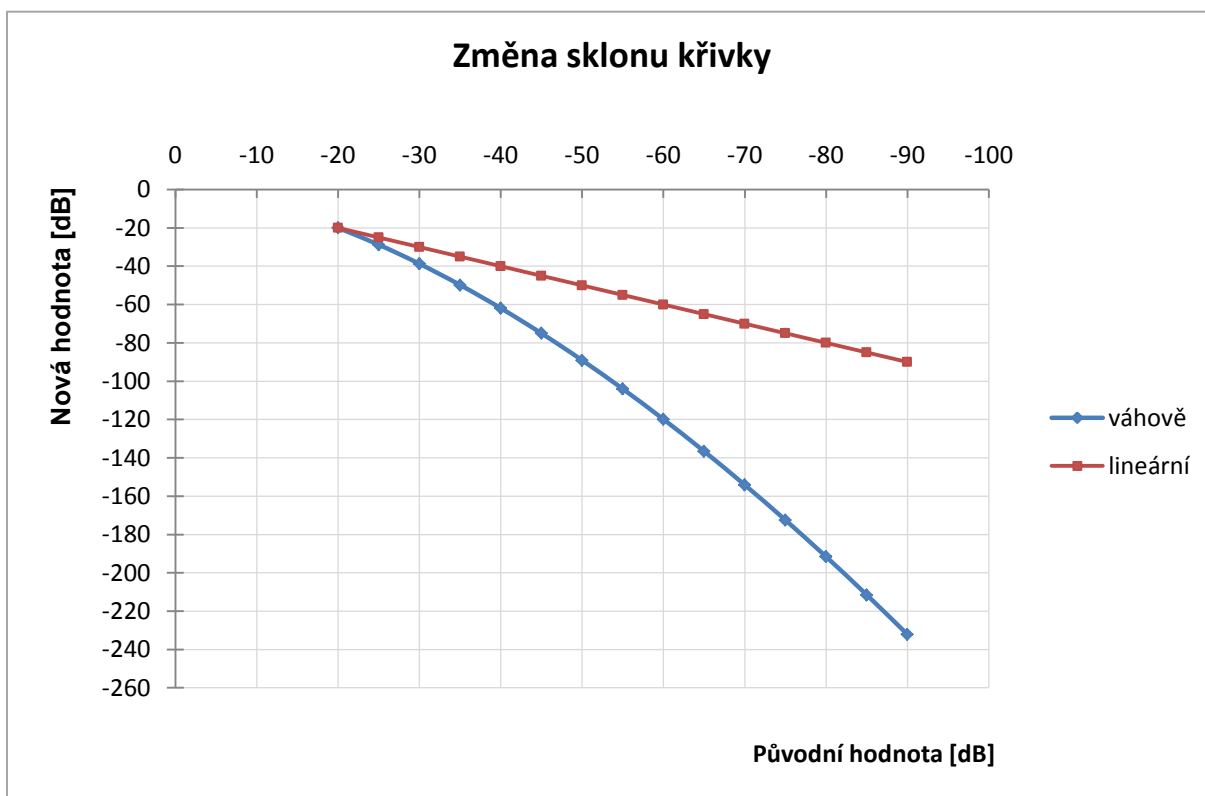
Pro zpřesnění výsledné polohy je využíváno změny sklonu signální křivky. Aby se zmenšil vliv signálů s nízkou úrovní, je navržena funkce, jejímž využitím se změní aktuální hodnota signálu. Úprava hodnoty změní tak, že čím větší (myšleno číslo v absolutní hodnotě) je původní hodnota, tím více se od ní nová hodnota odchýlí (obrázek 22).

Pro tuto modifikaci je nutné definovat dvě konstanty. První je mezní hodnota signálu, která udává výkon, nad který se v měřeném prostředí nedostane žádné AP. Druhou hodnotou je exponent, na který se výraz umocňuje (čím větší exponent bude, tím víc se původní hodnoty budou od nových odchylovat).

$$N = A * (A/M)^E \quad (2)$$

- N[dB] nová hodnota signálu
- A[dB] původní hodnota signálu
- M[dB] mezní hodnota, zvoleno -20 dB
- E[] exponent sklonu, zvoleno 0,63

Jak se signály přemění je vidět z následujícího obrázku.



Obrázek 22: Ukázka změny signálu

10 Popis vytvořeného systému

Tato kapitola popisuje aplikaci z hlediska struktury a funkčnosti. Jsou popsány významné třídy, detailně metody vedoucí k určení polohy a základní uživatelské funkce.

10.1 Architektura aplikace

Aplikace se skládá z několika hlavních tříd, které zapouzdřuje třída `WiFiLocator`. Běh systému je zajištěn pomocí několika vláken, v pracovním vláknu probíhá určování aktuální polohy, tzn. zjišťování signálů a matematické propočty, hlavní vlákno čeká na uživatelské požadavky.

10.1.1 Popis hlavních tříd

Zde jsou popsány nejdůležitější třídy aplikace.

WiFi

Jak je z názvu zřejmé, tato třída zajišťuje připojení k WiFi síti a další síťové funkce. Třída udržuje WiFi rozhraní. Funkce této třídy zjistí, jaké přístupové body jsou v okolí a jejich signál.

MapaObraz

Tato třída se stará o veškerou grafickou práci v aplikaci, to znamená o zobrazování a vykreslování všech částí na displej. Třída zahrnuje mapu prostředí a metody pro činnosti s ní nezbytné, např. posuny, změnu měřítka.

AccessPointy

Seskupuje přístupové body do seznamu, umožňuje práci s nimi a jejich uložení a načtení. U přístupových bodů je uchováváno: vlastní název, patro, pozice v mapě, pozice ve skutečnosti, signál přímo u AP, fyzická adresa AP, která slouží jako jednoznačný identifikátor.

MapaMist

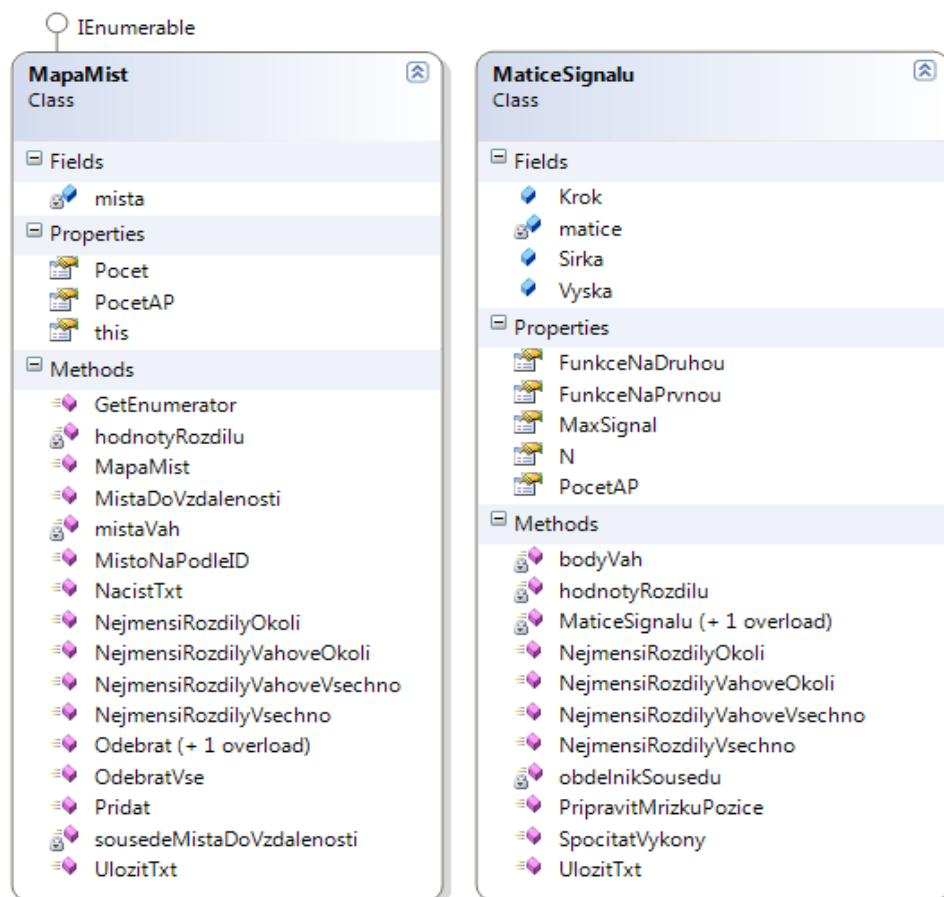
Shromažďuje všechny zadaná místa v seznamu. Místa mají číselný identifikátor, název, patro, popis, pozici na mapě a ve skutečnosti, pole signálů a sousedy, které uchovávají v datové struktuře slovník (`Dictionary`). Třída umí místa uložit nebo načíst a zahrnuje také funkce pro stanovení polohy korelačními postupy. Diagram této třídy je vidět na obrázku 23.

MaticeSignalu

Toto je třída, která umožňuje určovat polohu pomocí modelů šíření vln. Obsahuje potřebné parametry (šířka, výška, konstanta prostředí) a metody pro spočítání výkonu na zadaných souřadnicích a různé postupy k nalezení polohy. Diagram třídy je vidět na obrázku 23.

UrceniPolohy

Spolupracuje s třídami `MapaMist` a `MaticesIGNALu`. Zpracovává od nich získaná data a převádí je do konečné podoby. Udrží parametry pro určení polohy k oběma metodám. Výslednou určenou polohu poskytuje dále pro vykreslení.



Obrázek 23: Diagramy tříd `MapaMist` a `MaticesIGNALu`

10.2 Funkce systému

Aplikace umí určovat polohu podle několika metod založených na RSSI. Hlavní postupy jsou korelace prostředí a modelování signálů. Pro obě techniky je vytvořeno několik rozšíření, které se mohou kombinovat a docílit tak přesnější polohy. Jejich použití je předvedeno v kapitole 11.

10.2.1 Měření signálů

Pro měření signálů míst a přístupových bodů jsou k dispozici tři metody a volitelné zpoždění mezi jednotlivými měřeními. U zpoždění by se mělo uvažovat, že samotné snímání jednotlivých měření trvá také nějaký nezanedbatelný čas. Podle výběru výsledné hodnoty měření je možno rozlišit tři způsoby.

Aritmetický průměr hodnot

Jde o nejméně přesnou metodu, nerozeznává odlehlé hodnoty, výsledný signál je jen zprůměrování všech naměřených hodnot.

Medián

Jedná se o postup známý ze statistiky. Za výsledek se bere z lichého počtu prostřední hodnota ze seřazeného výběru, v případě sudého počtu vzorků je mediánem průměr z hodnot $n/2$ a $n/2+1$. Výhodou zde je, že se neberou v potaz extrémní a nesmyslné hodnoty.

Průměr okolo mediánu

Postup podobný předchozímu s tím rozdílem, že se výsledek neurčuje pouze z jedné nebo dvou hodnot, ale průměrem z několika hodnot okolo mediánu. Z kolika hodnot se stanoví výsledná, záleží na celkovém počtu vzorků. Vždy se berou hodnoty mediánu a dalších n/x čísel na obě strany od mediánu. Hodnota x je základně nastavena na 10.

Pro vysvětlení jednoduchý případ: Je naměřeno 100 hodnot. Hodnota $x = 100/10 = 10$. Medián je průměr hodnot na indexech 50 a 51. Výsledek tedy bude průměr hodnot na indexech 40 – 61.

10.2.2 Metody určování polohy založené na korelaci prostředí

Zde jsou uvedeny metody, které provádějí lokalizaci podle korelace prostředí podle RSSI z kapitoly 4.2.2. Uvedeny jsou základní metody, jejich vylepšení, programové řešení a další popis.

Poloha ze všech míst

Jedná se o základní metodu, která je poté dále různě rozšiřována, zpřesňována a zrychlována.

Představme si plochu, kde známe rozmístění a signály přístupových bodů, se kterými bude systém pracovat. Dále je v systému uložených několik míst. Určení polohy se provede tak, že se pro každé místo vypočte rozdíl hodnot uložených v systému a aktuálních hodnot signálů přístupových bodů. Tam, kde je rozdíl hodnot nejmenší, je s největší pravděpodobností skutečná poloha. Jestliže bude mít stejný rozdíl více míst, výsledná poloha se určí zprůměrováním těchto míst.

Ukázka kódu v C#, hledání nejmenšího rozdílu z míst

```
// pro všechny místa spočítám rozdíl
foreach(Misto misto in aktMista)
{
    soucet = 0;

    for(int i = 0; i < signaly.Length; i++) {
```

```

//když AP nenajde, nepočítá s ním
if(signalny[i] >= -90)
    soucet += rozdil(misto.Signalny[i], signalny[i]);
}

// když struktura neobsahuje aktuální rozdíl, vytvořím novou položku,
// kde klíč bude aktuální rozdíl a hodnota prázdný seznam míst
if(!rozdily.ContainsKey(soucet))
    rozdily.Add(soucet, new List<Misto>());

// přidám aktuální místo
rozdily[soucet].Add(misto);
rozdily[soucet].TrimExcess();
}

```

Matematické vyjádření

Rozdíl pro jedno místo by se matematicky mohl vyjádřit takto:

$$\Delta_{a,b} = \sum_{i=1}^n \text{abs}(a_i - b_i) \text{ [dB]} \quad (3)$$

$\Delta_{a,b}$ [dB] součet rozdílů signálů pro aktuálně zpracovávané místo

a_i [dB] hodnoty signálů aktuálně zpracovávaného místa uložené v systému

b_i [dB] hodnoty signálů aktuálně naměřených

n počet signálů místa (počet spolupracujících přístupových bodů)

Výběr z okolních míst

Při procházení areálu se dá uvažovat o tom, že se člověk bude pohybovat maximální rychlostí do 5 m/s. Tohoto faktu se dá využít v reálné aplikaci. Využití spočívá v tom, že se lokalizace nebude provádět ze všech míst, nýbrž jen z těch míst, která jsou tak daleko, aby se do nich mohl člověk dostat z poslední známé polohy.

Aplikace je pro toto uzpůsobená tak, že každé místo obsahuje sousedy spolu se společnými vzdálenostmi. Před lokalizací se vyberou místa, ze kterých se poloha bude počítat. Míst je potom podstatně méně, algoritmus na druhou stranu rychlejší a přesnější.

Váhování rozdílů

Z předchozích metod plyne jistá nevýhoda a to, že se poloha určuje pouze z nejmenšího rozdílu (jen z jednoho bodu). To může způsobit nepřesnosti, vysvětlení znázorním na příkladu.

V systému je množství míst. Zařízení přijme signály z přístupových bodů, zpracuje je (spočte rozdíly) a vrátí v seřazeném seznamu, jehož prvních šest položek může vypadat následovně:

Tabulka 5: Příklad využití váhování signálů

Rozdíl	5	6	7	8	20	23	...
Místa	M1	M2	M3	M4	M5	M6	...
Váhy	8/5	8/6	8/7	8/8			

V případě předešlých metod by byl výsledek místo M1. Jak je ale vidět, rozdíly dalších tří míst nejsou nijak výrazné a jednoduše se může stát, že tato čtyři místa budou při dalších snímáních signálů **ze stejného místa** seřazená jinak (možná změna v prostředí, např. pohyb lidí, otevírání dveří apod.) s podobně drobnými rozdíly. Výsledky by tedy byly pokaždé různé.

Využitím této modifikace se dosáhne toho, že se výsledná poloha bude určovat ze všech míst, jejichž rozdíl signálu se dá ještě považovat za přiměřeně odlišný od rozdílu nejmenšího, jak je vidět z tabulky 5 tedy první čtyři místa. Programově je tato vlastnost vyřešena tím, že se uchovává maximální násobek nejmenšího rozdílu.

Výpočet výsledné pozice se provede tak, že souřadnicím každého místa se určí jistá váha. Váha má hodnotu podílu maximálního rozdílu (v tomto případě 8 u M4) a jednotlivých rozdílů. Poté se vynásobí obě souřadnice každého místa váhou konkrétního místa ($M1.x*8/5$, $M1.y*8/5$, $M2.x*8/6$ atd.). Sečtou se výsledky pro jednotlivé souřadnice (x a y zvlášť) a nakonec se tyto součty vydělí součtem vah, tím vzniknou výsledné souřadnice.

Matematické vyjádření

Výpočet souřadnice X pomocí této metody je vyjádřen rovnicemi níže, pro Y souřadnici by se postupovalo analogicky.

$$D = \max(d_1, d_2, \dots, d_n) \quad (4)$$

$$v_i = \frac{D}{d_i} \quad (5)$$

$$S = \sum_{i=1}^n v_i \quad (6)$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * v_i}{S} \quad (7)$$

- $X[m]$ výsledná X souřadnice
- $d_i[dB]$ aktuální hodnota rozdílu
- $D[dB]$ maximální rozdíl ze všech zpracovávaných prvků
- $v_i[-]$ hodnota váhy pro aktuálně zpracovávaný prvek
- $S[-]$ suma všech vah
- $x_i[m]$ X souřadnice aktuálního prvku

Váhy signálů

Posledním vylepšením je využití váhování signálů popsané v kapitole 9.4. Tímto se zajistí, že hodnoty se špatným signálem budou mít menší vliv a hodnoty s lepším signálem způsobí menší rozdíly (= větší přesnost). K zpřesnění by mělo dojít především poblíž přístupových bodů.

Kombinace metod

Z předchozích čtyř metod a vylepšení lze sestavit celkem osm různých kombinací. Povinně se musí vybrat metoda ze všech míst nebo z okolí, váhování rozdílů a váhy signálů jsou volitelné.

Možné kombinace pro všechna místa jsou (pro okolí jsou to podobné metody):

- Poloha ze všech míst
- Poloha ze všech míst + váhy signálů
- Poloha ze všech míst váhově
- Poloha ze všech míst váhově + váhy signálů

10.2.3 Metody určování polohy založené na modelování signálů

Níže jsou představeny metody pro určení polohy modelováním signálu, kde se signál mění pouze podle vzdálenosti a změřené konstanty prostředí.

Signály od AP jsou uloženy v matici, jejíž parametry jsou šířka, výška a krok, např. prostor 50 x 20 m s krokem 0,5 m bude mít rozměry 101 x 41. Každá souřadnice matice má pole čísel znamenající signály od přístupových bodů.

Ukázka zdrojového kódu v programu MATLAB, vytvoření matice signálů

```
A = 75;% [m] - rozmer osa X
B = 64;% [m] - rozmer osa Y

% krok pro vytvoreni mrizky
krok = 1;

% vektory os
X = 0:krok:A;
Y = 0:krok:B;

% pozice AP
AP = [68.32, 49.79; 34.86, 54.07; 65.69, 34.25];

% konstanta prostredi
konst = 37;

% pro vsechny body v mrizce vypocist vzdalenost od vseh AP
% a pak vykon AP v techto bodech
for APx = 1 : size(AP)
    for k = 1 : A / krok + 1
```

```

for l = 1 : B / krok + 1
    % vzdálenost bodu
    r = sqrt( (X(k)-AP(APx,1))^2 + (Y(l)-AP(APx,2))^2 );

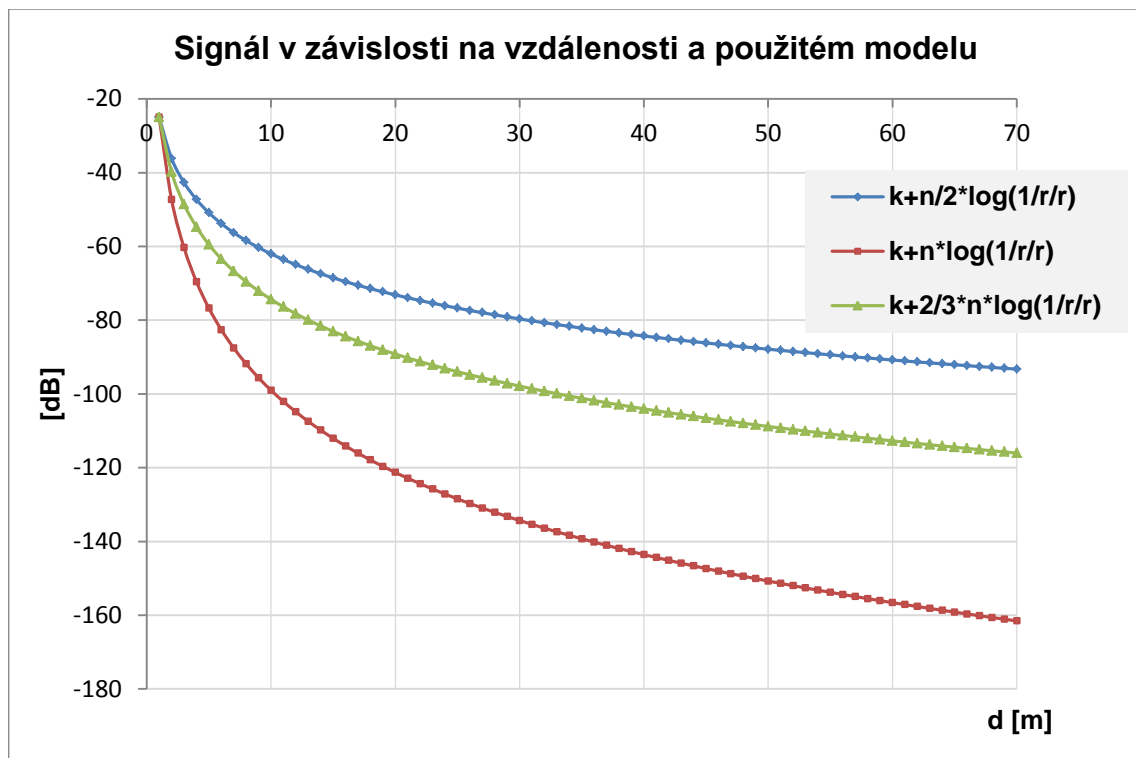
    % výkon v bode [k, l] od AP APx
    P_AP(APx, l, k) = konst * 10 * log10(1 / r / r);
end;
end;

% u AP signal na 0
P_AP(APx, AP(APx, 1) / krok + 1, AP(APx, 2) / krok + 1) = 0;
end;

```

Výpočet síly signálu

Jak se mění velikost signálu podle vzdálenosti a použitého modelu je vidět z obrázku 24. Zde jsou zobrazeny tři modely, aplikace pracuje s prvním z nich (počítá se s poloviční konstantou).



Obrázek 24: Signál pro modely šíření vln

Metody určení polohy

Metody pro určení polohy jsou u modelování signálu stejné jako u korelace prostředí, jen přizpůsobené pro využití s maticí. Tyto metody ale nelze využívat stejně jako postupy korelační. Nejsou totiž rozeznávány zástavby a ostatní překážky, signál je tedy odvozen pouze od vzdálenosti přístupových bodů, takže přesnost v zastavěném území je spíše orientační.

Všechny body matice

Základní metoda, ve všech uzlech matice spočítá rozdíl a vybere uzel, kde byl rozdíl nejmenší.

Okolní body matice

Podobně jako u korelace prostředí nebude počítat rozdíly u všech uzlů, ale jen v okolních od posledních známých. Kolik uzlů se bude propočítávat, závisí také na zvoleném kroku. Např. při posledním známém uzlu 30x30, kroku 0,5 m a maximální odchylce 4 m se zahrnou do výpočtů body od souřadnic 22x22 po 38x38. Rohové uzly neodpovídají maximální odchylce, přesto se do výpočtů zahrnují.

Váhování rozdílů

Opět podobný postup jako u korelace prostředí. Také se uchovává maximální násobek nejmenšího rozdílu, ovšem v porovnání s korelací by tento násobek měl být nepatrně menší, o kolik, záleží také na zadaném kroku. Čím menší krok bude, tím více míst se do výpočtů zahrne.

Váhy signálů

Tato modifikace funguje totožně jako u korelace, hodnoty signálů se tedy změní podle popisu v kapitole 9.4. Stejně i zde by mělo dojít k vylepšení, čím blíže bude vysílač k nějakému přístupovému bodu.

Kombinace metod

I kombinace metod jsou stejné jako u metod korelačních. Musí se vybrat lokalizace buď ze všech uzlů, nebo z okolních uzlů od posledních známých. Váhování rozdílů a váhy signálů jsou volitelné.

10.3 Užívání systému

Běh aplikace se může rozdělit do dvou fází. První fází je konfigurace systému, druhou fází je samotné určování polohy. Rozdělení je z důvodu, aby se koncoví uživatelé nezabývali všemožným nastavením, ale dostali do ruky program s hotovou konfigurací.

10.3.1 Konfigurační fáze

Konfiguraci by měl provádět někdo dobře seznámený s prostředím. Konfigurace se spustí vždy při vytváření nového nastavení nebo jsou možné změny dříve vytvořeného nastavení.

Vytvoření nové konfigurace

Při vytváření nové konfigurace je nutné zadat několik parametrů o novém prostředí. Nejdříve se nahraje obrázek prozkoumaného území, podporované formáty jsou PNG, GIF a JPEG. Spolu s obrázkem je nutné pro správné vykreslování zadat také

jeho měřítko, udává se v poměru, kolik pixelů je ve skutečnosti jeden metr. Krok matice a konstanta prostředí jsou nutné pro metody lokalizace pomocí modelování.

Nastavení nového prostředí

Při konfiguraci nového prostředí se přidávají přístupové body a poté pomocná místa. Hodnoty signálů je možné zadat i ručně. Signální matice se může přepočítat hned po zadání přístupových bodů nebo kdykoliv jindy před použitím.

Změna konfigurace

Konfiguraci prostředí je samozřejmě možno změnit i dále po vytvoření. Je možno manipulovat s přístupovými body i s pomocnými místy, upravit jejich signály, změnit sousedy a další změny. Při veškerých změnách přístupových bodů se musí upravit signály míst a přepočítat signálovou matici.

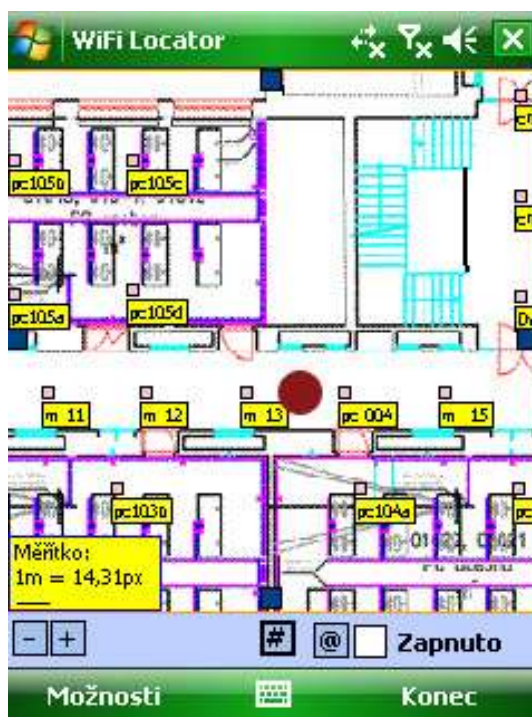
10.3.2 Uživatelská fáze

V této fázi, pro koncové uživatele víceméně jediné podstatné, dochází k určování polohy. Poloha se může určit okamžitě nebo se může automaticky obnovovat. Metodu určení polohy a její parametry si uživatel může přizpůsobit.

Dále má uživatel možnost měnit si různé detaily zobrazení a popis objektů, jako je například zobrazení nebo skrytí AP a zadaných míst a formát jejich popisků.

Nahrání a uložení konfigurace

Celou konfiguraci je možno uložit nebo načíst. Konfigurace je rozložena do několika souborů.



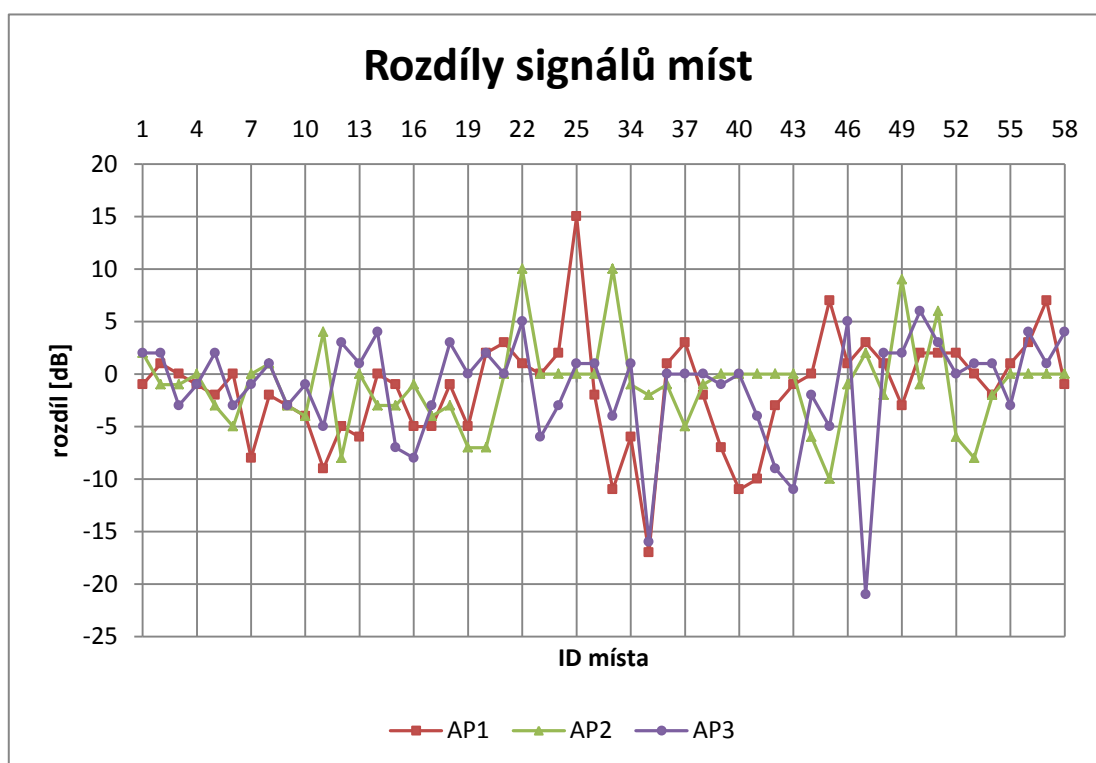
Obrázek 25: Ukázka aplikace

11 Reálné měření

V této kapitole je popsáno otestování vybraných metod v reálném měření při pohybu po chodbách a v místnostech. K testování byly vybrány některé metody korelace i modelování signálů. Testování probíhalo ve zmíněném prostředí FEI UPCE (viz 8.3.1). V těchto měřeních se neobjevují místa na chodbě 3 (čísla 28 – 32), protože dosah signálů v těchto místech je velmi špatný.

11.1 Naměřené hodnoty signálů pro testování

Naměřené hodnoty v prostorách pro účel reálného testování jsou uvedeny v příloze Příloha C. Zde jsou uvedeny jen rozdíly mezi tímto měřením a daty z prvotního měření míst uloženými v systému.



Obrázek 26: Rozdíly hodnot signálů míst mezi uloženými a testovacími

Jak je z grafu vidět, většinou se rozdíly pohybují v řádech jednotek dB, výjimečně se přehoupnou přes 10 dB, maximální rozdíl byl dokonce 21 dB. Větší rozdíly se objevují v místnostech. Záporné hodnoty znamenají, že originální signál je nižší (větší v záporných číslech).

Průměrně rozdíly jsou:

- U AP1: 3,56 dB
- U AP2: 2,73 dB
- U AP3: 3,25 dB

11.2 Měření ze všech míst pomocí korelace prostředí

Níže budou uvedeny výsledky proměření pro metody nejmenších rozdílů, kdy se výsledná poloha určuje ze všech míst v systému.

11.2.1 Poloha ze všech míst

Jako první byla vybrána základní metoda korelace prostředí.

Tabulka 6: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst

Průměrná odchylka:	3,15 m
Odchylka na chodbách:	3 m
Odchylka v místnostech:	3,3 m
Lokalizace míst chodby:	85%
Lokalizace místností:	83%
Odchylka špatně určených míst na chodbách:	7 m
Odchylka špatně určených míst v místnostech:	6,5 m
Přesná poloha:	36%
Maximální chyba:	15,6 m
Chybných míst nad 10 m	2

Tabulka 7: Přesnost korelační metody ze všech míst

Max. odchylka [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Správnost lokalizace [%]	37	44	57	67	75	80	90	94	96	98

Maximální chyby

Maximální chyby této metody byly u míst 10 a 11.

- Místo 10 na chodbě 1 15,6 m, určeno místo 5 na chodbě 1
- Místo 11 na chodbě 1: 10,3 m, určeno místo 43 v učebně PC104

11.2.2 Poloha ze všech míst + váhy signálů

Druhou metodou je poloha ze všech míst s vahami signálů.

Tabulka 8: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst za použití vah signálů

Průměrná odchylka:	3,54 m
Odchylka na chodbách:	3 m
Odchylka v místnostech:	4,2 m
Lokalizace míst chodby:	89%
Lokalizace místností:	83%

Odchyłka špatně určených míst na chodbách:	7 m
Odchyłka špatně určených míst v místnostech:	13 m
Přesná poloha:	40%
Maximální chyba:	16 m
Chybných míst nad 10 m	5

Tabulka 9: Přesnost korelační metody ze všech míst s váhy signálů

Max. odchyłka [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Správnost lokalizace [%]	37	41	44	63	75	77	88	90	90	92

Maximální chyby

Největších chyb se u této metody dosáhlo v těchto místech:

- Místo 10 na chodbě 1 15,6 m, určeno místo 5 na chodbě 1
- Místo 11 na chodbě 1: 10,3 m, určeno místo 43 v učebně PC104
- Místa 48 a 49 v učebně PC103 12 a 13,6 m, určeno místo 8 na chodbě 1
- Místo 54 v učebně PC105 16 m, určeno místo 45 v učebně PC104

Průměrná přesnost u této metody je o něco menší než u základní metody, to je ovšem zapříčiněno velkými chybami, uvedenými výše. Kdyby se např. místa v učebnách s maximálními chybami určila o něco lépe, byla by přesnost této metody o něco lepší než v předchozím případě.

11.2.3 Poloha ze všech míst váhově

V další metodě se poloha vybírala ze všech míst a navíc se přidalo váhování rozdílů. Touto metodou bylo provedeno více měření s různými koeficienty (rozdíl míst s nejmenším rozdílem a největším přípustným). Z měření vyšlo, že maximální možný použitelný koeficient vah rozdílů je 2. Obecně by se dalo říci, že čím větší koeficient, tím menší maximální rozdíl skutečné a nalezené pozice. Naopak, čím menší koeficient, tím více míst se nalezne přesně. Jsou uvedeny dva vybrané případy.

Poloha ze všech míst váhově

Tabulka 10: Výsledky měření korelační metodou ze všech míst váhově

	Koeficient 1,15	Koeficient 1,5
Průměrná odchyłka:	3,39 m	3,64 m
Odchyłka na chodbách:	3,1 m	2,85 m
Odchyłka v místnostech:	3,32 m	4,6 m
Lokalizace míst chodby:	90%	86%
Lokalizace místností:	87%	87%

Odchylka špatně určených míst na chodbách:	7 m	6 m
Odchylka špatně určených míst v místnostech:	13,5 m	13 m
Přesná poloha:	30%	30%
Maximální chyba:	15,6 m	16 m
Chybných míst nad 10 m	5	2

Tabulka 11: Přesnost korelační metody ze všech míst váhově

Max. odchylka [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Správnost lokalizace [%] – 1,15	38	40	67	80	82	88	90	91	91	91
Správnost lokalizace [%] – 1,5	17	31	42	63	75	86	90	90	96	97

Maximální chyby s koeficientem 1,15

Maximálních chyb v této metodě se dosahuje u stejných míst jako v předchozí metodě. I místa špatně určená jsou totožná.

Maximální chyby s koeficientem 1,5

Největší chyby se zde nachází v místech 49 v učebně PC103, kde je posun o 12,3 m a v místě 54 v učebně PC105, tam je rozdíl 16 m.

11.2.4 Poloha ze všech míst váhově + váhy signálů

Poslední uvedenou metodou určování polohy ze všech míst je postup, kde se využívá váhování rozdílů i vah signálů.

Poloha ze všech míst váhově (koeficienty 1,15 a 1,5) + váhy signálů

Tabulka 12: Výsledky korelační metody všech míst váhově s váhováním signálů

	Koeficient 1,15	Koeficient 1,5
Průměrná odchylka:	3,25 m	3,42 m
Odchylka na chodbách:	3 m	2,95 m
Odchylka v místnostech:	3,5 m	3,94 m
Lokalizace míst chodby:	93%	87%
Lokalizace místností:	83%	84%
Odchylka špatně určených míst na chodbách:	4,5 m	3,7 m
Odchylka špatně určených míst v místnostech:	6 m	7 m
Přesná poloha:	30%	10%
Maximální chyba:	15,6 m	12 m
Chybných míst nad 10 m	2	1

Tabulka 13: Přesnost korelační metody ze všech míst váhově s váhováním signálů

Max. odchylka [m]:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Správnost lokalizace [%] – 1,15	31	37	44	63	77	83	90	94	96	97
Správnost lokalizace [%] – 1,5	11	33	44	70	79	87	90	92	94	98

Maximální chyby s koeficientem 1,15

- Místo 10 na chodbě 1: 15,6 m, určeno místo 5 na chodbě 1
- Místo 11 na chodbě 1: 10,3 m, určeno místo 43 v učebně PC104

Maximální chyby s koeficientem 1,5

S tímto nastavením se docílilo pouze jedné chyby větší než 10 m a to u místa 49 v učebně PC103, odchylka byla necelých 12 m.

11.2.5 Vyhodnocení chyb měření ze všech míst

Nejhůře určovanými místy s uvedenými průměrnými rozdíly byly tyto:

- Místo 10 13 m
- Místo 11 11 m
- Místo 54 v učebně PC105 9 m
- Místo 48 v učebně PC103 8 m
- Místo 49 v učebně PC103 9 m

Místo 10

V tomto místě jsou původní signály [-65 dB; -58 dB; -73 dB], hodnoty pro testování byly naměřeny [-61 dB; -54 dB; -72 dB], z toho vyplývají rozdíly [4 dB; 4 dB; 1 dB], které nejsou nikterak veliké. Problém je v tom, že místo 5 má hodnoty signálů také o jednotky dB odlišné od svých původních, rozdíly původních hodnot a testovacích se rovnají [1 dB, 5 dB, 1 dB], a to je méně než u správného místa. Právě proto u místa 10 dochází ke špatnému stanovení polohy.

Místo 11

U tohoto místa je chyba v tom, že hodnoty signálů pro testování vyšly více odlišně od uložených hodnot. Konkrétně to bylo o [9 dB, 4 dB, 5 dB], což je poměrně dost, a tak více jiných míst mělo rozdíl menší, například místo 43 v učebně PC104 dokonce více než dvojnásobně, místa 51 a 52 v učebně PC105 nebo místa 12 a 13. Výsledná poloha pro toto místo se tedy určovala z těchto míst.

Místo 48

Podstatou špatné lokalizace je tu to, že místo 8 má stejný rozdíl signálů (v základní metodě, v jiných jen nepatrně odlišný), proto se výsledná poloha určuje jako kombinace těchto dvou míst a dále dalších dvou míst v této místnosti, které mají rozdíly také dost podobné.

Místo 49

U tohoto místa je problém podobný jako u místa 11, signály pro testování vyšly odlišně od originálních ([3 dB, 9 dB, 2 dB]), takže se výsledná poloha určuje z jiných míst.

M54

Zde je chyba obdobná s místem 48, stejný rozdíl jako zde je u dalšího místa ve stejné místnosti, ale především v další učebně.

11.3 Měření z okolních míst pomocí korelace prostředí

Pro metody pracující na principu, že využívají rychlost chůze, byly provedeny také testy u všech čtyř různých kombinací, ovšem některé z nich jsou pro praktické využití nepoužitelné.

Určení polohy podle metod "*Poloha z okolních míst*" a "*Poloha z okolních míst + váhy signálů*" dalo špatné výsledky, takže zde ani nejsou uvedeny. Hlavní důvod je ten, že se výsledná poloha vybírala jen z jednoho místa. To mohlo mít za následek to, že absolutní chyba byla sice přijatelně malá, ale s dalším opakováním takovéto chyby při pohybu, by se výsledná poloha stanovovala čím dál hůře a člověk by při pohybu mohl uvíznout na jednom místě.

Stejný problém nastával, pokud se vzdálenost okolí nastavila na méně než 8 m.

11.3.1 Poloha z okolí váhově

Výsledky tohoto postupu se dají považovat za docela přijatelné. Parametry zde byly nastaveny takto: koeficient rozdílů míst: 1,15, maximální vzdálenost okolí 8 m.

Tabulka 14: Výsledky měření korelační metodou okolních míst váhově

Průměrná odchylka:	3,3 m
Odchylka na chodbách:	2,5 m
Odchylka v místnostech:	4,2 m
Lokalizace míst chodby:	81%
Lokalizace místností:	80%
Odchylka špatně určených míst na chodbách:	6,5 m
Odchylka špatně určených míst v místnostech:	11 m
Přesná poloha:	40%
Maximální chyba:	16,5 m
Chybných míst nad 10 m	6

Tabulka 15: Přesnost korelační metody z okolních míst váhově

Max. odchylka [m]:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Správnost lokalizace [%]	35	38	45	71	80	83	90	90	90	90

Maximální chyby

Maximálních chyb se u tohoto postupu dosahuje okolo učebny PC105, kde mělo šest míst chybu od 10 do 16 metrů.

11.3.2 Poloha z okolí váhově + signály vahami

Tímto postupem bylo provedeno několik měření s různými parametry, tři z nich jsou zde uvedené.

- M1: vzdálenost okolí: 8m koeficient vah rozdílů: 1,15
- M2: vzdálenost okolí: 8m koeficient vah rozdílů: 1,5
- M3: vzdálenost okolí: 10m koeficient vah rozdílů: 1,5

Tabulka 16: Výsledky měření korelační metodou okolních míst váhově + váhy signálů

	M1	M2	M3
Průměrná odchylka:	3,3 m	3,9 m	3,1 m
Odchylka na chodbách:	2,5 m	4,5 m	2,8 m
Odchylka v místnostech:	4,2 m	3,4 m	3,5 m
Lokalizace míst chodby:	81%	60%	90%
Lokalizace místností:	66%	85%	93%
Odchylka špatně určených míst na chodbách:	7 m	7,5 m	5,5 m
Odchylka špatně určených míst v místnostech:	8,4 m	6 m	8,5 m
Přesná poloha:	30%	9%	10%
Maximální chyba:	16,5 m	15 m	9 m
Chybných míst nad 10 m	6	3	0

Tabulka 17: Přesnost korelační metody z okolních míst váhově + váhy signálů

Max. odchylka [m]:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	30	33	40	65	73	80	87	87	90	90
M2	13	30	38	58	68	78	85	90	93	95
M3	13	28	48	73	83	90	92	97	98	100

Maximální chyby měření M1

Maximálních chyb se zde dosahuje podobně jako u předchozí metody okolo učebny PC105, kde mělo také šest míst chybu od 10 do 16 metrů.

Maximální chyby měření M2

Změnou koeficientu se dosáhlo mírně odlišných výsledků, které jsou na první pohled horší než s menším koeficientem. Místa s největšími chybami se nachází mezi učebnou PC104 a respiriem, rozdíly jsou od 10 m do 15 m.

11.3.3 Vyhodnocení chyb a měření z okolních míst

Hlavním problémem v testování metod pracujících na principu okolí byl v tom, že v některých případech došlo k uvíznutí, u měření M1 tomu tak bylo v učebně PC105 a od místa 11 na chodbě 1 mezi učebnami PC103 a PC105 se určuje špatně. U měření M2 uvíznutí vzniklo v místnosti PC104 pro několik dalších míst. Kdyby k uvíznutí nedošlo, je přesnost těchto metod vysoká.

Nejlépe ze všech měření korelací vyšlo měření M3, kdy se všechna místa určila do 10 m, a 90% případů se vešlo do 6 m.

11.4 Měření pomocí modelování signálů

Tyto metody by teoreticky neměly být moc přesné, protože vytvořená aplikace neumí rozeznávat zástavby a jimi způsobené změny signálů.

11.4.1 Poloha ze všech bodů matice

Pro toto měření se nastavil krok na číslo 1, vytvořila se tedy mřížka, kde rozstup jednotlivých přímků byl jeden metr. Výsledky této metody by se daly rozdělit do pěti oblastí, dvě z nich poskytují přijatelné výsledky, zbylé tři ne. Na obrázcích jsou zobrazeny výsledky pro každou oblast, jednotlivá místa mají stejnou barvou vykreslena správnou a vypočítanou polohu.

Oblast 1

Tímto územím jsou myšleny první čtyři místa od vchodových dveří na chodbě 1. Průměrná odchylka zde dosahuje 15,7 m.



Obrázek 27: Přesnost modelování signálů na začátku chodby

Oblast 2

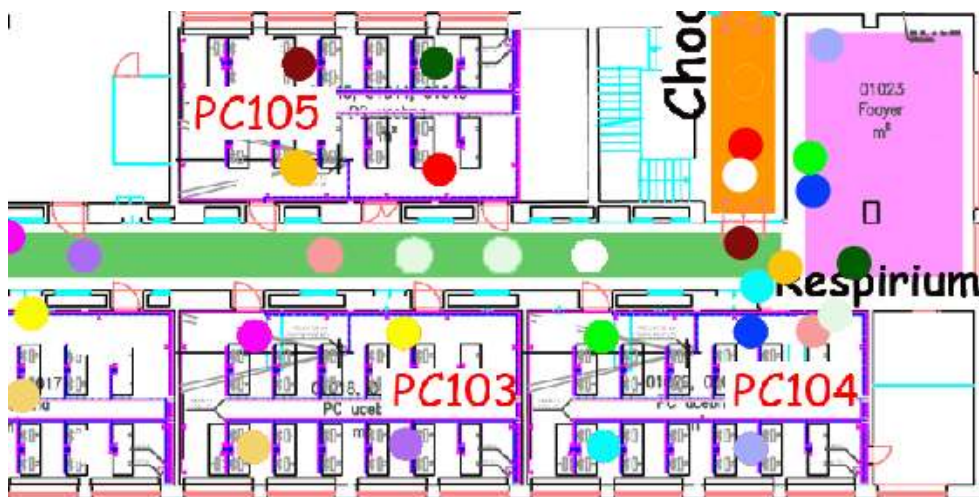
Pokud by se postupovalo z oblasti 1 dále, dostaneme se blíže k přístupovému bodu 2. Zde jsou výsledky testování slušné. Z deseti míst (4 v místnosti PC102) je průměrná odchylka 4 m. Přesnost určení je na dalším obrázku.



Obrázek 28: Přesnost modelování signálů okolo AP2

Oblast 3

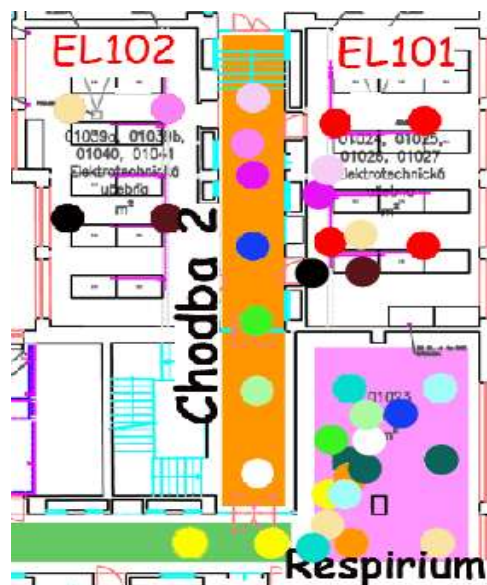
Třetí oblast tak dobré výsledky nemá, z 16 míst (z toho ale jen 4 na chodbě 1) se naměřil průměrný rozdíl 13 m.



Obrázek 29: Přesnost modelování signálů okolo učeben PC103, PC104, PC105

Oblasti 4

Měření v ploše okolo AP1 poskytlo dobré výsledky, patří sem místa 15 a 16 z chodby 1, místa v respiriu, na chodbě 2 a laboratoři EL101. V této laboratoři se ze všech čtyř míst určilo jako výsledek totožné místo, to ovšem nevádí, protože se nachází také ve stejné laboratoři. Přesnost v tomto území byla průměrně 4,3 m.



Obrázek 30: Přesnost modelování signálů okolo respiria

Oblast 5

Poslední čtyři místa se nacházejí v laboratoři EL102, jak je vidět z předchozího obrázku, kromě jednoho místa jsou výsledky dost odlišné, průměrně o 8,3 m.

11.4.2 Závěr z měření modelováním signálů

Z měření je patrné, že přijatelných rozdílů se dosáhne, když je přijímač blízko přístupových bodů a nejsou mezi nimi větší překážky. Průměrný rozdíl u této metody je 8,2 m.

Pro testování algoritmů založených na modelování signálů byla vybrána pouze tato metoda, protože ostatní mají velmi podobné výsledky.

11.5 Zpřesnění výsledné polohy

Určovaná poloha by se dala zlepšit několika skutečnostmi. Uvedu několik možných vylepšení.

11.5.1 Rozmístění / přidání přístupových bodů

V teoretických kapitolách bylo napsáno, že rozmístění přístupových bodů je důležitou vlastností pro správnou lokalizaci a čím více přístupových bodů se nachází ve zkoumaném areálu, tím lépe může vycházet výsledná poloha. V tomto prostředí byly zvoleny tři AP, navíc dosah od všech nebyl v každém bodě, takže se rozhodně nejednalo o ideální prostředí. Lepším rozmístěním nebo přidáním AP by se dalo docílit zmenšení maximálních chyb a dovolím si tvrdit, že kdyby v tomto prostředí byly čtyři přístupové body, nebyla by chyba u korelačních metod větší než 10 m. Při změně pozic AP je však nutné se zabývat také datovou propustností a vzájemným rušením.

11.5.2 Zpřesnění měření

Lepších výsledků by se mohlo dosáhnout také lepším přeměřením míst nebo změřením více či méně míst, např. v místnostech měřit pouze jeden bod a tyto změny potom porovnat v testování. Tento nástin ovšem ukazuje na časovou náročnost korelace prostředí.

11.5.3 Algoritmus

Dalším potenciálním zlepšením by mohla být změna algoritmu nebo jeho některých důležitých částí.

Lepší trasování

Změnou, která by pomohla ke zlepšení stávajícího algoritmu, by zajisté mohlo být vylepšení trasování. To by zahrnovalo sledování více věcí současně, např. historii signálů, vlastnosti prostředí, pohyb tělesa v prostoru a podobně. Muselo by se samozřejmě uvažovat také nad časovou náročností prováděných operací.

11.5.4 Rozpoznávání prostředí

Pro modelování signálů by se významného zlepšení dosáhlo, pokud by software uměl rozeznat prostředí. Potom by se lépe zpracovaly ztráty při průchodu signálu skrz zdi a rušení jinými objekty. Je to ovšem velmi náročné, ať už jde o samotnou tvorbu podobného softwaru nebo i integraci do lokalizačního systému v mobilním zařízení.

12 Závěr

Diplomová práce se zabývá systémy pro určování polohy mobilních zařízení pohybujících se v bezdrátových datových sítích, jejich rozdělením, principem, využitými technologiemi k přenosu dat a dosahovanými přesnostmi. V praktické části je popsán návrh a realizace takového systému pro mobilní zařízení v podobě přenosného počítače nebo PDA.

Cílem práce bylo vytvořit software pro určování polohy mobilního zařízení. Byla vytvořena aplikace umožňující určení polohy podle několika různých algoritmů. Aplikace je popsána ve druhé části práce, kde je také popsáno prostředí Fakulty elektrotechniky a informatiky, kde se software testoval v reálných podmínkách a kde byla prokázána jeho funkčnost.

Algoritmy aplikace fungují na principu RSSI, pro korelaci prostředí i modelování signálů bylo vytvořeno osm různých kombinací. Metody modelování signálů fungují jen orientačně, aplikace totiž neumí rozpoznávat zástaveb. Průměrná přesnost v modelovacích postupech byla v celém testovaném prostředí 8,2 metrů, když byl vysílač blíže některým přístupovým bodům, výsledky se zlepšily na rozdíly okolo 4 m.

Algoritmy aplikace fungují na principu RSSI, pro korelaci prostředí i modelování signálů bylo vytvořeno osm různých kombinací. Metody modelování signálů fungují jen s nízkou přesností určení polohy, aplikace totiž neumí rozpoznávat typ zástavby. Průměrná přesnost v modelovacích postupech byla v celém testovaném prostředí 8,2 metru, když byl vysílač blíže některým přístupovým bodům, výsledky se zlepšily na odchylky okolo 4 metrů.

Oproti tomu algoritmy založené na korelaci prostředí poskytují lepší výsledky, při správně nastavených parametrech vykazují odchylku průměrně 3 až 4 metry, v devadesáti procentech případů je software schopen lokalizovat zařízení s odchylkou do sedmi metrů. Přítomnost zařízení v místnosti mimo chodbu aplikace rozezná v 85 procentech případů. Nejlepší výsledky poskytovala metoda korelace prostředí, kdy se poloha vybírala z okolních míst s využitím vah rozdílů a váhování signálů. Při použití této metody byla všechna místa lokalizována s odchylkou do 10 metrů, 90 procent míst se určilo s maximální odchylkou 6 metrů.

Aplikaci je dále možno rozvíjet, možnosti vylepšení a přidávání dalších funkcí pro zvýšení přesnosti lokalizace jsou uvedeny v poslední kapitole. Aplikaci by dále šlo rozšířit o určování polohy zařízení pro více podlaží budovy, k čemuž je aplikace uzpůsobená nebo vylepšit další funkce, jako je například zrychlení síťových funkcí.

Přestože se v materiálech dostupných od dodavatelů systémů i v této práci píše o systémech a technologiích využitelných pro určení polohy mobilního zařízení, jedná se vždy o systémy, které polohu pouze odhadují na základě reálného měření v kombinaci s modely šíření rádiových signálů. Proto je nutné vždy počítat s nepřesnostmi vznikajícími

v důsledku měnícího se okolního prostředí, konkrétní polohy sledovaného zařízení nebo stavu bezdrátové sítě. Tyto systémy však představují významné zlepšení orientace uvnitř rozsáhlých objektů, které nejsou pokryty signálem satelitních systémů nebo mobilních komunikačních sítí.

Zdroje informací

- [1] *Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický* [online]. 2006 [cit. 2011- 8-14]. Porovnání systémů určení polohy a navigace v budovách. Dostupné z WWW: <<http://www.vugtk.cz/nzk/c3-06/retscher.htm>>.
- [2] *GSM World* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] GSM Technology. Dostupné z WWW: <<http://www.gsm.org/technology/index.htm>>.
- [3] *Access server* [online]. 2006 [cit. 2011- 8-14]. Základní lokalizační metody v GSM. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006022801>>.
- [4] *Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics* [online]. 2011 [cit. 2011- 8-14]. GPS Overview. Dostupné z WWW: <<http://www.gps.gov/systems/gps/>>.
- [5] *Komunitní portál: Linux, Open Source, BSD a jiné unixy.* [online]. 2011 [cit. 2011- 8-14]. GPS a komunikační protokol NMEA - 1. Dostupné z WWW: <<http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-1-princip-historie>>.
- [6] *RFID portál.* [online]. 2009 [cit. 2011-8-14]. Základní informace o technologii RFID. Dostupné z WWW: < http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne >.
- [7] PATRICK ZANDL. *WiFi – Praktický průvodce.* Nakladatelství Computer Press, a.s., 2006. 190 s. ISBN 80-7226-632-2.
- [8] PUŽMANOVÁ RITA. *Moderní komunikační sítě.* 2. vyd. Nakladatelství Computer Press, a.s., 2006. 430 s. ISBN 80-251-1278-0.
- [9] PECHAČ PAVEL. *Šíření vln v zástavbě.* 1. vyd. Nakladatelství BEN. 2005. 108 s. ISBN 80-7300-186-1.
- [10] *Barco - lokalizační systémy RTLS pro sledování majetku, zboží a osob* [online]. [cit. 2011- 8-14]. Technologie & produkty - RTLS systémy. Dostupné z WWW: <<http://www.barco.cz/?id=produkty&sel=rtls-1>>.
- [11] *RTLS - Gaben, určování polohy v reálném čase* [online]. [cit. 2011- 8-14]. Lokalizace osob a předmětů. Dostupné z WWW: <http://www.gaben.cz/katalog_datasheet.asp?mlevel=4&i=220&si=227>.
- [12] *RTLS - Gaben, určování polohy v reálném čase* [online]. [cit. 2011- 8-14]. Systém pro určování polohy. Dostupné z WWW: <http://www.gaben.cz/katalog_datasheet.asp?mlevel=12&i=220&si=225>.
- [13] *Ekahau - WiFi Tracking Systems, RTLS and WLAN Site Survey* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Ekahau RTLS Controller. Dostupné z WWW: <<http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/positioning-engine.html>>.
- [14] *Ekahau - WiFi Tracking Systems, RTLS and WLAN Site Survey* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Ekahau Vision. Dostupné z WWW: <<http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/vision.html>>.
- [15] *Ekahau - WiFi Tracking Systems, RTLS and WLAN Site Survey* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] The Science of High-Performance Wi-Fi Real Time Location System. Dostupné z WWW: <<http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/overview/technology.html>>.

- [16] *RTLS - Westico Visibility Systém - lokalizace majetku a osob v bezdrátové WiFi síti* [online]. 2009[cit. 2011- 8-14] Westico Visibility System. Dostupné z WWW: <<http://www.westico.cz/pages/products/visibility-system.html>>.
- [17] *RTLS - Westico Visibility Systém - lokalizace majetku a osob v bezdrátové WiFi síti* [online]. 2009[cit. 2011- 8-14] Westico W100 tag. Dostupné z WWW: <<http://www.westico.cz/pages/products/rtls-tag.html>>.
- [18] *Svět hardware* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Začínáme s PDA. Dostupné z WWW: <http://www.svethardware.cz/art_doc-C8BD7D7A299365F4C125739E0078E869.html>.
- [19] *Android Wiki* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Android. Dostupné z WWW: <<http://wiki.androidforum.cz/index.php/Android>>.
- [20] *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Symbian. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Symbian>>.
- [21] *Windows Phone* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Přehled Windows Mobile. Dostupné z WWW: <<http://www.microsoft.com/cze/windowsphone/help/v6-5-3/basics/overview-windows-mobile-653.aspx>>.
- [22] *Windows Phone* [online]. 2011[cit. 2011- 8-14] Základní informace. Dostupné z WWW: <<http://www.microsoft.com/cze/windowsphone>>.
- [23] SHARP, J. *Microsoft Visual C# 2008 krok za krokem*. Nakladatelství Computer Press, a.s., 2008. ISBN 978-80-251-2027-9.
- [24] GREINER, Karel. *Novinky jazyka C# 3.0. Elektronické sylaby přednášek k předmětu Jazyk C# III*. Pardubice, 2011.

Seznam příloh

Příloha A	DVD s vytvořenou aplikací.....	74
Příloha B	Hodnoty signálů a pozice všech míst	75
Příloha C	Hodnoty signálů pro testování	76
Příloha D	Uživatelská příručka.....	77

Příloha A DVD s vytvořenou aplikací

Pro správný chod aplikace v mobilních zařízeních je nutné mít nainstalován .NET Compact Framework verze 3.5.

Na přiloženém DVD se nachází

- Zdrojové kódy aplikace ve složce **Source**.
- Složka **EXE** se spustitelnou verzí programu.
- Ve složce **Install_CAB** instalační soubor pro mobilní zařízení.
- Složka **Test_UPCE** s konfigurací, s kterou se testovalo (1. NP FEI UPCE)
- XML soubory s dokumentačními komentáři ve složce tříd a jejich metod **XML**

Příloha B Hodnoty signálů a pozice všech míst

ID	Název	Souřadnice [m:m]	Signály [dB]
1	dveře vchod	17,55:51,927	-68,-57,-81
2	vedle dveří	20,675:51,927	-68,-55,-77
3	m 3	23,8:51,927	-68,-52,-82
4	4 dveře	26,925:51,927	-68,-52,-78
5	m 5	30,05:51,927	-60,-49,-73
6	u pc102	33,175:51,927	-62,-37,-77
7	u pc102 dvě	36,3:51,927	-68,-37,-74
8	m 8	39,425:51,927	-64,-48,-75
9	m 9	42,55:51,927	-65,-55,-78
10	pc 003	45,675:51,927	-65,-58,-73
11	m 11	48,8:51,927	-61,-60,-79
12	m 12	51,925:51,927	-56,-69,-68
13	m 13	55,05:51,927	-57,-68,-71
14	pc 004	58,175:51,927	-45,-70,-63
15	m 15	61,3:51,927	-42,-71,-62
16	m 16	64,425:51,927	-46,-69,-58
17	sloup	67,55:51,927	-42,-70,-50
18	u okna	70,675:51,927	-35,-72,-49
19	u okna 3	70,675:45,382	-29,-90,-42
20	Respirium	67,55:45,382	-28,-90,-44
21	Dveře na chodbu	63,67:48,93	-34,-80,-56
22	ch 2	63,67:45,805	-41,-80,-54
23	ch 3	63,67:42,68	-39,-90,-52
24	ch 4	63,67:38,555	-42,-90,-43
25	ch 5	63,67:36,43	-45,-90,-42
26	ch 6	63,67:33,305	-50,-90,-40
27	vjezd	63,67:26,789	-73,-90,-57
28	ch 7	63,67:20,795	-73,-90,-71
29	ch 8	63,67:17,67	-75,-90,-63
30	ch 9	63,67:14,545	-75,-90,-68
31	ch 10	63,67:11,42	-80,-90,-70
32	ch 11	63,67:8,295	-80,-90,-74
33	Respirium 1	67,645:48,624	-37,-68,-46
34	u okna 2	70,948:48,685	-31,-74,-46
35	pc102a	35,229:54,985	-80,-29,-90
36	pc102b	39,144:54,985	-74,-28,-90
37	pc102c	39,144:59,021	-71,-29,-90
38	pc102d	35,229:59,021	-80,-28,-90
39	el101a	66,3:34,006	-53,-90,-28
40	el101b	69,969:34,006	-52,-90,-30
41	el101c	69,969:39,205	-46,-90,-34
42	el101d	66,3:39,205	-41,-90,-37
43	pc104a	58,654:54,985	-51,-58,-73
44	pc104b	63,609:54,985	-50,-60,-58
45	pc104c	63,609:59,083	-48,-68,-62
46	pc104d	58,593:59,083	-54,-58,-66
47	pc103a	46,116:54,985	-68,-40,-90
48	pc103b	51,009:54,985	-65,-48,-74
49	pc103c	51,009:59,021	-68,-43,-73
50	pc103d	46,055:59,021	-70,-45,-75
51	pc105a	47,768:48,869	-46,-60,-72
52	pc105b	47,768:44,709	-50,-70,-68
53	pc105c	51,498:44,709	-46,-72,-70
54	pc105d	51,498:48,746	-52,-70,-64
55	el102a	60,55:33,028	-60,-90,-45
56	el102b	60,55:38,043	-53,-90,-48
57	el102c	56,942:38,043	-53,-90,-46
58	el102d	56,942:33,7	-62,-90,-45

Příloha C Hodnoty signálů pro testování

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AP1	-67	-69	-68	-67	-58	-62	-60	-62	-62	-61	-52	-51	-51	-45	-41	-41
AP2	-59	-54	-51	-52	-46	-32	-37	-49	-52	-54	-64	-61	-68	-67	-68	-68
AP3	-83	-79	-79	-77	-75	-74	-73	-76	-75	-72	-74	-71	-72	-67	-55	-50
ID	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	33	34	35	36	37	38
AP1	-37	-34	-24	-30	-37	-42	-39	-44	-60	-48	-26	-25	-63	-75	-74	-78
AP2	-66	-69	-83	-83	-80	-90	-90	-90	-90	-90	-78	-73	-27	-27	-24	-27
AP3	-47	-52	-42	-46	-56	-59	-46	-40	-43	-41	-42	-47	-74	-90	-90	-90
ID	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
AP1	-46	-41	-36	-38	-50	-50	-55	-55	-71	-66	-65	-72	-48	-52	-46	-50
AP2	-90	-90	-90	-90	-58	-54	-58	-57	-42	-46	-52	-44	-66	-64	-64	-68
AP3	-27	-30	-30	-28	-62	-56	-57	-71	-69	-76	-75	-81	-75	-68	-71	-65
ID	55	56	57	58												
AP1	-61	-56	-60	-61												
AP2	-90	-90	-90	-90												
AP3	-42	-52	-47	-49												

Příloha D Uživatelská příručka

Po spuštění se objeví uvítací obrazovka, kde je na výběr ze dvou možností (obr. vpravo):

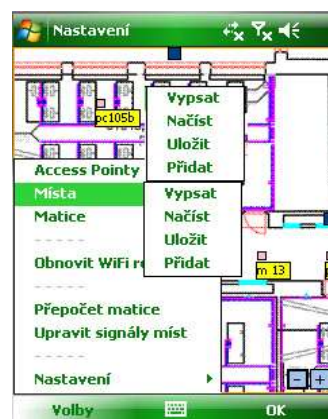
- **nahrát nastavení:** uživatel vybere soubor s nastavením, ze kterého se načtou data.
- **nové nastavení:** vytvoření nové konfigurace. Po zadání všech nutných parametrů a nahrání mapy se přejde k nastavení.

Nastavení

Do nastavení se může uživatel dostat více způsoby, nabídka je ale stejná. Jak je vidět z obrázku, v nastavení je několik voleb:

Nastavení: podnabídka, která umožní konfiguraci uložit nebo načíst a dále je zde možnost změny zobrazování a vykreslování.

- **Access Pointy:** obsahuje další čtyři možnosti:
 - **Vypsát:** Vypíše AP přidané v systému spolu s jejich polohou a signálem. Dvojklikem na řádek s AP se tyto údaje mohou změnit. Na tomto panelu je několik dalších možností:
 - **Signál:** Změní pouze signál přímo u AP.
 - **Obnovit:** Pokusí se zachytit AP, které se do té doby v relaci ještě nezachytili.
 - **X:** Možnost smazání všech AP.
 - **x:** Možnost smazání vybraného AP
 - **Načíst:** Umožňuje načíst samotné AP ze souboru.
 - **Uložit:** Umožňuje uložit samotné AP do souboru.
 - **Přidat:** Možnost přidání přístupového bodu. Tato nabídka obsahuje dvě záložky (obr. vpravo):
 - **Výběr AP:** Zde se vybere ze seznamu přístupový bod, který se má přidat do systému, jeho název a počet měření signálu. Výběr hodnoty signálu je nastaven pevně na medián. Tlačítkem *Obnovit* se seznam aktualizuje.
 - **Pozice AP:** Na tomto panelu se vybere pozice přidávaného přístupového bodu.



- **Místa:** stejně jako Access Pointy mají další možnosti

- **Vypsat:** Otevře panel, v kterém se do seznamu vypíše všechna přidaná místa v systému. Jak je vidět z obrázku, místa mají zvýrazněny své sousedy a jsou zde další nabídky:

- **Signály:** Možnost změny signálu vybraného místa.
- **Zm. sousedů:** Změní sousedy místa, tak jak jsou aktuálně zaškrtnuté.
- **X:** Možnost smazání všech míst.
- **x:** Možnost smazání vybraného místa

- **Načíst:** Umožňuje načíst samostatně místa ze souboru.

- **Uložit:** Umožňuje uložit samostatně místa do souboru.

- **Přidat:** Možnost přidání místa do systému, obsahuje čtyři záložky

- **Popis:** Zadá se název místa volitelně popis.
- **Pozice:** Vybere se umístění místa.
- **Měření:** Možnost změření síly signálu nebo zadání signálu ručně. Při měření se může vybrat metoda ze třech možností (průměr, medián, průměr okolo mediánu). Dále volitelně zpoždění mezi jednotlivými měřeními.
- **Sousedé:** Výběr sousedů přidávaného místa.

- **Obnovit WiFi rozhraní:** Pokusí se najít WiFi rozhraní zařízení

- **Přepočít matic:** Po změnách přístupových bodů přepočítá signály v matici.

- **Upravit signály míst:** Po změnách přístupových bodů upraví signály míst.

Při změnách přístupových bodů se musí postupovat velmi citlivě. Nejlepší je nejdříve smazat všechny nepotřebné AP, potom přidat nové a nakonec využít tuto možnost pro přetransformování signálů každého místa.



Uživatelské rozhraní

Toto rozhraní obsahuje několik možností:

- **O programu:** Zobrazení informací o aplikaci a autorech.
- **Předvolby:** Možnost načtení nebo uložení konfigurace a přesun do formuláře s nastavením.
- **Zobrazení:** Skrývá další dvě podnabídky:
 - **Vykreslování:** Nastavení vykreslovaných detailů, co všechno se má zobrazovat.



- **Obraz:** Nastavení detailů vykreslovaných objektů, velikost písma, barvy a velikosti objektů.
- **Určování polohy:** Obsahuje dvě podnabídky:
 - **Metoda:** Výběr lokalizační metody.
 - **Parametry:** Parametry lokalizačních metod.

V této fázi dochází k určování polohy, ta se může určit buď jednou aktuálně tlačítkem @ nebo zapnout automatické obnovování a vykreslování polohy tlačítkem **Zapnuto**.

Tlačítko # smaže poslední určené polohy.