

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

**Metódy a technológie pre približné
určovanie polohy v interiéroch budov
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

METÓDY A TECHNOLOGIE PRE PRIBLIŽNÉ
URČOVANIE POLOHY V INTERIÉROCH BUDOV

Diplomová práca

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	9.2.1 Informatika
Školiace pracovisko:	Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ:	doc. Ing. Jaroslav Porubän, PhD.
Konzultant:	doc. Ing. Jaroslav Porubän, PhD.

Abstrakt v SJ

Táto diplomová práca sa zaoberá problematikou určovania polohy vo vnútri budov a v priestoroch, kde použitie štandardných spôsobov zistenia pozície je nedostačujúce alebo úplne nemožné. Bližšie sa za týmto účelom zameriava na možnosti využitia infraštruktúry lokálnych bezdrôtových sietí. V analytickej časti sa venuje teoretickým poznatkom, definuje základné pojmy a skúma rôzne spôsoby merania a odhadu polohy objektov v priestore. Vymedzuje prípady použitia a nedostatky satelitnej navigácie a poukazuje na výhody a potenciál pozičných systémov založených na Wi-Fi. Ďalej sa zaoberá návrhom metódy pre odhad polohy v interiéri, s dôrazom na zlepšenie presnosti oproti používaným algoritmom. V praktickej časti opisuje vývoj aplikácie pre mobilné zariadenie, ktorá okrem merania intenzity signálu bezdrôtových sietí využíva údaje z kompasu zariadenia a slúži na testovanie predkladanej metódy a získanie relevantných vedomostí pre ďalšie vylepšenia. Okrem toho práca objektívne hodnotí dosiahnuté výsledky na základe praktického experimentu. V závere poukazuje na rastúci význam interiérových pozičných systémov a možnosti využitia uskutočneného výskumu a vytvoreného riešenia v praxi.

Kľúčové slová

Navigácia v interiéri, pozičný systém, Wi-Fi, WPS.

Abstrakt v AJ

This master's thesis deals with the issues of positioning inside buildings and in areas, where the use of standard ways to determine position is inadequate or impossible. For that purpose, it further focuses on the possibilities of using local wireless network infrastructure. In the analytical part it focuses on the theoretical knowledge, defines the basic concepts and explores various ways of measuring and estimating position of objects in space. It specifies use cases and deficiencies of satellite navigation and points out the advantages and the potential of Wi-Fi based positioning systems. It also deals with the design of a method for estimating the position indoors, with emphasis on improving the accuracy in comparison to established algorithms. In the practical part it describes the development of an application for mobile devices, that in addition to measuring the signal strength of wireless networks uses data from the compass of the device and is used to test the proposed method and to obtain relevant knowledge for further improvements. Besides that, the work objectively evaluates the achieved results based on the practical experiment. In conclusion it highlights the growing importance of indoor positioning systems and the possibilities of utilizing the conducted research and the developed solution in practice.

Klíčové slová v AJ

Indoor navigation, positioning system, Wi-Fi, WPS.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: 9.2.1 Informatika

Študijný program: Informatika

Názov práce:

Metódy a technológie pre približné určovanie polohy v interiéroch budov
Methods and Technologies for the Approximate Positioning Inside
Buildings

Študent (tituly, meno, priezvisko): **Bc. Tomáš Staník**

Školiteľ (tituly, meno, priezvisko): **doc. Ing. Jaroslav Porubän, PhD.**

Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**

Konzultant práce (tituly, meno, priezvisko):

Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Analyzovať a vyhodnotiť možnosti existujúcich pozičných technológií s dôrazom na možnosti použitia vo vnútri budov.
2. Navrhnuť metódu pre približné určenie aktuálnej polohy osoby v interiéri budovy na základe existujúcej infraštruktúry s použitím chytrých mobilných zariadení so senzormi.
3. Vytvoriť aplikáciu pre mobilné zariadenie implementujúcu navrhnutú metódu.
4. Experimentálne overiť použiteľnosť metódy a aplikácie a vyhodnotiť výsledky pri rôznych charakteristikách prostredia.
5. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho práce.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje:

slovenský

Termín pre odovzdanie práce:

27.04.2012

Dátum zadania diplomovej práce:

31.10.2011

prof. Ing. Ján Kollár, CSc.
vedúci garantujúceho pracoviska



prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval/a samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 27. apríl 2012

.....

vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Na tomto mieste chcem pod'akovať konzultantovi a vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Jaroslavovi Porubänovi, PhD. za ústretový prístup, cenné rady, odbornú kritiku, ale predovšetkým za motiváciu pri vypracovaní práce a súvisiacich projektov.

Zároveň ďakujem aj mojej rodine a priateľom za podporu počas celého štúdia a trpezlivosť pri zvládaní časovo náročných úloh.

Predhovor

V súvislosti s určovaním polohy objektov v priestore sa najčastejšie používa pojem „pozičný systém“. Napriek tomu, že približná informácia o polohe bola pre človeka dôležitá od nepamäti, pozičné systémy zaznamenali výrazný rozmach až s nástupom moderných technológií koncom 20. storočia. Globálny pozičný systém (GPS) na jednej strane vyriešil problém lokalizácie v exteriéri, je však prakticky nepoužiteľný vo vnútri budov. Metódy a technológie umožňujúce výpočet aktuálnej polohy v interiéri sa preto v posledných rokoch stali predmetom výskumu na mnohých univerzitách a podnietili vznik viacerých komerčne dostupných riešení.

Motiváciou pre výber tejto témy bol pre mňa predovšetkým predchádzajúci výskum v oblasti navigačných systémov určených pre nevidiacich používateľov. Počas riešenia projektu Mapz [1] som sa podieľal na návrhu viacerých konceptov pomôcky na určovanie polohy vo vnútri budov. Jedným z výstupov projektu je aplikácia pre inteligentné mobilné zariadenie s používateľským rozhraním prispôbeným potrebám zrakovo postihnutých ľudí, ktorá slúži na sprostredkovanie informácií o okolitom prostredí. Súčasťou projektu je aj špeciálny prístroj, navigačný opasok, ktorý pomocou infračervených lúčov a ultrazvukových vĺn zbiera údaje o prekážkach a upozorňuje používateľa pomocou vibračných modulov. Prepojením mobilného zariadenia a opasku bola implementovaná aj funkcionality vzdialenej navigácie, založená na prenose obrazu z kamery mobilného zariadenia. Navigačné povely sú sprostredkované práve pomocou vibračných modulov opasku, takže nevidiaci používateľ nie je, na rozdiel od iných systémov so zvukovými povelmi, oberaný o svoj najdôležitejší zmysel – sluch.

Výrazným nedostatkom systému Mapz je neschopnosť automatického určovania absolútnej polohy vo vnútri budov. Jedným z predkladaných riešení bolo použitie technológie Wi-Fi. Pôvodný prototyp aplikácie využívajúcej existujúcu infraštruktúru lokálnych bezdrôtových sietí slúžil iba na overenie tejto možnosti a kvôli nedostatočnej presnosti nebol nakoniec v projekte použitý. Mojou ambíciou je teda nadviazať na uskutočnený výskum, podrobne analyzovať dostupné metódy a technológie a na základe získaných vedomostí dosiahnuť lepšie výsledky.

Obsah

Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	13
Zoznam symbolov a skratiek	14
Slovník termínov	15
Úvod	16
1 Formulácia úlohy	18
2 Analýza existujúcich pozičných technológií.....	19
2.1 Definícia a vymedzenie pojmov	19
2.2 Rozdelenie a charakteristika.....	20
2.2.1 Identifikácia na rádiových frekvenciách	21
2.2.2 Ultra-širokopásmový signál	22
2.2.3 Ultrazvuková identifikácia.....	23
2.2.4 Infračervené žiarenie.....	24
2.2.5 Bluetooth štandard	25
2.2.6 Lokálne bezdrôtové siete	26
2.2.7 Mobilné komunikačné siete	27
2.2.8 Systémy satelitnej navigácie	28
2.2.9 Porovnanie technológií	29
2.3 Spracovanie pozičných údajov	30
2.3.1 Geometrické metódy	30
2.3.2 Symbolická lokalizácia	35
2.3.3 Analýza obrazu	35
2.4 Pozičné systémy založené na Wi-Fi	35
2.4.1 Vlastnosti signálu.....	36
2.4.2 Určovanie polohy.....	37
2.4.3 Existujúce riešenia	39
3 Metóda pre približné určenie polohy v interiéri	42
3.1 Požiadavky a predpoklady.....	42
3.2 Výber vhodného algoritmu.....	43
3.2.1 Algoritmus k-najbližších susedov.....	44
3.2.2 Pravdepodobnostná metóda	45

3.2.3	Neurónové siete	46
3.2.4	Ostatné algoritmy	47
3.3	Návrh fungovania metódy	48
3.3.1	Snímanie odtlačkov	49
3.3.2	Výpočet aktuálnej polohy	49
3.3.3	Zohľadnenie histórie výsledkov	50
3.3.4	Predikcia nasledujúcej polohy	53
4	Implementácia aplikácie pre overenie metódy	55
4.1	Používané technológie	55
4.1.1	Vývojová platforma	55
4.1.2	Mobilné zariadenie	56
4.2	Architektúra aplikácie	56
4.2.1	Model	57
4.2.2	Pohľady	58
4.2.3	Aktivity	59
4.2.4	Služba	60
4.3	Spôsoby použitia	60
4.3.1	Pasívny režim	61
4.3.2	Aktívny režim	62
4.3.3	Simulačný režim	64
4.3.4	Zmena režimu	65
4.4	Možnosti rozšírenia	66
5	Testovanie riešenia a vyhodnotenie výsledkov	67
5.1	Metodológia merania	67
5.1.1	Rozmiestnenie referenčných bodov	67
5.1.2	Nastavenie parametrov aplikácie	67
5.1.3	Hodnotenie presnosti výpočtu	69
5.2	Praktický experiment	69
5.2.1	Budova univerzity	69
5.2.2	Obchodné centrum	73
5.2.3	Bytový dom	74
5.3	Vyhodnotenie výsledkov	75
5.4	Možnosti použitia metódy	76
6	Záver	77

Zoznam použitej literatúry	78
Prílohy.....	85
7 Používateľská príručka	87
7.1 Funkcia aplikácie.....	87
7.2 Súpis obsahu dodávky	87
7.3 Požiadavky aplikácie	88
7.3.1 Hardvérové požiadavky	88
7.3.2 Softvérové požiadavky.....	88
7.4 Inštalácia aplikácie	89
7.5 Použitie aplikácie.....	89
7.5.1 Používateľské rozhranie.....	89
7.5.2 Práca s databázou	95
7.5.3 Pasívny režim.....	97
7.5.4 Aktívny režim	99
7.5.5 Simulačný režim	101
7.6 Chybové hlásenia.....	101
7.7 Obmedzenia	102
8 Systémová príručka	104
8.1 Formulácia úlohy.....	104
8.2 Analýza riešenia	104
8.3 Opis aplikácie	105
8.3.1 Princíp fungovania	105
8.3.2 Architektúra aplikácie	106
8.3.3 Úloha základných tried	107
8.3.4 Štruktúra objektov databázy	111
8.3.5 Perzistovanie do databázy	113
8.4 Preklad aplikácie	113
8.4.1 Zoznam zdrojových textov	113
8.4.2 Zoznam používaných knižníc	115
8.4.3 Hardvérové požiadavky pri preklade	116
8.4.4 Softvérové požiadavky pri preklade	116

Zoznam obrázkov

Obr. 1	Meranie vzdialenosti pomocou sonaru	23
Obr. 2	Difrakcia vzoru infračervených lúčov	25
Obr. 3	Výpočet súradníc pomocou triangulácie.....	31
Obr. 4	Výpočet súradníc pomocou trilaterácie I.	32
Obr. 5	Výpočet súradníc pomocou trilaterácie II.	33
Obr. 6	Výpočet súradníc pomocou trilaterácie III.	34
Obr. 7	Tréningová a pozičná fáza v metóde snímania odtlačkov	39
Obr. 8	Kolísanie intenzity signálu Wi-Fi počas 5 minút.....	39
Obr. 9	Uloženie referenčného bodu do rádiovkej mapy	44
Obr. 10	Výpočet súradníc pomocou jedného neurónu v neurónovej sieti	47
Obr. 11	Posičná fáza doplnená o metódu korekcie výsledkov	48
Obr. 12	Príklad korekcie polohy algoritmom klasifikácie výsledkov	53
Obr. 13	Diagram komponentov aplikácie Blind Spot.....	56
Obr. 14	Základné pohľady aplikácie: hlavný a ladiaci	58
Obr. 15	Grafická reprezentácia poschodia a referenčných bodov	62
Obr. 16	Postupnosť výpočtu polohy v simulačnom režime.....	64
Obr. 17	Filtrovanie odchýlky pomocou metódy klasifikácie.....	65
Obr. 18	Úspešnosť nájdenia sietí v závislosti od počtu iterácií snímania.....	68
Obr. 19	Rozmiestnenie referenčných bodov v budove univerzity	70
Obr. 20	Správnosť určenia poschodia bez použitia metódy korekcie.....	72
Obr. 21	Správnosť určenia poschodia s použitím metódy korekcie	72
Obr. 22	Správnosť určenia poschodia bez použitia metódy korekcie.....	74
Obr. 23	Správnosť určenia poschodia s použitím metódy korekcie	75
Obr. 24	Hlavný pohľad aplikácie s pôdorysom budovy	91
Obr. 25	Grafická reprezentácia poschodia a referenčných bodov	91
Obr. 26	Hlavná ponuka hlavného pohľadu aplikácie.....	92
Obr. 27	Výstupná konzola aplikácie v hlavnom pohľade.....	93
Obr. 28	Ladiaci pohľad aplikácie pre nastavenie parametrov	95
Obr. 29	Dialógový pohľad pre zadanie umiestnenia databázy	96
Obr. 30	Dialógový pohľad pre zadanie adresy pre export údajov	97
Obr. 31	Kontextová ponuka pre výber budovy v pasívnom režime	97
Obr. 32	Zobrazenie kurzora pre pridávanie referenčných miest.....	98
Obr. 33	Dialógový pohľad pre určenie názvu referenčného miesta	98

Obr. 34	Kontextová ponuka pre správu referenčného bodu	99
Obr. 35	Kontextová ponuka pre zmenu aktuálneho režimu.....	99
Obr. 36	Zobrazenie aktívneho kurzora počas určovania polohy.....	100
Obr. 37	Zobrazenie histórie výsledkov v simulačnom režime.....	101
Obr. 38	Chybové hlásenie v prípade nedefinovaného umiestnenia bodu	102
Obr. 39	Chybové hlásenie v prípade neukončenia prebiehajúceho procesu.....	102
Obr. 40	Diagram komponentov aplikácie s názvami tried.....	107
Obr. 41	Štruktúra pozičných databázových objektov	111

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Závislosť výkonu a dosahu RFID	25
Tab. 2	Prehľad vlastností pozičných technológií	29
Tab. 3	Zhrnutie charakteristík existujúcich WPS	40
Tab. 4	Parametre aplikácie na ovplyvnenie výpočtu	63
Tab. 5	Konfigurácie použité pri praktickom experimente	69
Tab. 6	Presnosť určenia polohy bez zmeny pohybu v budove univerzity	70
Tab. 7	Presnosť určenia polohy počas pohybu v budove univerzity	71
Tab. 8	Presnosť určenia polohy bez zmeny pohybu v obchodnom stredisku	73
Tab. 9	Presnosť určenia polohy počas pohybu v obchodnom stredisku	74
Tab. 10	Pôvodné názvy parametrov aplikácie v anglickom jazyku	94
Tab. 11	Stručné vysvetlenie funkcie niektorých tried aplikácie	111
Tab. 12	Stručné vysvetlenie významu pomocných objektov	112

Zoznam symbolov a skratiek

AOA	A ngle o f A rrival
AP	A ccess P oint
API	A pplication P rogramming I nterface
APS	A d H oc P ositioning S ystem
BSSID	B asic S ervice S et I dentifier
BTS	B ase T ransceiver S tation
EAS	E lectronic A rticle S urveillance
IFF	I dentification F riend or F oe
IR	I nfrared R adiation
IPS	I ndoor P ositioning S ystem
ISM	I ndustrial, S cientific, M edical
JSON	J avaScript O bject N otation
kNN	k -Nearest N eighbor
LBS	L ocation B ased S ervices
MLP	M ultilayer P erceptron
MVC	M odel V iew C ontroller
PAN	P ersonal A rea N etwork
RFID	R adio F requency I dentification
RSS	R eceived S ignal S trength
RTLS	R eal T ime L ocation S ystem
TOA	T ime o f A rrival
TDOA	T ime D ifference o f A rrival
USID	U ltrasound I dentification
UWB	U ltra W ideband
SDK	S oftware D evelopment K it
SMP	S mallest M -vertex P olygon
SVM	S upport V ector M achine
WPS	W i-Fi P ositioning S ystem

Slovník termínov

Crowdsourcing je spôsob rozdelenia práce, pri ktorom je spravidla náročná úloha rozdelená na menšie úlohy, ktoré sú riešené skupinou ľudí na základe verejnej výzvy, väčšinou za účelom zberu údajov.

Gyroskop je zariadenie na meranie alebo udržiavanie rovnakej orientácie, postavené na princípe zákona zachovania momentu hybnosti. Na rozdiel od akcelerometra dokáže gyroskop zaznamenávať rotáciu.

Krokomer (angl. Pedometer) je prenosné elektronické, prípadne elektromechanické zariadenie, ktoré zaznamenáva približný počet krokov používateľa pomocou zabudovaného akcelerometra alebo gyroskopu.

Midlvér (angl. Middleware) je počítačový softvér prepájajúci komponenty systému s aplikačným softvérom. Je neoddeliteľnou súčasťou moderných informačných technológií a servisne orientovanej architektúry.

Pieskovisko (angl. Sandbox) je bezpečnostný mechanizmus používaný v počítačových systémoch, oddeľujúci vykonávanie programov. Predstavuje dôležitý bezpečnostný prvok obmedzujúci prístup k súkromným údajom.

Rádiová mapa je v pozičných systémoch založených na bezdrôtových sieťach mapa, v ktorej je každému referenčnému bodu z fyzického priestoru mapovacou funkciou priradený vektor hodnôt rádiového signálu.

Štítok (angl. Tag) je v systémoch na lokalizáciu polohy objektov malé zariadenie, ktoré slúži na jednoznačnú identifikáciu objektov. Väčšina moderných technológií využíva na prenos informácie o identite rádiové vlny.

Zajatecký portál (angl. Captive Portal) je mechanizmus na zabezpečenie prístupu k bezdrôtovej sieti poskytovateľa, ktorý každého neautorizovaného používateľa automaticky presmeruje na stránku s autentifikáciou.

Úvod

Najviac využívanou technológiou pre určovanie polohy je v súčasnosti satelitná navigácia. Globálny pozičný systém od roku 1993 poskytuje širokej verejnosti presnú informáciu o aktuálnej polohe v exteriéri v globálnom rozsahu. Jedným z kľúčových dôvodov popularizácie tejto technológie boli nízke finančné náklady pre koncového používateľa, keďže na rozdiel od ostatných technológií nie je potrebné budovať zložitú sústavu pozičných komponentov. Potreba určovania polohy v interiéri si ale vyžiadala hľadanie iných cenovo dostupných riešení.

Jednou z možností je využitie technológie Wi-Fi. S rozvojom bezdrôtových sietí pre prístup k internetu došlo v oblasti interiérových pozičných systémov k podstatnému zlomu. Dostatočné pokrytie prístupovými bodmi umožnilo na niektorých miestach určovanie polohy na základe existujúcej infraštruktúry sietí. Potreba prijímačov bola v rovnakom čase vyriešená rozšírením inteligentných mobilných zariadení. Problematika pozičných systémov založených na Wi-Fi je v súčasnosti horúcou témou a stala sa predmetom bádania veľkého počtu výskumných tímov.

V dôsledku výskumu vzniklo viacero pozičných algoritmov, ktorých účelom je dosiahnutie čo najlepšej presnosti. Napriek tomu je ale odhad polohy v mnohých prípadoch výrazne nepresný. Problémom je predovšetkým nedostatočné pokrytie územia prístupovými bodmi. Príčinu nepresnosti je možné zdôvodniť aj tým, že väčšina metód sa opiera iba o matematické výpočty a nezohľadňuje vlastnosti šírenia rádiových vĺn vo vnútri budov a reálne prípady použitia.

Účelom práce je navrhnúť metódu na približné určenie polohy používateľa v interiéri, pričom podstatnou požiadavkou kvôli zabezpečeniu cenovej dostupnosti je využitie informácií o existujúcich bezdrôtových sieťach ako jediného zdroja pozičných údajov. Jedným z hlavných cieľov je dosiahnuť lepšie výsledky pri menšej hustote pokrytia prístupovými bodmi. Metódou pre overenie riešenia je implementácia aplikácie realizujúcej odhad polohy pomocou navrhnutej metódy.

Prvá kapitola tejto diplomovej práce obsahuje formuláciu úlohy a zhrnutie krokov, ktoré bolo potrebné pre dosiahnutie zadaného cieľa vykonať.

V druhej kapitole sa nachádza definícia základných pojmov a podrobná analýza technológií a metód používaných na určovanie polohy v interiéri budov. Pre objektívne zhodnotenie možností vybraných technológií bolo uskutočnené porovnanie dôležitých

vlastností. Druhá polovica kapitoly sa venuje výhradne pozičným systémom založeným na Wi-Fi, opisuje vlastnosti šírenia signálu, spôsoby spracovania pozičných údajov a skúma niektoré existujúce systémy.

Tretia kapitola stanovuje požiadavky a predpoklady pre návrh vlastnej metódy určovania polohy, v dôsledku ktorých vyzdvihuje výhody a vysvetľuje princíp metódy snímania odtlačkov. Ďalej kapitola obsahuje analýzu osvedčených algoritmov, ktorej účelom je výber vhodného matematického aparátu. Podstatnou časťou je opis fungovania metódy na spresnenie výsledkov pozičného algoritmu, pozostávajúcej z algoritmu klasifikácie výsledkov a predikcie nasledujúcej polohy.

Štvrtá kapitola sa venuje implementácii predkladanej metódy. Prezentuje použité technológie, zaoberá sa architektúrou aplikácie a detailne vysvetľuje úlohu základných modulov v procese určovania polohy, pojednáva o spôsoboch použitia aplikácie, úlohe jednotlivých režimov a význame nastaviteľných parametrov.

V piatej kapitole sa nachádza opis testovania a vyhodnotenie výsledkov. Kapitola sa tiež venuje metodológii merania, postupe pri rozmiestnení referenčných bodov a ozrejmuje spôsob hodnotenia presnosti výpočtu. Do detailov opisuje uskutočnený praktický experiment a vyhodnocuje výsledky jednotlivých testovanií.

Poslednou kapitolou je záver, ktorého obsahom je zhrnutie dosiahnutých riešení a praktických prínosov. Okrem toho sa záver venuje možnostiam využitia aplikácie a hovorí o možných rozšíreniach a ďalšom smerovaní výskumu.

1 Formulácia úlohy

Cieľom tejto práce je analyzovať a vyhodnotiť možnosti existujúcich pozičných technológií s dôrazom na možnosti použitia vo vnútri budov, navrhnúť metódu pre približné určenie aktuálnej polohy osoby v interiéri na základe existujúcej infraštruktúry lokálnych bezdrôtových sietí s použitím chytrých mobilných zariadení so senzormi, vytvoriť aplikáciu pre mobilné zariadenie implementujúcu navrhnutú metódu, experimentálne overiť použiteľnosť metódy a aplikácie a vyhodnotiť výsledky pri rôznych charakteristikách prostredia. Pri návrhu metódy sú vhodným zdrojom vedomostí okrem odbornej literatúry predovšetkým vedecké články opisujúce rôzne spôsoby vyhodnocovania polohy. Podstatnou podmienkou objektívnosti hodnotenia dosiahnutých výsledkov je testovanie v rôznych prostrediach z hľadiska architektúry a rozmiestnenia bezdrôtových prístupových bodov.

Pre dosiahnutie uvedeného cieľa je potrebné vykonať nasledujúce kroky:

- Preskúmať problematiku používaných pozičných technológií.
- Oboznámiť sa s vlastnosťami signálu lokálnych bezdrôtových sietí.
- Podrobne analyzovať existujúce algoritmy a spôsoby výpočtu polohy.
- Navrhnúť vlastnú metódu pre približné určenie aktuálnej polohy osoby v interiéri na základe dostupných informácií o bezdrôtových sieťach a údajov zo senzorických modulov chytrého mobilného zariadenia.
- Implementovať aplikáciu pre mobilné zariadenie realizujúcu danú metódu.
- Vykonať experiment pre overenie metódy a opísať dosiahnuté výsledky.
- Vyhodnotiť funkčnosť a použiteľnosť vytvoreného riešenia.

2 Analýza existujúcich pozičných technológií

Pozičné technológie sa používajú na zistenie polohy objektu v priestore a sú špecifické predovšetkým rozsahom merania, mierou presnosti, zložitou architektúrou systému a v neposlednom rade aj cenovou náročnosťou. Za ideálnych podmienok je výpočet alebo odhad polohy uskutočnený v reálnom čase [2]. Využitelnosť takýchto technológií je rozsiahla vzhľadom na široké možnosti uplatnenia, napríklad pri vývoji bezpečnostných systémov [3], lokalizačných služieb [4], výrobných liniek a podobne. Pozičné technológie zohrávajú významnú úlohu v systémoch na automatizované vyhýbanie sa kolíziám vozidiel [5], pomáhajú napredovaniu v oblasti priemyslu, medicíny, vedy a výskumu a v mnohých ďalších odvetviach ľudskej činnosti. V tejto časti analyzujeme vybrané pozičné technológie a zameriame sa na možnosti ich použitia v interiéroch budov.

2.1 Definícia a vymedzenie pojmov

Jednou zo základných charakteristík pozičných systémov je rozsah merania. Podľa tohto kritéria rozlišujeme globálne a lokálne pozičné systémy: Globálny pozičný systém (GPS, z angl. Global Positioning System) je navigačný systém založený na satelitnej rádiovkej komunikácii, poskytujúci presnú informáciu o pozícii v trojrozmernom priestore, rýchlosti a čase [6]. Keďže tento generický pojem je zároveň názvom proprietárneho systému, na označenie budeme používať výraz “systémy satelitnej navigácie” (časť 2.2.8). Lokálny pozičný systém (LPS, z angl. Local Positioning System) poskytuje svoju funkčnosť iba v obmedzenom priestore, napríklad v konkrétnej budove alebo miestnosti. Pozícia objektu je v tomto prípade meraná absolútne, vzhľadom na fixný bod, alebo relatívne, vzhľadom na iné objekty v priestore [7].

Podstatnou nevýhodou satelitnej navigácie je fakt, že nie je použiteľná vo vnútri budov. Budúce generácie komunikačných sietí si však vyžadujú presné, spoľahlivé a okamžité určovanie polohy v interiéri [8]. Pre označenie systémov s uvedenou funkcionalitou sa zaviedol pojem “interiérový pozičný systém” (IPS, z angl. Indoor Positioning System). Jeden z prvých návrhov IPS bol prezentovaný v roku 1998 [9]. Kvôli veľkému dopytu po takýchto systémoch vzniklo v posledných rokoch množstvo riešení, ktoré sú v súčasnosti zavádzané do praxe. Príkladom existujúceho systému z tejto domény je riešenie spoločnosti AwarePoint, využívané na sledovanie pohybu pacientov a zamestnancov v priestoroch nemocnice [10]. Podobný produkt so širším

zameraním ponúka spoločnosť Ekahau, ktorá okrem zdravotníctva zabezpečuje lokalizačné služby v oblasti predaja, logistiky a výroby [2].

2.2 Rozdelenie a charakteristika

Výrazný záujem o problematiku merania polohy objektov v uzavretom priestore podnietil výskumnú činnosť na mnohých univerzitách a viedol k predstaveniu rôznych postupov. Medzi základné techniky určovania polohy [11] patrí triangulácia (časť 2.3.1), symbolická lokalizácia (časť 2.3.2) a analýza obrazu (časť 2.3.3). Okrem triangulácie je v mnohých prípadoch používaná podobná metóda geometrického výpočtu [12], trilaterácia (časť 2.3.1). Predpokladom použitia uvedených metód je zabezpečenie vstupu údajov pomocou technologických prostriedkov. Vo väčšine prípadov sú tieto prostriedky jednoducho dostupné vďaka rozšírenému použitiu v systémoch s iným poslaním. Použité technológie sú z pohľadu merania polohy charakteristické predovšetkým nasledujúcimi vlastnosťami:

- *Rozsah merania.* Vyjadruje veľkosť oblasti, v rámci ktorej pozičný systém dokáže určovať polohu. Počet prípadov použitia pozičného systému je priamo úmerný rozsahu merania. Dôkazom je vysoká popularita systémov satelitnej navigácie. V prípade lokálnych pozičných systémov rozlišujeme viacero stupňov rozsahu, od niekoľkých kilometrov až po mikroskopické merania.
- *Miera presnosti.* Podobne ako pri absolútnom a relatívnom zisťovaní polohy, meranie presnosti môžeme taktiež rozdeliť na absolútne a relatívne [13]. Absolútna presnosť vyjadruje odhad vzdialenosti medzi meranou a skutočnou polohou a je vždy reprezentovaná konštantnou hodnotou. Relatívnu presnosť môžeme vyjadriť pomocou jednotky ppm (z angl. parts per million).
- *Použitie v interiéri.* Napriek tomu, že táto charakteristika zaraďuje systémy satelitnej navigácie do samostatnej skupiny, neznamená to, že sú vo vnútri budov úplne nepoužiteľné. Čiastkové informácie, na základe ktorých nie je možné presne určiť polohu, sú využívané na upresnenie fungovania takzvaných “hybridných” systémov. Mnoho existujúcich IPS zbiera, vyhodnocuje a využíva údaje z viacerých zdrojov [14].
- *Cenová náročnosť.* Cena systému rastie priamo úmerne so zložitosťou, teda počtom rôznych komponentov a ich množstvom. Z tohto pohľadu je podstatné rozlišovať autonómne systémy (angl. Self Positioning System), pri ktorých

výpočet polohy uskutočňuje mobilná jednotka, v ideálnom prípade využitím existujúcej infraštruktúry externých zariadení, a zložitejšie systémy závislé na kooperácii s vonkajšími modulmi (angl. Remote Positioning System).

Ďalej sa v práci budeme zaoberať iba technológiami, ktoré je možné využiť pre potreby osobnej navigácie. Lokalizačné systémy s odozvou v reálnom čase (RTLS, z angl. Real Time Location System) slúžia na získavanie, sledovanie, správu a analýzu informácií o polohe objektov alebo osôb [15]. Fungujú na princípe jednoznačnej asociácie štítka a sledovaného objektu. Senzorické komponenty zabezpečujú snímanie polohy objektu v priestore a odovzdávanie dostupných údajov softvéru. Následne prebieha spracovanie informácií na základe stanovených algoritmov a výslednú polohu je možné vyhodnotiť, napríklad prostredníctvom navigačnej aplikácie pre koncových používateľov.

Pozičné systémy môžu technológie, ktoré sú predmetom nasledujúcej analýzy, využívať samostatne, alebo môžu tieto prostriedky kombinovať. Je dôležité si uvedomiť, že hotové riešenia dedia nielen kladné, ale aj záporné vlastnosti použitých technológií.

2.2.1 Identifikácia na rádiových frekvenciách

Jedným z najrozšírenejších spôsobov na označovanie a rozlíšenie objektov je identifikácia na rádiových frekvenciách (RFID, z angl. Radio Frequency Identification). Táto technológia umožňuje uloženie relatívne veľkého množstva informácií pomocou integrovaného obvodu a ich následné bezkontaktné snímanie použitím čítacích zariadení bez potreby priamej viditeľnosti [16]. Prvé využitie sa uskutočnilo už počas druhej svetovej vojny v IFF systémoch na rozlíšenie priateľských lietadiel. Na rozšírení RFID sa od 70-tych rokov minulého storočia podieľali predovšetkým EAS systémy na predchádzanie krádežiam v obchodoch. V súčasnosti má identifikácia na rádiových frekvenciách široké uplatnenie, napríklad v systémoch na automatické odomykanie automobilov, vyberanie diaľničných poplatkov, sledovanie pohybu zvierat alebo pri ukladaní biometrických údajov v cestovných pasoch.

RFID systém sa vo všeobecnosti skladá zo štyroch častí: štítok, čítacie zariadenie, komunikačná sieť a softvérové vybavenie [17]. RFID štítok je hardvérový prvok pozostávajúci z integrovaného obvodu na ukládanie údajov a cievky, fungujúcej ako anténa. Rozlišujeme 3 typy štítkov: pasívne využívajú elektrickú energiu indukovanú cievkou po priložení k čítačke, semi-pasívne získavajú energiu z batérie a aktívne štítky

obsahujú vysielateľ. Údaje sú prenášané rádiovými vlnami nízkej frekvencie (LF, z angl. Low Frequency; 125-134 KHz), vysokej frekvencie (HF, z angl. High Frequency; 13,56 MHz), ultra-vysokej frekvencie (UHF, z angl. Ultra-High Frequency; 860-960 MHz) alebo mikrovlnami s frekvenciou 2,4 GHz a 5,8 GHz [18]. Komunikačná sieť funguje ako middleware - prepája čítacie zariadenia a softvér, ktorý zbiera a vyhodnocuje údaje.

Identifikácia na rádiových frekvenciách sa používa na účely symbolickej lokalizácie a je jedným z najčastejšie využívaných spôsobov určovania polohy objektov v RTLS. Výhodou je dobrá presnosť, možnosť čítania viacerých štítkov súčasne a nízka cena štítkov. Nevýhodou je potreba rozsiahlej infraštruktúry vonkajších modulov a vysoká vyťaženosť siete. Navyše UHF systémy dosahujú zlé výsledky v prostredí, v ktorom sa nachádzajú kvapaliny a kovy a tiež vo všeobecnosti kvôli použitiu frekvenčného pásma ISM (z angl. Industrial, Scientific, Medical).

2.2.2 Ultra-širokopásmový signál

Rozdielnym spôsobom oproti RFID funguje meranie polohy objektu pomocou koncepčne podobnej technológie, ultra-širokopásmového signálu (UWB, z angl. Ultra Wideband). Ide o signál vo frekvenčnom pásme väčšom ako 500 MHz, na základe ktorého je možné určiť absolútnu polohu meraním času dopadu, časového rozdielu dopadu, alebo na základe sily prijatého signálu. Týmto pojmami sa budeme bližšie zaoberať v kapitole 2.3. Dobrá rozlíšiteľnosť pri meraní času dopadu UWB signálov predurčuje túto technológiu na použitie v pozičných systémoch [19]. Príkladom je systém na predchádzanie kolíziám a pracovným úrazom v stavebníctve [20].

Štítky v systéme využívajúcom UWB emitujú krátke rádiové signály, obvyčajne s nízkou frekvenciou opakovania. Prijímače slúžia na snímanie vyslaných signálov za účelom porovnania času dopadu. Táto informácia je následne poslaná lokalizačnému softvéru, ktorý určí polohu. Pri UWB rozlišujeme koherentné a nekoherentné prijímače [15]. Úlohou koherentných prijímačov je spracovať signál pomocou viacerých prijímačov súčasne za účelom dosiahnutia lepšej presnosti.

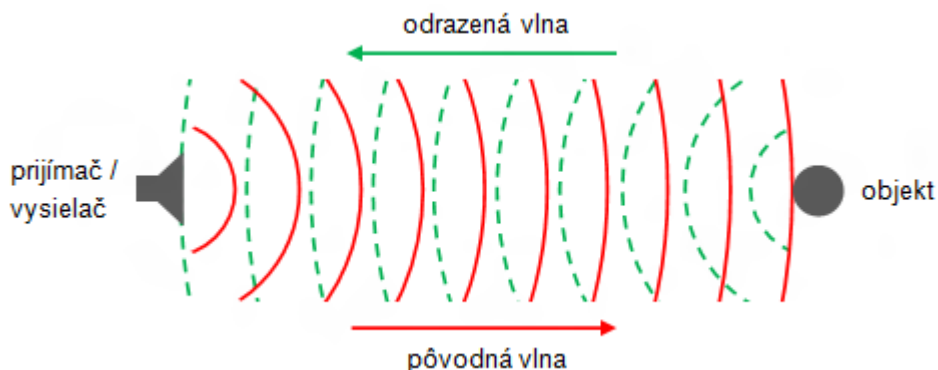
Protikladom konvenčného spôsobu pre odhad polohy, pri ktorom je počítané s každým zariadením tak, ako keby bolo jediným v sústave, pričom sa ignorujú asociácie s ostatnými zariadeniami, je relatívny odhad polohy [21]. V tomto prípade sú zohľadnené vzájomné vzdialenosti medzi jednotlivými uzlami, čoho výsledkom sú presnejšie hodnoty.

Technológia UWB sa oproti RFID vyznačuje podstatne lepšou presnosťou a penetráciou v uzavretých priestoroch. Ponúka výborný výkon aj v náročných prostrediach s množstvom kovových materiálov. Zápornou vlastnosťou je potreba vhodného rozmiestnenia prijímačov a teda cenová náročnosť. Okrem toho je potrebné zabezpečiť časovú synchronizáciu senzorických modulov [15]. Podmienkou je, aby boli jednotlivé senzory navzájom priamo viditeľné, v opačnom prípade je nutné použiť na synchronizáciu času kabeláž.

2.2.3 Ultrazvuková identifikácia

Ultrazvuk je zvuk s frekvenciou presahujúcou hornú hranicu ľudského sluchu. Táto hranica je u rôznych ľudí rozdielna, vo všeobecnosti sa preto na odlíšenie uvádza hodnota 20 kHz. Používa sa predovšetkým v medicíne, v priemysle na kontrolu materiálov a tiež na armádne účely. Pozičné systémy založené na princípe ultrazvukovej identifikácie (USID, z angl. Ultrasound Identification) sú charakteristické vysokou presnosťou, nízkym dosahom na úrovni miestností a slabou odolnosťou proti vonkajším vplyvom. Z tohto dôvodu je ultrazvuk zriedkavo používaný ako samostatná technológia. Väčšina systémov na určenie polohy pomocou ultrazvuku je preto hybridných, kombinujúcich výhody tejto technológie napríklad s výhodami RFID [22].

Architektúra USID systému závisí na konkrétnych prípadoch použitia. Hlavnými prvkami sú vysielateľ a prijímač zvukového signálu. Špeciálnym prípadom je použitie aktívneho sonaru (z angl. Sound Navigation and Ranging), ktorý v tom istom čase vykonáva úlohu oboch uvedených komponentov. Poskytuje teda funkčnosť merania vzdialeností objektov aj v neznámom prostredí, bez potreby externých modulov. Pri meraní sa vychádza z odrazov emitovaných zvukových vln (Obr. 1).



Obr. 1 Meranie vzdialenosti pomocou sonaru

Na absolútne určenie polohy je potrebné jeden z prvkov umiestniť do prostredia. Hybridné riešenie popísané v [23] sa skladá z prijímačov umiestnených na stropoch

miestností a aktívnych štítkov. Prijímač zvukového signálu v tomto prípade funguje zároveň ako vysielateľ rádiového vlnenia a aktívny štítok dokáže prenášanú informáciu spracovať. Každých 200 ms je pomocou rádiových vln vyslaná správa konkrétnemu štítku, ktorý zareaguje vyslaním zvukového signálu. Na základe času dopadu následne softvér vyhodnotí polohu objektu.

Najvýraznejšou charakteristikou tejto technológie je fakt, že ultrazvukové signály nedokážu prechádzať cez steny. Je teda možné veľmi presne lokalizovať objekt na úrovni miestností. Medzi ďalšie výhody patrí nízka cena a funkčnosť aj bez priamej vzájomnej viditeľnosti komponentov. Nevýhodami sú obmedzený dosah, rušenie a nedostatok štandardov.

2.2.4 Infračervené žiarenie

Infračervené žiarenie (IR, z angl. Infrared Radiation) je elektromagnetická radiácia s vlnovou dĺžkou väčšou, ako je dĺžka viditeľného svetla, ale menšou, ako je dĺžka mikrovlnného žiarenia. Z tohto dôvodu ho nie je možné pozorovať voľným okom. Nachádza uplatnenie napríklad v bezpečnostných systémoch, pri predpovedi počasia a v komunikačných technológiách. Pretože infračervené svetlo nedokáže prechádzať stenami budov, je túto technológiu v pozičných systémoch možné samostatne využiť iba na úrovni miestností. Zaujímavým prípadom použitia je hybridný systém, pri ktorom sledované objekty v rovnakom čase vysielajú infračervený aj ultrazvukový signál [24]. Snímacie senzory pri prijatí svetelného signálu začnú merať čas. Meranie je ukončené prijatím ultrazvukového signálu a následne je možné vypočítať vzdialenosť objektu. Ide o praktické využitie rozdielu medzi rýchlosťou svetla a zvuku.

Pozičné systémy využívajúce IR pozostávajú, podobne ako v prípade USID, z dvoch základných komponentov: vysielateľa a snímateľa. Na predchádzajúcom príklade sme uviedli spôsob, kedy je vysielateľ súčasťou hľadaného objektu. Meranie polohy objektu v rámci jednej miestnosti je ale možné vykonať aj tak, že oba prvky budú súčasťou prostredia. Takýto spôsob merania využívajú napríklad periférie herných systémov [25]. Infračervený vysielateľ produkuje veľké množstvo premyslene usporiadaných lúčov, ktorých odraz je následne spracovaný obrazovým snímačom. Na základe difrakcie vzoru lúčov je potom určená poloha objektu v trojrozmernom priestore. Na Obr. 2 je vidieť difrakciu vzoru a interpretáciu osôb herným systémom.



Obr. 2 Difrakcia vzoru infračervených lúčov

Výhodou infračerveného žiarenia je, rovnako ako pri ultrazvukovom vlnení, presnosť určovania na úrovni miestnosti, v ktorej sa objekt nachádza. Ďalšími výhodami sú nízka cena a zdravotná nezávadnosť v porovnaní s technológiami, pri ktorých signál prechádza cez ľudské telo. Medzi nedostatky tejto technológie zaraďujeme obmedzený dosah, rušenie a nedostatok štandardov.

2.2.5 Bluetooth štandard

Technológia Bluetooth je platformovo nezávislou špecifikáciou pre protokol komunikácie bezdrôtových zariadení na rádiovkej frekvencii [33]. Bola vyvinutá za účelom bezkontaktného prenosu údajov medzi zariadeniami v PAN (z angl. Personal Area Network) sieťach. Jej rozšíreniu výrazne dopomohla najmä popularizácia mobilných zariadení s mediálnym obsahom. Predpokladom využitia na účely určovania polohy je zabudovaný mechanizmus na identifikáciu a komunikáciu s inými zariadeniami v dosahu. Prenos údajov sa uskutočňuje vo frekvenčnom rozsahu 2400 až 2483,5 MHz. Podľa výstupného výkonu rozlišujeme 3 triedy štandardu [37]. Tab. 1 zobrazuje vzťah výkonu a dosahu podľa všeobecne uznávaných hodnôt [39].

Tab. 1 Závislosť výkonu a dosahu RFID

	Maximálny výstupný výkon	Maximálny dosah
Trieda 1	100 mW (20 dBm)	~ 100 m
Trieda 2	10 mW (10 dBm)	~ 10 m
Trieda 3	1 mW (0 dBm)	~ 1 m

Architektúra pozičných systémov postavených na štandarde Bluetooth rozlišuje štítky a prístupové body (AP, z angl. Access Point). V tomto kontexte je prístupový bod

iba iným označením pre vysielateľ signálu. Namiesto jednoúčelových štítkov je možné použiť mobilné telefóny. Metóda na odhad polohy je demonštrovaná v [34]. Tento spôsob je založený na trilaterácii na základe RSS. Prístupové body by mali byť za ideálnych podmienok rozmiestnené v rozpätí 10 až 15 m [15]. AP merajú silu signálu hľadaného zariadenia a údaje odovzdávajú na spracovanie softvéru implementujúcemu lokalizačný algoritmus.

Kladnými vlastnosťami pozičných systémov využívajúcich Bluetooth je predovšetkým existencia štandardov, prítomnosť technológie vo väčšine moderných mobilných zariadení, nízka spotreba energie a vysoká presnosť. Podstatnou nevýhodou je nízky dosah a teda potreba budovania rozsiahlej infraštruktúry a pomalá odozva na úrovni 15 až 30 sekúnd.

2.2.6 Lokálne bezdrôtové siete

Technológia bezdrôtových lokálnych sietí (WLAN, z angl. Wireless Local Area Network) je súborom nízkoúrovňových terestriálnych sieťových technológií pre údajovú komunikáciu, operujúca na frekvencii 2,4 GHz a 5 GHz [35]. Takéto siete sa často zvyknú označovať ako Wi-Fi (z angl. Wireless Fidelity), pretože väčšina WLAN je postavených na štandarde IEEE 802.11. Wi-Fi je v súčasnosti najčastejšie využívanou technológiou na bezdrôtový prístup k internetu. Podmienkou fungovania WLAN sietí je prítomnosť prepájacích sieťových prvkov. Bezdrôtové smerovače sú rozmiestnené v budovách za účelom pokrytia miestností signálom na prístup k internetu. Relatívne veľký dosah a existujúca infraštruktúra sú hlavnými dôvodmi pre vytvorenie cenovo dostupného IPS. Na označenie pozičných systémov využívajúcich Wi-Fi sa používa skratka WPS (z angl. Wi-Fi Positioning System).

V takýchto pozičných systémoch rozlišujeme, podobne ako v prípade Bluetooth, štítky a prístupové body. Aj v tomto prípade platí, že štítky je možné nahradiť, vďaka popularite technológie, mobilnými zariadeniami. Keďže mobilné zariadenia v úlohe klientských staníc väčšinou nepropagujú Wi-Fi signál, meranie sily signálu sa v mnohých systémoch uskutočňuje na strane klienta. AP sú predovšetkým smerovače, ktoré aj v prípade zabezpečeného prístupu k internetu poskytujú klientom dostatok verejných informácií na jednoznačné odlíšenie. Metódou na určenie polohy je napríklad trilaterácia vychádzajúca zo sily signálu [36]. Fungovaním WPS sa budeme bližšie zaoberať v kapitole 2.4.

Výhodou pozičných systémov využívajúcich lokálne bezdrôtové siete je predovšetkým cenová dostupnosť. V prípade existujúcej infraštruktúry je možné implementovať WPS bez potreby vonkajších modulov, na úkor nižšej presnosti v dôsledku nevhodného rozmiestnenia AP. Medzi ďalšie výhody patrí existencia štandardov a možnosť využitia bežne dostupných inteligentných mobilných zariadení. Nevýhodami sú vyššie zaťaženie siete, rušenie a bezpečnosť.

2.2.7 Mobilné komunikačné siete

Aj napriek tomu, že mobilné komunikačné siete neboli navrhnuté za účelom určovania polohy používateľov, sú výhodným technologickým prostriedkom služieb založených na pozícii (LBS, z angl. Location Based Services). Jedným z prvých prípadov použitia v súvislosti s lokalizáciou bolo určenie mestskej časti pomocou informácie o aktuálne prihlásenej základňovej stanici. S nástupom inteligentných mobilných telefónov vznikla potreba zobrazovať polohu používateľa na mape. Bolo preto potrebné použiť metódy zohľadňujúce väčší počet dostupných základňových staníc. Najčastejšie sa pre nájdenie polohy používateľa používajú metódy merania AOA, TOA a RSSI (pozri 2.3.1), alebo kombinácie týchto metód. Na vyhodnocovanie pozičných údajov sa používa unilaterácia, bilaterácia alebo multilaterácia [26].

V architektúre mobilnej komunikačnej siete rozoznávame mobilné terminály (MT, z angl. Mobile Terminal), základňové stanice (BS, z angl. Base Station), riadiace jednotky základňových staníc (BSC, z angl. Base Station Controllers) a mobilné prepínacie centrá (MSC, z angl. Mobile Switching Centers) [27]. BS vykonávajú funkciu prístupových bodov pre MT, pričom sú rozmiestnené do buniek s rozlohou 50 m až 30 km. Z tohto dôvodu sa zvyknú tradičné mobilné komunikačné siete nazývať aj "bunkové siete". BSC spravujú skupiny staníc a sú zodpovedné za správu rádiových kanálov a asistenciu pri odovzdávaní pripojenia MT pri prechode medzi bunkami. MSC zabezpečujú prepínanie a riadia sledovanie lokalizácie a prichádzajúce hovory. Niektoré štúdie poukazujú na možnosti zvýšenia prenosovej rýchlosti pomocou prepojenia mobilnej siete a lokálnej bezdrôtovej siete [28]. Okrem zvýšenia kvality štandardných mobilných služieb takýto ad hoc pozičný systém (APS, z angl. Ad Hoc Positioning System) výrazne zlepšuje presnosť lokalizácie používateľa.

Najväčšou výhodou tejto technológie je kompenzácia obmedzeného rozsahu merania dobrým pokrytím základňovými stanicami. Vďaka rozšíreniu mobilných telefónov nie je potrebné na označenie osôb používať štítky. Na rozdiel od satelitnej

navigácie je možné lokalizovať aj osoby v interiéri, s oveľa lepšou časovou odozvou. Zápornou vlastnosťou je nízka presnosť na úrovni 50 - 200 m, veľké náklady spojené s vybudovaním siete a vysoká spotreba elektrickej energie.

2.2.8 Systémy satelitnej navigácie

Globálny navigačný satelitný systém (GNSS, z angl. Global Navigation Satellite System) dokáže rozlíšiť pozíciu objektov v globálnom rozsahu [15]. Po prvýkrát bol systém satelitnej navigácie globálne uvedený do prevádzky v roku 1993. Išlo o proprietárny systém GPS, vyvinutý USA na armádne účely, poskytujúci lokalizačné služby na frekvencii 1575,42 MHz aj širokej verejnosti. Popularizácia GNSS sa uskutočnila predovšetkým v dôsledku rozvoja automobilovej navigácie. Medzi ďalšie prípady použitia patrí lokalizácia osôb s Alzheimerovou chorobou, sledovanie nákladu v preprave a cielená reklama v inteligentných mobilných telefónoch [29]. Okrem GPS je v súčasnosti v prevádzke aj ruský satelitný systém GLONASS, ktorý sa od GPS odlišuje počtom satelitov, ich umiestnením na orbite a komunikačnými frekvenciami. Okrem toho existujú aj satelitné systémy, ktoré neposkytujú globálne pokrytie.

GPS pozostáva z 3 segmentov: vesmírneho, kontrolného a používateľského [30]. Vesmírny segment predstavuje satelity obiehajúce okolo Zeme po orbite v rovnakej výške, vysielajúce rádiové signály. Na zabezpečenie globálneho pokrytia je potrebných minimálne 24 aktívnych satelitov. Kontrolný segment sa skladá zo sledovacích staníc rozmiestnených po zemeguli, slúžiacich na vykonávanie korekcie dráh satelitov. Používateľský segment je zastúpený zariadeniami na prijímanie signálu GPS a používateľskou komunitou. Prijímače vykonávajú konverziu signálov za účelom získania informácie o pozícii, rýchlosti a čase. Pri výpočte pozície sa vychádza z rozdielu času medzi vyslaním signálu satelitom a jeho zaznamenaním prijímačom. Predpokladom správneho fungovania je teda časová synchronizácia týchto prvkov a tiež priama viditeľnosť minimálne 4 satelitov, keďže metódou určovania polohy je v tomto prípade multilaterácia. Počet viditeľných satelitov na každom mieste na Zemi v exteriéri je 4 až 12, vo väčšine prípadov je viditeľných minimálne 6 satelitov [31].

Po zapnutí prijímača GPS dochádza k značnému časovému opoždeniu prvého určenia polohy, v niektorých prípadoch ide o viac ako minútový interval. Je to spôsobené tým, že prijímacie zariadenia hľadajú a dekódujú signál zo všetkých dostupných satelitov. Asistovaný globálny pozičný systém (A-GPS, z angl. Assisted Global Positioning System) je riešením predkladaného problému [32]. Takáto

architektúra zahŕňa použitie ďalšieho prvku - asistenčného servera. Podmienkou je tiež prijímač schopný kontaktovať asistenčný server, napríklad pomocou mobilnej komunikačnej siete. Server najskôr určí približnú polohu prijímača pomocou metódy opísanej v 2.2.7. Následne odošle prijímaču informáciu o najbližších dostupných satelitoch a ten môže okamžite lokalizovať svoju polohu. Okrem toho sú asistenčné servery využívané ako údajové kanály pre prenos časti lokalizačných údajov, čím podstatne zvyšujú prenosovú rýchlosť údajov a znižujú energetickú vyťaženosť prijímačov. Podstatnou výhodou A-GPS je zlepšenie presnosti v husto zastavaných prostrediach a umožnenie lokalizácie v interiéri na úrovni rozlíšenia budovy.

Výhodou GNSS je predovšetkým globálne pokrytie a nízka cenová náročnosť, keďže používanie satelitných signálov nie je spoplatnené. Kladnou vlastnosťou je tiež presnosť. Na armádnej frekvencii dosahuje GPS presnosť niekoľko centimetrov, verejne dostupná frekvencia je charakteristická presnosťou niekoľkých metrov. Nevýhodou je nedostupnosť satelitnej navigácie v interiéri, zlá dostupnosť v husto zastavaných oblastiach, náchylnosť na rušenie signálu a veľké energetické nároky prijímačov. Dôležitým faktorom je aj bezpečnosť, keďže satelitné signály je možné jednoducho odpočúvať a blokovat.

2.2.9 Porovnanie technológií

V Tab. 2 sa nachádza stručný prehľad najdôležitejších vlastností analyzovaných technológií z pohľadu požiadaviek pozičných systémov, ktoré sme stanovili v kapitole 2.2. Udávané hodnoty sú všeobecným zhrnutím verejne publikovaných výsledkov vybraných technológií. Napriek tomu je takýto súhrn vhodnou pomôckou na zhodnotenie dostupných prostriedkov v súvislosti s implementáciou IPS.

Tab. 2 Prehľad vlastností pozičných technológií

Technológia	Rozsah merania	Miera presnosti	Použitie v interiéri	Cenová náročnosť
RFID	Stredný	1 - 3 m	Áno	Stredná
UWB	Stredný	15 - 30 cm	Áno	Vysoká
Ultrazvuk	Malý	6 - 20 cm	Áno	Vysoká
IR	Malý	10 - 20 cm	Áno	Vysoká
Bluetooth	Stredný	1,5 - 3 m	Áno	Stredná
WLAN / Wi-Fi	Veľký	10 - 20 m	Áno	Nízka

Mobilné siete	Veľký	100 - 300 m	Áno	Nízka
GNSS	Globálny	1 - 3 m	Nie	Nízka

Malý rozsah merania znamená, že daná technológia dokáže merať polohu objektov iba v rámci jednej miestnosti. Samozrejme, škálovaním je možné dosiahnuť rozšírenie dostupnosti. Stredný rozsah sa týka technológií, ktorých signál dokáže prechádzať stenami budov, no jeho dosah je za bežných okolností menší ako 100 m. Veľký rozsah merania vychádza z veľkého dosahu vysielačov, ale tiež existujúcej infraštruktúry. Globálny rozsah znamená globálnu dostupnosť určovania polohy.

Cenová náročnosť sa odvíja predovšetkým od počtu rôznych komponentov a ich množstva. Pri nízkej cenovej náročnosti berieme do úvahy existujúcu infraštruktúru a možnosť nahradenia štítkov inteligentnými mobilnými zariadeniami. Technológie so strednou cenovou náročnosťou sú cenovo dostupné, no napriek tomu je nutné budovať sieť prijímačov. Vysoká cenová náročnosť je výsledkom nízkeho dosahu aktívnych prvkov, z čoho vyplýva potreba budovania rozsiahlej a komplikovanej siete.

2.3 Spracovanie pozičných údajov

Pri výbere vhodnej metódy pre určenie polohy vychádzame v prvom rade z toho, aké informácie nám poskytuje použitá technológia. V prípade, ak sa jedná o priestorové údaje (napr. uhol dopadu), využijeme niektorú z geometrických metód. Ak sú priestorové údaje nedostatočné pre výpočet relatívneho odhadu polohy medzi uzlami siete, metódou pre zistenie prítomnosti môžeme aspoň určiť najbližší uzol, pri ktorom sa sledovaný objekt nachádza. Napríklad je takto možné potvrdiť alebo vyvrátiť prítomnosť osoby v miestnosti. Analýzu obrazu využívame najmä v prípade presných meraní s rozsahom niekoľkých metrov, je však prakticky použiteľná aj na zistenie prítomnosti objektov. Ideálnym prípadom je kombinácia viacerých spôsobov spracovania údajov, čím je možné dosiahnuť presnejšie výsledky. V tejto časti definujeme vstupy jednotlivých metód a vysvetlíme princíp ich fungovania.

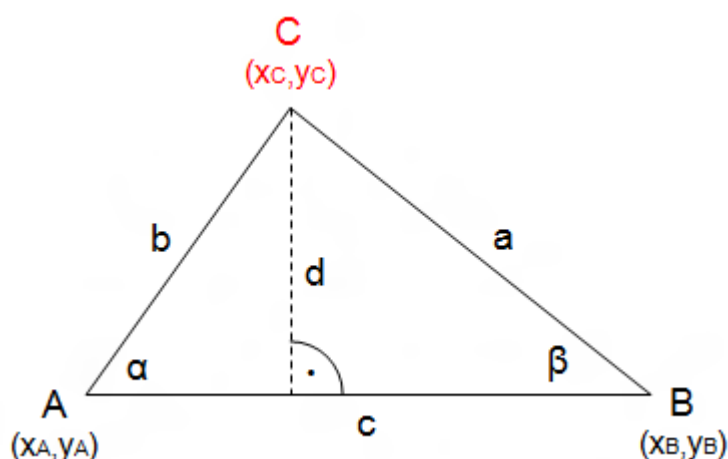
2.3.1 Geometrické metódy

Geometrické metódy určujú polohu objektu v priestore na základe snímania uhla dopadu (AOA, z angl. Angle of Arrival), času dopadu (TOA, z angl. Time of Arrival), časového rozdielu dopadu (TDOA, z angl. Time Difference of Arrival) alebo na základe sily prijatého signálu (RSS, z angl. Received Signal Strength). Hodnota RSS je v používaných štandardoch vyjadrená pomocou indikátora sily prijatého signálu (RSSI, z

angl. Received Signal Strength Indicator). Medzi základné geometrické metódy v tejto doméne patria triangulácia a trilaterácia.

Triangulácia

Triangulácia využíva na výpočet polohy objektu uhol dopadu a geometrické vlastnosti trojuholníkov. Je teda potrebné poznať polohu dvoch pevných bodov v priestore, ich vzájomnú vzdialenosť a uhly, ktoré zvierajú s hľadaným objektom [11]. Aby bolo možné zmerať uhly, je vo väčšine prípadov nevyhnutná priama viditeľnosť medzi fixným bodom a objektom. Pre dosiahnutie väčšej presnosti sa používa sústava pozostávajúca z viacerých známych bodov, metóda na určenie polohy objektu má potom názov “multiangulácia”. Triangulácia nachádza uplatnenie, vďaka jednoduchému meraniu uhlov, predovšetkým v pozičných systémoch založených na IR. Niekedy sa používa aj pri vyhľadávaní polohy v mobilných komunikačných sieťach, takáto implementácia však vyžaduje cenovo náročné BS, pozostávajúce z viacerých antén na meranie uhla prichádzajúceho signálu [26].



Obr. 3 Výpočet súradníc pomocou triangulácie

Na Obr. 3 sa nachádza sústava pevných bodov A a B. Súradnice (x_A, y_A) a (x_B, y_B) vyjadrujú polohu bodov v priestore, v praxi sa jedná o geografické súradnice, teda zemepisnú šírku a dĺžku. Vstupnými hodnotami sú uhly α , β a dĺžka úsečky c . Priesečník polpriamiek a , b predstavuje polohu hľadaného objektu, v sústave označeného ako C. Predpokladom pre uplatnenie triangulácie je, aby sa bod C nenachádzal na priamke s A a B. V takom prípade je potrebné použiť iné fixné body. Pri výpočte vychádzame z nasledujúceho vzťahu:

$$c = \frac{d}{\tan \alpha} + \frac{d}{\tan \beta} \quad (1)$$

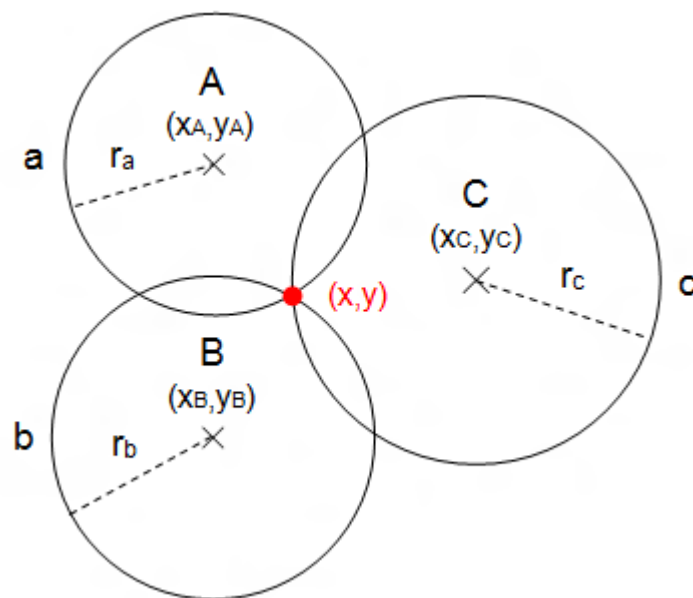
Kde d je kolmica na úsečku c , prechádzajúca bodom C . Odvođením a aplikovaním trigonometrických identít $\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$; $\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$ dostaneme vyjadrenie d a následne môžeme vypočítať hodnoty hľadaných súradníc (x_c , y_c).

$$d = \frac{c \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

$$x_c = x_A + \frac{d}{\tan \alpha}, \quad y_c = y_A + d \quad (3)$$

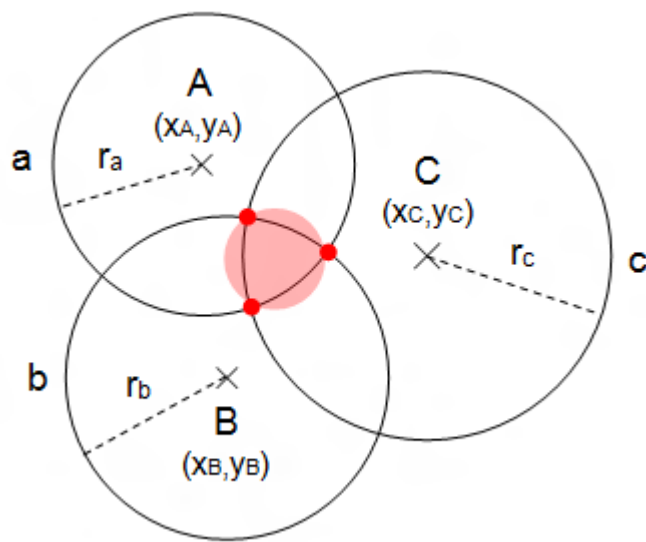
Trilaterácia

Meranie uhla dopadu je technologicky náročnejšie ako meranie TOA, TDOA alebo RSS. Z tohto dôvodu sa vo väčšine prípadov využíva druhá metóda, trilaterácia. Pri trilaterácii je potrebné poznať aspoň približnú priamu vzdialenosť troch bodov od hľadaného objektu. V prípade, ak je na výpočet použitý väčší počet bodov, metóda má názov “multilaterácia”. Na približné určenie polohy sa využíva aj unilaterácia, v prípade známej polohy iba jedného bodu, a bilaterácia, ak je známa poloha dvoch bodov sústavy. Okrem kružnicovej trilaterácie existuje aj hyperbolická trilaterácia, pri ktorej sú na výpočet využívané vlastnosti hyperboly. Hyperbolická trilaterácia sa využíva hlavne v súvislosti s algoritmami založenými na meraní TDOA [37]. Pri kružnicovej trilaterácii je polomer kružníc určovaný relatívnym prepočtom nameranej hodnoty TOA alebo RSS. Trilateráciu (resp. multilateráciu) využíva väčšina pozičných systémov, vrátane lokalizačných služieb v mobilnej komunikačnej sieti, GNSS a WPS.



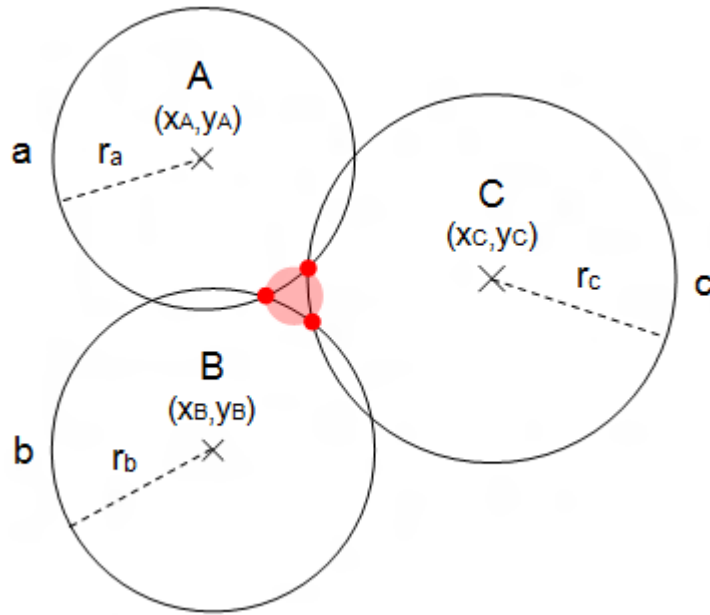
Obr. 4 Výpočet súradníc pomocou trilaterácie I.

Obr. 4 znázorňuje sústavu pevných bodov A , B a C so súradnicami (x_A, y_A) , (x_B, y_B) a (x_C, y_C) , predstavujúcimi geografické súradnice. Vstupnými hodnotami sú polomery kružníc a , b , c , ktoré označíme ako r_a , r_b a r_c . Podmienkou trilaterácie je, aby medzi každou dvojicou kružníc v sústave došlo k prieseku. Hľadaný objekt sa nachádza na spoločnom priesečníku všetkých troch kružníc. Na Obr. 4 sa nachádza ideálny prípad, kedy je možné dosiahnuť najpresnejšie výsledky. V reálnych podmienkach však nastávajú predovšetkým ďalšie dva prípady. Na Obr. 5 je znázornený druhý prípad.



Obr. 5 Výpočet súradníc pomocou trilaterácie II.

Pri takomto rozmiestnení kružníc je potrebné najskôr identifikovať najbližšie a vzdialené priesečníky. Najbližšie priesečníky ohraničujú oblasť, v ktorej sa nachádza hľadaný objekt. V praxi sa so znázornením tejto oblasti stretávame napríklad v navigačných systémoch (GPS), kedy je naša pozícia na mape ohraničená kružnicou. Posledný prípad, ktorý môže nastať, sa nachádza na Obr. 6.



Obr. 6 Výpočet súradníc pomocou trilaterácie III.

Prvým krokom pri výpočte polohy je overenie vzniku priesečníkov kružníc. K vzniku priesečníkov dvoch kružníc nedochádza, ak platí aspoň jedna z nasledujúcich rovníc [37]:

$$\sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} > r_a + r_b \quad (4)$$

$$\sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} < |r_a - r_b| \quad (5)$$

Toto overenie je potrebné aplikovať na všetky dvojice kružníc v trilaterálnej sústave. Ďalším krokom je nájdenie všetkých priesečníkov. Vychádzame z matematických vlastností kružníc a pre každú dvojicu určíme priesečníky rovnakým spôsobom. Na základe vzorcov odvodených v [37] platia nasledujúce vzťahy:

$$K = -x_A^2 + x_B^2 - y_A^2 + y_B^2 - r_b^2 + r_a^2, \quad L = 2y_B - 2y_A, \quad M = 2x_B - 2x_A \quad (6)$$

$$D = \frac{L^2}{M^2} + 1, \quad E = \frac{-2KL}{C^2} + \frac{2Lx_A}{C} - 2y_A, \quad F = \frac{K^2}{M^2} - 2x_A \frac{K}{M} + x_A^2 + y_A^2 - r_a^2 \quad (7)$$

Priesečníky kružníc potom získame dosadením hodnôt do rovníc pre výpočet súradníc [37]:

$$y_{A,B} = \frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4DF}}{2D}, \quad x_{A,B} = \frac{K - LY_{A,B}}{M} \quad (8)$$

Tento postup opakujeme pre všetky páry kružníc v sústave. Predposledným krokom trilaterácie je určenie najbližších troch priesečníkov. Ide o skupinu

priesečníkov, medzi súradnicami ktorých je najmenšia vzdialenosť. Aby sme určili polohu hľadaného objektu, stačí už iba spriemerovať hodnoty súradníc použitím vhodnej matematickej metódy [37].

2.3.2 Symbolická lokalizácia

Ak technologické prostriedky neposkytujú informácie pre presnejšie určenie polohy objektu v priestore, je vhodné spracovať pozičné údaje aspoň za účelom rozlíšenia najbližšieho pevného bodu. V niektorých literatúrach sa v tejto súvislosti uvádza označenie „symbolická lokalizácia” [15]. Vstupom pozičných systémov rozoznávajúcich prítomnosť objektov môže byť napríklad identifikátor štítku RFID s nízkym dosahom, zvukový alebo svetelný signál. Symbolická lokalizácia na úrovni miestností sa uplatňuje napríklad v [40]. V uvedenom prípade je možné doceliť veľmi presné výsledky umiestnením iba jedného aktívneho prvku do každej miestnosti. Nakoľko ide o triviálny spôsob spracovania údajov, ktorý iba potvrdzuje alebo vyvracia prítomnosť objektov, nie je potrebné sa touto metódou ďalej zaoberať.

2.3.3 Analýza obrazu

Pre určenie polohy objektu spracovaním obrazových údajov sa uplatňujú rôzne algoritmy, ktoré môžeme rozdeliť na statické a diferenciálne [11]. Statické algoritmy porovnávajú časti obrazu s vopred zadanými tvarmi, napríklad na rozlíšenie ľudskej tváre [41]. Príkladom môže byť kamerový systém schopný detegovať prítomnosť osôb v budove. Diferenciálne algoritmy sú založené na porovnávaní aktuálnej snímky s predchádzajúcimi. V pozičných systémoch má takýto výpočet zmysel pre odhad relatívnej polohy oproti fixným objektom. Odhad relatívnej polohy v prostredí je dôležitý napríklad v systémoch pre automatické riadenie vozidla [42].

2.4 Pozičné systémy založené na Wi-Fi

Na základe stručnej analýzy dostupných technológií a tabuľky Tab. 2 môžeme usúdiť, že najvhodnejším prostriedkom pre implementáciu IPS s odozvou v reálnom čase, podľa uvedených kritérií, je technológia Wi-Fi. WPS využívajú existujúcu alebo vlastnú infraštruktúru prístupových bodov:

- a) Výhodou použitia existujúcej infraštruktúry je hlavne cena, pretože takýto systém je možné implementovať na softvérovej úrovni. Štítky používateľov tak môžu byť nahradené ich mobilnými zariadeniami. Keďže rozmiestnenie

AP sa v tomto prípade nezakladá na potrebe určovania polohy, presnosť je v niektorých prípadoch nedostatočná.

- b) Pre dosiahnutie lepšej presnosti môžu byť siete vybudované iba pre potreby lokalizácie a nemusia poskytovať pripojenie k internetu. MANET (z angl. Mobile Ad Hoc Network) je označenie pre mobilnú ad hoc sieť [37]. Výhodou ad hoc riešenia je jednoduché vytvorenie infraštruktúry uzlov siete, ktorá je potrebná pre správne fungovanie WPS.

V oboch uvedených situáciách môže byť výpočet vykonávaný na strane klientskej stanice (mobilné zariadenie). Ak systém používa komplikovaný algoritmus, z dôvodu obmedzenej kapacity batérie mobilného zariadenia je vhodné výpočet uskutočňovať na strane servera. Dôležitým faktorom určovania polohy sú vlastnosti produkovaného signálu, najmä s ohľadom na šírenie vo vnútri budov.

2.4.1 Vlastnosti signálu

Za ideálnych podmienok sa vysielané rádiové vlny šíria a propagujú ako sférické vlnoplochy. V reálnom prostredí však dochádza k diverzite spôsobenej odrazmi, difrakciou a rozptylom [44]. Na určenie sily signálu sa používajú jednotky dB (decibel) a dBm (decibel na miliwatt), kde dB vyjadruje pomer medzi dvoma hodnotami sily a dBm určuje absolútnu hodnotu sily. Čím viac fyzických prekážok sa v prostredí nachádza, tým je správny výpočet TOA, TDOA a RSS náročnejší. Hodnotu RSS ovplyvňuje aj vzdialenosť medzi ľudským telom a anténou mobilného zariadenia, a tiež priestorová orientácia (smerovanie) používateľa, pri ktorom sa výsledok merania môže líšiť až o 5 dBm [43]. Signál pri prechode prostredím stráca silu, teda dochádza k jeho oslabeniu v závislosti na absorpčných vlastnostiach objektov, nachádzajúcich sa v ceste šírenia. Na výpočet poklesu dB v priestore sa používa nasledujúci vzťah [47]:

$$P_r(dB) = P_t(dB) - 10 \times \alpha \times \log_{10}(d) \quad (9)$$

Kde $P_r(dB)$ je sila prijatého signálu a $P_t(dB)$ je sila vysielaného signálu v dB, d je vzdialenosť a α je konštanta straty sily v závislosti na prostredí. Vo voľnom prostredí bez prekážok je $\alpha = 2$, v interiéri nadobúda väčšinou hodnotu 3,9 až 6,5 [47]. Uvedené hodnoty sa v rôznych literatúrach líšia. V [15] je výpočet poklesu dB uvedený so zohľadnením frekvencie signálu - napríklad pri šírení signálu frekvencie 2,4 GHz vo voľnom prostredí je pokles sily vo vzdialenosti 30 m od vysielacieho prvku približne 70

dB. Okrem straty sily signálu pri prechode prostredím komplikujú výpočet polohy objektu predovšetkým nasledovné negatívne faktory [15]:

- *Prelínanie signálu.* Ide o jav, pri ktorom prijímač zaznamenáva viackrát v rovnakom čase ten istý signál, v dôsledku odrážania vysielaného signálu od prostredia, napríklad od stien budov, dverí, okien a podobne. V dôsledku toho môže byť hodnota RSS skreslená. Aj keď prelínanie je výrazné predovšetkým vo vnútri budov, badáme tento efekt aj vo vonkajšom prostredí [45].
- *Časové oneskorenie.* Vzniká v prípade, ak je signál so známou rýchlosťou šírenia zachytený prijímačom neskôr, ako v predpokladaný čas. Pri TDOA systémoch je preto dôležité brať do úvahy potrebu rozlíšenia opakujúceho sa signálu, hlavne pri vysokej frekvencii opakovania. Pri časovom oneskorení dochádza k zmene amplitúdy, čo môže spôsobiť nečitateľnosť správy.
- *Aliasing.* Predpokladajme, že AP vysielá signál rovnomerne všetkými smermi. Prijímače nachádzajúce sa na kružnici so stredom v AP by tak za ideálnych podmienok prijímali signál s rovnakou hodnotou RSS. Tento jav sa nazýva aliasing. Problémom je nerovnomerné šírenie signálu v reálnom prostredí - rovnakú hodnotu RSS je tak možné namerať na rôznych miestach.
- *Dopplerov jav.* Jedná sa o zmenu frekvencie snímanej prijímačom signálu vysielaného AP v dôsledku relatívneho pohybu medzi týmito dvoma prvkami [46]. Podmienkou vzniku Dopplerovho javu je pohyb po pomyselnéj priamke spájajúcej prijímač a vysieláč. Ak je pohyb vykonávaný bez priamej viditeľnosti týchto prvkov, môže dôjsť k nečitateľnosti prenášaných údajov.

2.4.2 Určovanie polohy

V kapitole 2.3 sme sa zaoberali všeobecnými metódami spracovania pozičných údajov pri použití rôznych technológií. V tejto časti sa zameriame na WPS. Pozičné systémy založené na Wi-Fi určujú polohu objektov predovšetkým pomocou trilaterácie alebo štatistickej metódy snímania odtlačkov.

Trilaterácia vo WPS

Vstupnými údajmi pri trilaterácii vo WPS je absolútna alebo relatívna poloha prístupových bodov a TOA, TDOA, resp. RSSI. Prvým krokom je teda prepočet pozičných údajov a získanie polomerov trilateráčnych kružníc.

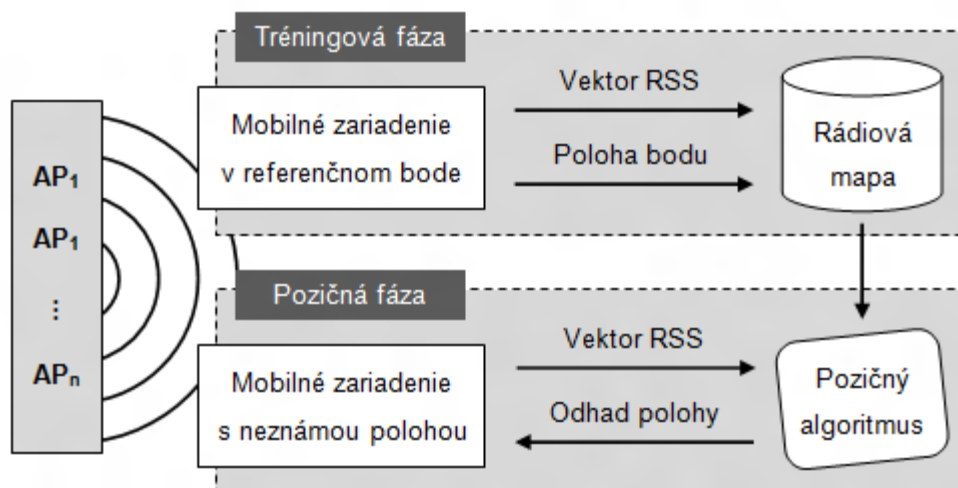
- *TOA / TDOA*. V systémoch merajúcich čas mobilné zariadenie v pravidelných intervaloch vysiela signály zachytávané prístupovými bodmi [15]. V opačnom prípade by muselo zariadenie spracovávať signál od všetkých AP v dosahu. Polomery kružníc sú počítané na základe referenčného času prvého vyslania signálu, frekvencie a následujúcich časov dopadu.
- *RSSI*. Nakoľko RSS daného AP je možné v mobilnom zariadení získať pomocou dostupného mechanizmu, je možné zvoliť opačný princíp. Mobilné zariadenie na základe sily prijatého signálu dokáže uskutočňovať výpočet samostatne. Nevýhodou RSSI sú zlé vlastnosti signálu (pozri 2.4.1), ktoré sú hlavným dôvodom nesprávneho výpočtu [43].

Významným faktorom pri trilaterácii je schopnosť signálu Wi-Fi prechádzať stenami budov. Výpočet teda môže byť komplikovanejší ako v 2.3.1, pretože pri viacposchodových budovách je nevyhnutné zohľadniť aj tretí rozmer.

Snímanie odtlačkov

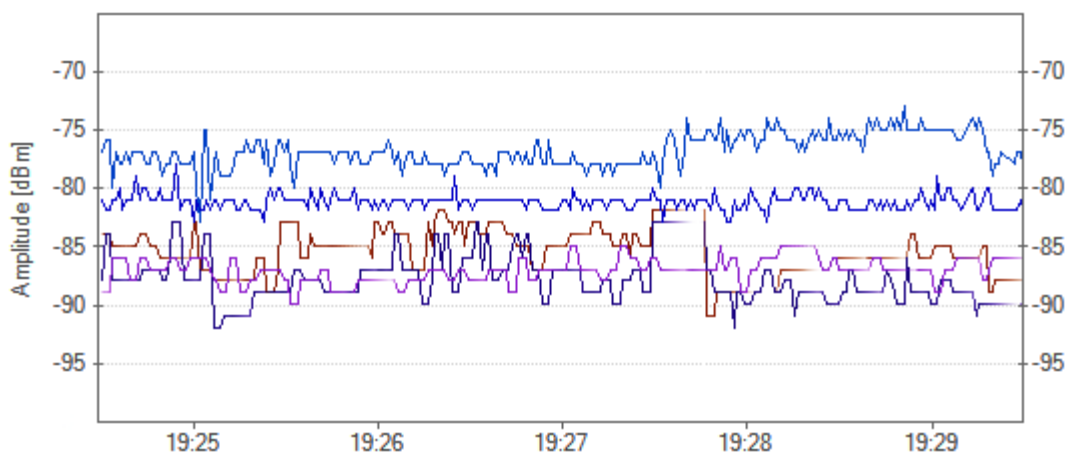
Snímanie odtlačkov (angl. Fingerprinting) je štatistickou metódou vychádzajúcou z RSSI, ktorú je možné použiť aj v prípade, ak poloha AP nie je známa. Ide o typický príklad využitia existujúcej infraštruktúry WLAN. Referenčný bod priradzuje absolútnej priestorovej polohe hodnoty RSS okolitých AP. Množinu týchto hodnôt nazývame „odtlačok“. Snímanie odtlačkov sa vykonáva v dvoch fázach:

- *Tréningová fáza*. Podstatou tejto fázy je zbieranie údajov, ktoré sú vstupom pozičného algoritmu. Je potrebné vytvoriť databázu odtlačkov miest, tzv. rádiovú mapu. Referenčné body je dôležité zvoliť premyslene na základe vedomostí o šírení signálu v priestore. Predpokladom správneho výpočtu pri použití existujúcich sietí je aktuálnosť údajov, keďže aj malá zmena rozmiestnenia AP môže podstatne ovplyvniť RSSI v danej oblasti.
- *Pozičná fáza*. Predstavuje fázu určenia polohy mobilného zariadenia na základe vytvorenej databázy. Najčastejšie využívaným štatistickým aparátom je algoritmus k-najbližších susedov (kNN, z angl. k-Nearest Neighbor), ktorému sa budeme bližšie venovať pri návrhu vlastnej metódy v časti 3.2.1. Iným spôsobom je napríklad použitie neurónových sietí [49]. Vybrané algoritmy sú spolu s dosahovanou presnosťou uvedené v Tab. 3.



Obr. 7 Tréningová a pozíčná fáza v metóde snímania odtlačkov

Na Obr. 7 sa nachádza znázornenie fáz v metóde snímania odtlačkov. Snímanie môže byť vykonané za účelom deterministického alebo probabilistického výpočtu [36]. V prvom prípade je databáza jednoduchá, pretože sa ukladá iba priemerná hodnota RSS všetkých dostupných AP. Presnejšie výsledky na úkor náročnejších výpočtov je možné dosiahnuť probabilistickým výpočtom, ktorý zohľadňuje komplexnejšie údaje. Obr. 8 predstavuje 5-minútový záznam RSS vytvorený na jednom mieste pomocou programu InSSIDer [48]. Okrem rôznej priemernej hodnoty každého signálu je zrejma aj rozdielna odchýlka.



Obr. 8 Kolísanie intenzity signálu Wi-Fi počas 5 minút

2.4.3 Existujúce riešenia

Vďaka rozsiahlemu výskumu v oblasti WPS dnes existuje množstvo reálne používaných systémov. Tab. 3 obsahuje zhrnutie najdôležitejších vlastností vybraných systémov založených na WLAN a RSS. Všetky hodnoty v tabuľke vychádzajú z meraní autorov, referencie na uvedené systémy sú vymenované v [50].

Tab. 3 Zhrnutie charakteristík existujúcich WPS

System	Algoritmus	Presnosť	Správnosť	Zložitosť	Cena
RADAR	kNN Viterbi	3 – 5 m	50% v rámci 2,5 m 90% v rámci 5,9 m	Stredná	Nízka
DIT	MLP SVM	3 m	90% v rámci 5,12 m 90% v rámci 5,40 m	Stredná	Nízka
Horus	P(a)	2 m	90% v rámci 2,1 m	Stredná	Nízka
Ekahau	P(a)	1 m	50% v rámci 2 m	Stredná	Nízka
Robot-based	BAY	1,5 m	50% v rámci 1,5 m	Stredná	Stredná
MultiLoc	SMP	2,7 m	50% v rámci 2,7 m	Nízka	Stredná
TIX	TIX	5,4 m	50% v rámci 5,4 m	Nízka	Stredná

Navizon

Spoločnosť Navizon predstavila od roku 2005 dva rozdielne produkty na lokalizáciu osôb. Navizon One je systém založený na A-GPS, bunkových sieťach a existujúcej infraštruktúre AP [51]. Klientská aplikácia, dostupná zdarma pre rôzne mobilné platformy, ponúka používateľom globálnu lokalizáciu s presnosťou na úrovni ulíc. Využíva databázu hybridných odtlačkov, ktorú budujú dobrovoľníci za finančnú odmenu. Výhodou oproti GPS je rýchlejšia odozva a presnosť na miestach so zmapovanými AP.

Navizon I.T.S. (z angl. Indoor Triangulation System) poskytuje veľmi presnú lokalizáciu vo vnútri budov, je však potrebná inštalácia jednéhoúčelovej siete AP. Ide teda o platené riešenie, ktoré ale môže byť nasadené aj ako bezpečnostný systém. Ďalšou výhodou je, že používatelia Navizon One získajú v prispôbených budovách presné výsledky. Metódou pre určenie polohy je RSSI trilaterácia. Napriek tomu spoločnosť Navizon používa pre označenie komerčne zaužívanější výraz “triangulácia”.

Skyhook

Skyhook Wireless je jedným z priekopníkov WPS - spoločnosť zbiera databázu údajov už od roku 2003. Dôkazom kvalitných služieb je fakt, že lokalizačný mechanizmus Skyhook WPS bol spolu so službou od spoločnosti Google použitý v operačnom systéme Apple iOS vo verzii 1.1.3 až 3.1, teda v rozmedzí rokov 2008 a 2010. Spoločnosť na svojich stránkach uvádza dostupnosť 99,8% (je zrejmé, že ide o dostupnosť obývaných území v USA), presnosť 10 m a čas prvého nájdania polohy 1

sekundu [52]. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, ide o hybridné riešenie využívajúce okrem WLAN aj bunkové siete a A-GPS. Skyhook ale za účelom crowdsourcingu neposkytuje vlastnú aplikáciu - namiesto toho vydáva SDK a služba je prístupná cez aplikácie tretích strán.

Okrem uvedených služieb je Skyhook autorom zásuvného modulu Loki (JavaScript), ktorý poskytovateľom internetových stránok sprostredkúva informáciu o približnej geografickej polohe návštevníkov na základe WPS (ak je používanie sieťovej karty dostupné) a IP geolokácie. IP geolokácia je metóda na určenie polohy zariadenia na základe IP adresy siete, do ktorej sa pripája. Poskytuje však iba približnú informáciu o polohe, väčšinou na úrovni miest.

Google

Spoločnosť Google sa od roku 2005 zaoberá vytváraním detailnej mapy Zeme. V roku 2007 predstavila aplikáciu Google Maps vo verzii 2.0, ktorá obsahovala lokalizačnú službu založenú na dostupných informáciách mobilného zariadenia. Medzi lokalizačné technológie patrí GPS, Wi-Fi a bunkové siete. V roku 2011 bola vydaná verzia Google Maps 6.0, poskytujúca určovanie polohy používateľa vo vnútri budov [53]. Lokalizácia je dostupná iba v presne zmapovaných budovách, ktorých správcovia prejavia záujem odoslaním pôdorysu budovy spoločnosti Google. Podmienkou je, že musí ísť o verejné budovy, keďže pôdorys bude po akceptácii pridaný do aplikácie Google Maps. Aj napriek tomu, že nebol zverejnený spôsob určovanie polohy, je možné sa domnievať, že lokalizácia sa uskutočňuje na základe sily signálu Wi-Fi.

Okrem uvedených služieb spoločnosť Google ponúka aj ďalšie zaujímavé produkty, spojené s určovaním polohy osôb. Najvýznamnejšími službami sú Google Maps API a Google Places API, prostredníctvom ktorých môžu aplikácie tretích strán využívať (a zároveň budovať) rozsiahlu databázu spoločnosti. Ďalším významným projektom je trojrozmerná vizualizácia budov, čo môže byť v budúcnosti použité práve v súvislosti s navigáciou v interiéri. Dôkazom presnosti máp a algoritmov na určenie polohy je aj samojazdiace auto, ktoré sa v súčasnosti zavádza do praxe.

3 Metóda pre približné určenie polohy v interiéri

Technológie a metódy na určovanie polohy, ktoré sme analyzovali v prvej kapitole, je vhodné pri implementácii systému zvoliť na základe požadovaných výsledkov a ceny. Pokiaľ ide o použitie v interiéri, presnosť určovania polohy je priamo úmerná cenovej náročnosti. Takéto riešenia si spravidla vyžadujú budovanie rozsiahlej infraštruktúry majákov [2][10][51]. V prípade, ak je systém určený na zistenie polohy osoby, ktorá ho obsluhuje, je dôležitým faktorom tiež prenos údajov a vyťaženie mobilného zariadenia. Ak sú výpočty vykonávané distribuovane, vzniká potreba neustáleho pripojenia k výpočtovej jednotke, pri veľkých systémoch väčšinou prostredníctvom internetu. Z dôvodu obmedzeného zdroja energie mobilného zariadenia je preto vhodné zvážiť, či prenos údajov nekladie na batériu väčšie nároky, ako prípadný lokálny výpočet. Obsahom tejto kapitoly je návrh vlastnej metódy na určenie približnej polohy používateľa v interiéri.

3.1 Požiadavky a predpoklady

Pri návrhu metódy budeme predpokladať dostupnosť mobilného zariadenia so systémom Google Android a technologických prostriedkov, ktoré sú konkretizované v kapitole 4. Systém využívajúci túto metódu by mal byť zároveň IPS, WPS a RTLS. V tejto časti sa nachádza zoznam základných požiadaviek, z ktorých budeme pri návrhu metódy a systému vychádzať.

- 1) *Autonómne mobilné riešenie.* Implementovaný systém musí fungovať samostatne na mobilnom zariadení a pri odhade polohy nesmie komunikovať s externými prvkami. Náročnosť výpočtu a veľkosť databázy musí byť preto prispôsobená obmedzeným vlastnostiam hardvéru. Informácia o aktuálnej polohe bude zobrazená priamo na obrazovke zariadenia.
- 2) *Určenie polohy v interiéri budov.* Riešenie musí poskytovať informáciu o aktuálnej polohe v reálnom čase, predovšetkým v interiéri budov a na miestach s obmedzenou použiteľnosťou satelitnej navigácie. Zároveň by malo fungovať aj v exteriéri v okolí zmapovaných budov.
- 3) *Využitie existujúcej infraštruktúry WLAN.* Metóda na určenie polohy môže ako jediný vonkajší zdroj informácií využívať RSSI prístupových bodov WLAN,

postavenej na štandarde IEEE 802.11. Predpokladom je nasadenie vo verejných budovách s rozsiahlou existujúcou infraštruktúrou AP.

- 4) *Neznalosť rozmiestnenia prístupových bodov.* Systém musí byť použiteľný pri rôznych charakteristikách prostredia bez známej polohy AP. Geometrický výpočet aktuálnej polohy je preto možné použiť iba v obmedzenom rozsahu. Vstupnými údajmi algoritmu sú vopred získané referenčné hodnoty RSS.
- 5) *Dostatočná presnosť odhadu polohy.* Je potrebné zabezpečiť presnosť odhadu aktuálnej polohy s dostatočnou úspešnosťou. Nakoľko nie je možné dopredu odhadnúť úspech výskumu, za cieľ budeme pokladať dosiahnutie hodnôt porovnateľných s výsledkami existujúcich pozičných systémov v Tab. 3.
- 6) *Zlepšenie presnosti senzorickými údajmi.* Okrem vonkajších vstupov môže metóda využívať aj údaje zo štandardných senzorických modulov mobilného zariadenia, medzi ktoré patrí kompas a akcelerometer. Tieto moduly musia byť súčasťou zariadenia a nesmú predstavovať externé komponenty.

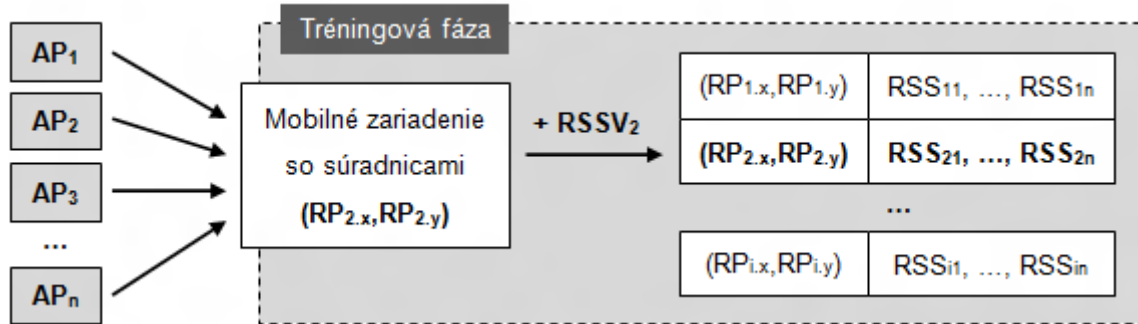
3.2 Výber vhodného algoritmu

Na základe predchádzajúcej analýzy môžeme usúdiť, že vhodným spôsobom určenia polohy pri neznalosti prostredia je metóda snímania odtlačkov RSSI. Túto metódu je možné použiť samostatne na mobilnom zariadení všade tam, kde je dostatočná saturácia AP. Predpokladom je existencia aktuálnej databázy referenčných bodov, ktorá je vytváraná počas tréningovej fázy. Budeme vykonávať deterministický výpočet, to znamená, že ukladané hodnoty RSS budú vyjadrovať priemernú silu signálu každého AP na danom mieste. Databáza odtlačkov predstavuje rádiovú mapu, v ktorej sú záznamy uložené v nasledujúcom tvare [55]:

$$RP_i = \{RSSV_i, RP_{i,x}, RP_{i,y}\} \quad (10)$$

$$RSSV_i = \{RSS_{i1}, RSS_{i2}, \dots, RSS_{ij}, \dots, RSS_{in}\} \quad (11)$$

Kde RP_i je záznam prislúchajúci i -temu referenčnému bodu (z angl. Reference Point), $RSSV_i$ je i -ty vektor RSS, $RP_{i,x}$ a $RP_{i,y}$ sú súradnice bodu vo fyzickom priestore a RSS_{ij} je sila signálu i -teho RP a j -teho AP, pričom $i = 1, 2, \dots, m$ je počet RP a $j = 1, 2, \dots, n$ je počet AP. Súradnice $RP_{i,x}$ a $RP_{i,y}$ budú uložené ako zemepisná šírka a dĺžka. Spôsobom snímania odtlačkov sa budeme zaoberať v kapitole 3.3.1. Obr. 9 znázorňuje uloženie referenčného miesta do rádiovkej mapy počas tréningovej fázy.



Obr. 9 Uloženie referenčného bodu do rádiovkej mapy

Vo všetkých prípadoch je prvý krok pozičnej fázy identický - ide o zistenie vektora $RSSV$ prislúchajúceho aktuálnej polohy. Ďalším krokom je výpočet pomocou zvoleného algoritmu. Nakoľko porovnávanie odtlačkov rieši problém určovania polohy ako problém klasifikácie vzorov [54], existuje mnoho algoritmov, ktoré je možné v tomto procese uplatniť [50]. Vhodný výber algoritmu ovplyvňuje čas odozvy, presnosť určenia polohy a kladie nároky na pamäť mobilného zariadenia. Z tohto dôvodu je potrebné mu venovať zvýšenú pozornosť.

3.2.1 Algoritmus k-najbližších susedov

Jednoduchým a zároveň účinným spôsobom určenia polohy, s ktorým sa často stretávame aj pri riešení iných problémov, je algoritmus kNN. Podstatou je namapovanie všetkých RP do tzv. “signálového priestoru”, v ktorom vzdialenosť predstavuje rozdiel medzi aktuálne nameraným vektorom a $RSSV_i$. Ak by výpočet vyžadoval zistenie vzdialenosti medzi jednotlivými bodmi, bol by tento priestor viacrozmerný. V našom prípade je ale podstatný iba rozdiel medzi aktuálnym bodom a daným RP, budeme teda uvažovať jednorozmerný priestor. Na výpočet vzdialenosti použijeme nasledujúci vzťah [55]:

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n |RSS_{ij} - RSS_j|^2} \quad (12)$$

Kde D_i je vzdialenosť medzi aktuálnym bodom a i -tým RP v signálovom priestore, RSS_{ij} je sila signálu j -teho AP nameraná pre i -ty RP a RSS_j je sila signálu j -teho AP nameraná v aktuálnom bode, pričom $i = 1, 2, \dots, m$ je počet RP a $j = 1, 2, \dots, n$ je počet AP. Algoritmus predpokladá priamu úmeru medzi vzdialenosťou v signálovom priestore a vzdialenosťou vo fyzickom priestore. Ďalším krokom algoritmu je inkrementálne usporiadanie vypočítaných vzdialeností. Hodnotu K môžeme zvoliť ľubovoľne podľa toho, akým spôsobom budú rozmiestnené jednotlivé RP. V prípade, ak $K = 1$, bude výsledná poloha určená ako poloha RP s najmenšou vzdialenosťou v

signálovom priestore - algoritmus sa vtedy zvykne označovať ako “NN”. Presnosť NN algoritmu je na úrovni referenčných bodov, ak by sme teda chceli docieľiť presnosť na úrovni miestností, bolo by potrebné do každej miestnosti umiestniť minimálne jeden AP. Z tohto dôvodu je vhodné zvoliť $K > 1$. V takom prípade môžeme vypočítať aktuálnu polohu na základe hodnoty aktuálnych súradníc K bodov podľa [55]:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^K w_i (x_i, y_i) \quad (13)$$

Kde (x, y) sú súradnice aktuálneho bodu, x_i, y_i sú súradnice a w_i je váhový faktor i -teho RP, pričom $i = 1, 2, \dots, K$. Kvôli jednoduchosti výpočtu sa zvykne váhový faktor určovať ako $1 / K$. Ak uvažujeme $K = 2$, resp. sústavu, v ktorej existujú iba 2 referenčné body, potom (x, y) bude predstavovať priemernú hodnotu súradníc týchto RP. Výsledná poloha bude teda určená bodom nachádzajúcim sa medzi RP_1 a RP_2 v rovnakej vzdialenosti od týchto bodov. To platí aj vtedy, keď D_1 je oveľa menšie ako D_2 , teda podobnosť vektora $RSSV_1$ je oveľa výraznejšia ako $RSSV_2$. V takom prípade je zrejmé, že aktuálna poloha by mala byť určená oveľa bližšie k RP_1 . Za týmto účelom sa používa rozšírená verzia algoritmu, WkNN (z angl. Weighted k-Nearest Neighbor). Váhový faktor potom počítame podľa [55]:

$$w_i = \frac{\frac{1}{D_i^2}}{\sum_{j=1}^K \frac{1}{D_j^2}} \quad (14)$$

Kde D_i je vzdialenosť i -teho a D_j vzdialenosť j -teho RP v signálovom priestore v usporiadanej sústave, pričom $i, j = 1, 2, \dots, K$. Ak vypočítaný váhový faktor aplikujeme na vzťah (13), výsledná poloha bude zohľadňovať vzťah medzi vzdialenosťou v signálovom priestore a vo fyzickom priestore.

3.2.2 Pravdepodobnostná metóda

Podobne ako v kNN, aj v pravdepodobnostnej metóde musíme najskôr usporiadať všetky RP podľa odchýlky $RSSV_i$ od aktuálne nameranej hodnoty. Ako mierku použijeme pravdepodobnosť toho, že súradnice (x, y) nadobúdajú hodnoty rovné súradniciam i -teho bodu. V signálovom priestore to znamená, že rozhodovacie pravidlo bude v tvare [54]: RP_i ak $P(RP_i | RSSV_A) > P(RP_j | RSSV_A)$, kde $RSSV_A$ je vektor aktuálnych hodnôt RSS a $i, j = 1, 2, \dots, m$ je celkový počet RP, pričom $i \neq j$. Na výpočet pravdepodobnosti použijeme Bayesov teorém:

$$P(RP_i | S) = \frac{P(RSSV_A | RP_i) \times P(RP_i)}{P(RSSV_A)} \quad (15)$$

Kde $P(RSSV_A | RP_i)$ je pravdepodobnosť výskytu vektora $RSSV_A$ v prípade RP_i , $P(RP_i)$ je pravdepodobnosť, že RP_i bude výsledným bodom a $P(RSSV_A)$ je celková pravdepodobnosť výskytu vektora $RSSV_A$. Keďže o umiestnení RP_i nemáme žiadnu informáciu, $P(RP_i)$ bude pre všetky body rovnaká a môžeme ju teda zanedbať. Zároveň platí, že vektor $RSSV_A$ bude rovnaký pre každý cyklus výpočtu polohy, teda výsledná pravdepodobnosť bude v tvare $P(RP_i | RSSV_A) = P(RSSV_A | RP_i)$. Podľa tohto odvodeného vzťahu upravíme rozhodovacie pravidlo nasledovne: RP_i ak $P(RSSV_A | RP_i) > P(RSSV_A | RP_j)$. Nakoľko rozmiestnenie AP je z pohľadu výpočtu náhodné, pravdepodobnosť výskytu vektora $RSSV_A$ v prípade RP_i vypočítame podľa [54]:

$$P(RSSV_A | RP_i) = P(RSS_1 | RP_i) \times \dots \times P(RSS_j | RP_i) \times \dots \times P(RSS_m | RP_i) \quad (16)$$

Kde RSS_j je sila signálu j -teho AP a $P(RSS_j | RP_i)$ je pravdepodobnosť výskytu RSS_j v RP_i , pričom $i = 1, 2, \dots, m$ je počet RP a $j = 1, 2, \dots, n$ je počet AP v sústave. $P(RSSV_A | RP_i)$ predstavuje váhový faktor, ktorý použijeme pri výpočte súradníc aktuálnej polohy:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^m (P(RP_i | RSSV_A) \times (x_i, y_i)) \quad (17)$$

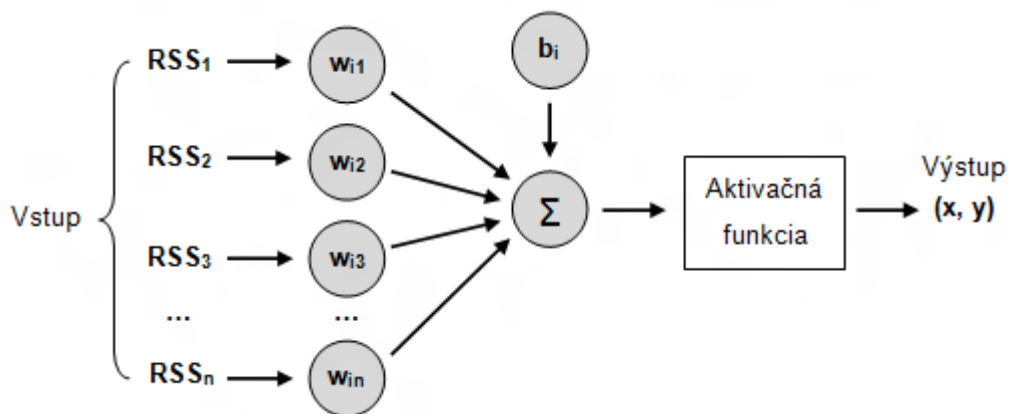
3.2.3 Neurónové siete

Na rozdiel od predchádzajúcich 2 algoritmov, pri neurónových sieťach ide o komplexnejší výpočet, ktorého presnosť a zároveň rýchlosť je možné do značnej miery regulovať pridávaním, resp. odoberaním neurónov. Typom neurónovej siete, ktorá sa využíva pri porovnávaní odtlačkov je MLP (z angl. Multilayer Perceptor) [54]. Pozostáva zo vstupnej vrstvy, výstupnej vrstvy a určitého počtu ukrytých vrstiev neurónov. Výpočet predstavuje prúdenie údajov cez jednotlivé vrstvy.

Na účely určovania pozície sa zvyčajne používa MLP s jednou ukrytou vrstvou [50]. Počet neurónov v každej vrstve je možné zvoliť ľubovoľne. Riešenie prezentované v [49] napríklad používa jednu vrstvu s 3 neurónmi. Zároveň však autor udáva, že s rastúcou veľkosťou siete je možné dosiahnuť presnejšie výsledky, ak je však počet vstupov a neurónov príliš vysoký, pri náhlej zmene polohy dochádza k výraznej chybe. Ide o prípad, kedy si sieť zapamätá predchádzajúce hodnoty, no zatiaľ nedokáže reagovať na nové situácie [49]. Z matematického hľadiska môžeme výstup i -teho neurónu v l -tej vrstve vyjadriť pomocou nasledujúceho vzťahu [54]:

$$a_i(l) = \sum_{j=1}^{N_{l-1}} w_{ij}(l) o_j(l-1) + b_i(l); \quad o_i(l) = f(a_i(l)) \quad (18)$$

Kde $a_i(l)$ je aktivačná (vstupná) a $o_i(l)$ výstupná hodnota i -teho neurónu na l -tej vrstve. Aktivačná hodnota je rovná váženej sume výstupov predchádzajúcej vrstvy, ktorá je doplnená o odchýlku $b_i(l)$ a $w_{ij}(l)$ predstavuje synaptickú váhu spájajúcu výstup j -teho neurónu z predchádzajúcej vrstvy a i -teho neurónu aktuálnej vrstvy. Funkcia f je nelineárnou funkciou s priebehom prislúchajúcim sigmoidu alebo hyperbolickému tangensu.



Obr. 10 Výpočet súradníc pomocou jedného neurónu v neurónovej sieti

Na Obr. 10 sa nachádza znázornenie jedného neurónu podľa [56]. Vstupnými hodnotami sú teda aktuálne zaznamenané hodnoty RSS_j , kde $j = 1, 2, \dots, n$ je počet AP. Synaptické váhy w_{ij} slúžia na úpravu vstupnej hodnoty podľa predchádzajúcich výpočtov a predstavujú pamäť neurónovej siete. Podstatou tréningovej fázy je získanie hodnôt w_{ij} . Za týmto účelom môžeme použiť rádiovú mapu, ktorá vektorom RSS priradzuje súradnice (x, y) . Úlohou aktivačnej funkcie je určenie súradníc aktuálnej polohy na základe získaných vstupov. Tréningová fáza spočíva v tom, že necháme neurónovú sieť určiť výsledok a následne manuálne vyhodnotíme chybu. Počas fázy určovania polohy sú potom súradnice odvodené na základe nastavenia hodnôt w_{ij} .

3.2.4 Ostatné algoritmy

Vyššie uvedené algoritmy sú konvenčne zaužívanou voľbou pre výpočet aktuálnej polohy pri porovnávaní odtlačkov. Okrem variácií uvedených algoritmov sa používajú ešte ďalšie typy, ktoré však nie sú z hľadiska zložitosti výpočtu vhodným kandidátom pre našu metódu.

SVM (z angl. Support Vector Machine) je novou metódou pre klasifikáciu a regresnú analýzu údajov, ktorá ako nástroj štatistickej analýzy a strojového učenia

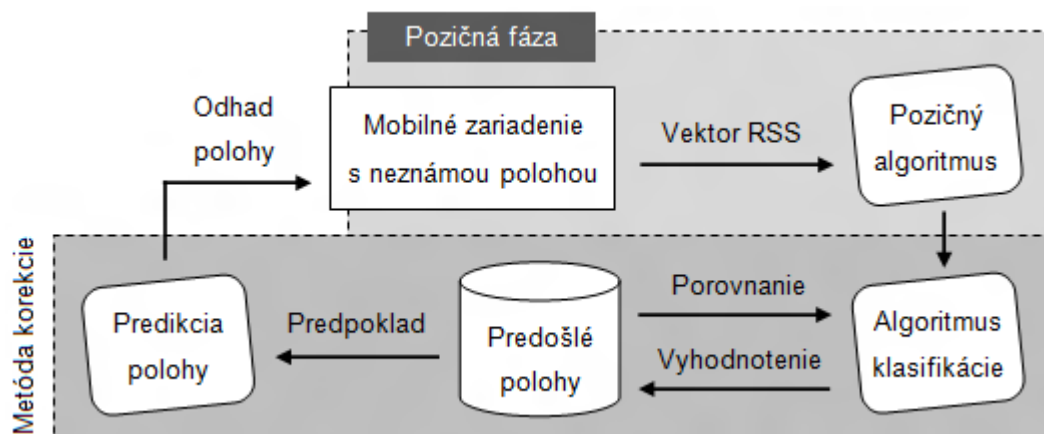
dosahuje veľmi dobré výsledky [50]. Klasifikácia spočíva v rozdelení RP do tried podľa vektorov RSS, pričom sa snažíme nájsť triedu s vektormi, ktoré najlepšie vystihujú $RSSV_A$. Regresnou analýzou môžeme z databázy tréningových údajov získať funkciu f aplikovateľnú na hodnoty snímané počas pozičnej fázy [57].

SMP (z angl. Smallest M-vertex Polygon) využíva RSSI jednotlivých AP samostatne na určenie predpokladaných pozícií vo fyzickom priestore. Následne je vytvorená skupina M-uholníkov spájajúcich body predpokladaných pozícií. Súradnice výslednej polohy sú potom určené ako priemerná hodnota súradníc polygónu s najmenšou plochou [50].

Bayesovské modelovanie (BAY, z angl. Bayesian modeling) počíta aktuálnu polohu pomocou pravdepodobnosti, ktorej predpokladom je poznanie modelu propagácie signálu, buď v empirickej forme nadobudnutej rozsiahlym meraním RP, alebo výberom vhodného modelu a výpočtom jeho parametrov na základe skúmania propagácie signálu [57]. V prvom prípade je predpokladom úspechu množstvo meraní, v druhom prípade je dôležitejším faktorom presnosť modelu.

3.3 Návrh fungovania metódy

V kapitole 3.2 je vysvetlené fungovanie konvenčných algoritmov určovania polohy pomocou metódy robenia odtlačkov. Mnoho výskumných tímov sa snaží modifikáciami dosiahnuť lepšiu presnosť výpočtov. Modifikácie sa týkajú buď úpravy matematického aparátu daného algoritmu [58][59], alebo sa opierajú o spresnenie výsledkov použitím iných technológií [14]. V tejto časti prezentujeme odlišný spôsob vylepšenia výpočtov. Obr. 11 zobrazuje rozšírenie pozičnej fázy o metódu korekcie výsledkov pozičného algoritmu.



Obr. 11 Pozičná fáza doplnená o metódu korekcie výsledkov

Namiesto modifikácie existujúcich vzorcov teda vytvoríme metódu korekcie výsledkov, ktorá využíva výstup existujúceho algoritmu a filtrovaním pozičných údajov poskytuje presnejšie výsledky. Prvým krokom pozičnej fázy je porovnanie aktuálneho vektora RSS s údajmi v databáze využitím ľubovoľného algoritmu z 3.2, rovnako ako v pôvodnom prípade. Metóda korekcie výsledkov pozostáva z dvoch krokov. Najskôr sa vykoná klasifikácia výstupov pozičného algoritmu zohľadňujúca množinu predchádzajúcich výsledkov. Následne prebehne predikcia nasledujúcej polohy pomocou filtrovaných údajov, na základe ktorých je možné predpovedať polohu. V nasledujúcom texte sa nachádza podrobný opis fungovania jednotlivých fáz.

3.3.1 Snímanie odtlačkov

Databáza odtlačkov bude referenčným bodom okrem geografických súradníc priradovať aj identifikátor budovy $RP_{i,b}$ a identifikátor poschodia $RP_{i,f}$, teda $RP_i = \{RSSV_i, RP_{i,x}, RP_{i,y}, RP_{i,b}, RP_{i,f}\}$. Predkladané riešenie bude fungovať nielen na úrovni jedného poschodia alebo budovy, ale bude používateľovi poskytovať aj dôležitú informáciu o tom, v ktorej budove a na ktorom poschodí sa aktuálne nachádza.

Z dôvodu zachovania minimálnych výpočtových požiadaviek bude metóda používať deterministický výpočet. Vektor $RSSV_i$ získame ako priemernú hodnotu RSS z dostupných AP vykonaním m meraní s frekvenciou opakovania f . Z matematického hľadiska môžeme výpočet RSS_{ij} zo vzťahu (11) vyjadriť nasledovne:

$$RSS_{ij} = \frac{\sum_{k=0}^{m-1} RSS_{ij,tk}}{m}, \quad t_k = t_0 + k \times f \quad (19)$$

Kde $RSS_{ij,tk}$ je hodnota signálu j -teho AP v čase t_k , snímaná pre i -ty RP, pričom m je počet opakovaní, f je frekvencia opakovania a t_0 je čas prvého merania. Výsledný vektor môžeme vo fáze určovania polohy porovnávať buď s aktuálnou hodnotou RSS okolitých AP, alebo môžeme zaznamenávať m posledných meraní, podobne ako v tréningovej fáze, a porovnávať priemerné hodnoty. Z Obr. 8 je zrejmé, že porovnaním priemerných hodnôt dosiahneme oveľa presnejšie výsledky.

3.3.2 Výpočet aktuálnej polohy

Určenie aktuálnej polohy je podstatnou fázou každého pozičného systému. V našom prípade však nie je dôležité, aby výstup tejto fázy poskytoval ideálne výsledky, práve naopak, pri výraznej chybe výpočtu vznikne priestor pre realizáciu nami navrhovanej metódy korekcie výsledkov. Najväčšou výhodou tohto riešenia je možnosť

použitia v kombinácii s ľubovoľným algoritmom pre výpočet polohy. Za účelom ilustrácie a overenia metódy vyberieme na základe analýzy z kapitoly 3.2 algoritmus podľa nasledujúcich záverov.

Použitie neurónových sietí si vyžaduje rozsiahlu tréningovú fázu a z povahy výpočtu vyplýva, že výsledky nebudú nadobúdať výrazné odchýlky. SVM, SMP a Bayesovské modelovanie sú charakteristické zložitejšími výpočtami. Vhodnými kandidátmi sú teda algoritmy kNN a výpočet pravdepodobnosti. V literatúre sa uvádza [55][59], že kNN, resp. WkNN, je všeobecne zaužívaným algoritmom. Pre ilustráciu metódy spresnenia je vhodný hlavne vďaka nezohľadňovaniu predchádzajúcich výpočtov. Výstupom algoritmu sú informácie o aktuálnej polohe, ktoré sú vstupnými údajmi našej metódy.

3.3.3 Zohľadnenie histórie výsledkov

Algoritmus klasifikácie výsledkov pozičného algoritmu na základe histórie údajov za účelom presnejšieho určenia polohy je prvým praktickým výstupom uskutočneného výskumu. Prínosom je vylepšenie odhadu aktuálnej polohy v prípade, že dôjde k náhlej odchýlke. Podobný výskum [55], vykonaný na úrovni jednej zapamätanej položky, ukázal, že zohľadnením predchádzajúcej polohy je možné dosiahnuť lepšie výsledky. Toto riešenie sa v prípade odchýlky snaží predpovedať budúcu polohu používateľa v reálnom čase, nezohľadňuje však náhlu zmenu smeru a v prípade výraznej odchýlky v opačnom smere môže poskytovať zavádzajúce údaje. Naša metóda funguje na princípe triedenia údajov podľa správnosti a ukladania viacerých záznamov za účelom vyhodnotenia chyby.

Nech návratovou hodnotou funkcie `estimate_current_position` je aktuálna poloha, získaná pomocou pozičného algoritmu. Nech `raw_history` predstavuje pole všetkých predchádzajúcich pozícií a `fine_history` pole filtrovaných pozícií podľa algoritmu klasifikácie. Nech `speed(p1, p2)` je funkcia, ktorá vracia rýchlosť pohybu používateľa z bodu `p1` do bodu `p2` na základe zaznamenaného času, kedy sa používateľ v týchto bodoch nachádzal. Nech `v_max` predstavuje maximálnu povolenú rýchlosť pohybu a `ignored_deflection` počet výrazných odchýlok, ktoré sú ignorované pred uznaním polohy za pravdivú hodnotu. Potom algoritmus klasifikácie filtruje výsledky pomocou nasledujúceho pseudokódu:

```
p := estimate_current_position;  
if (size of fine_history == 0)
```

```

    add p to fine_history;
else
    f := size of fine_history - 1;
    v := speed(fine_history[f], p);
    if (v <= v_max) add p to fine_history
    else
        r := size of raw_history - 1;
        if (ignored_deflection <= r)
            v := speed(raw_history[r], p);
            if (v <= v_max)
                for (i := r; i>=(r-ignored_deflection+2); i--)
                    v := speed(raw_history[i-1], raw_history[i]);
                    if (v > v_max)
                        add p to raw_history;
                        return;
                    end
                end
            end
            clear fine_history;
            add p to fine_history;
        end end end end
    add p to raw_history

```

Pre pochopenie fungovania algoritmu uvedieme príklad. Na začiatku určovania polohy platí, že `fine_history = 0`. Prvý výsledok pozičného algoritmu teda nie je možné porovnať so žiadnou položkou histórie. Polohu uznáme za správnu a vložíme ju do `fine_history`. Po každom vykonaní algoritmu, bez ohľadu na výsledok výpočtu, je poloha vložená aj do `raw_history`.

Pri ďalšom určení polohy pozičným algoritmom obsahujú obe polia jeden prvok. Je potrebné vypočítať rýchlosť, ktorou používateľ prešiel z predchádzajúcej polohy do aktuálnej polohy, teda z bodu `fine_history[f]` do bodu `p`. Záznamy polohy sú z tohto dôvodu ukladané spolu s časom, kedy sa na danom mieste používateľ nachádzal. Rýchlosť je potom možné vypočítať ako zlomok vzdialenosti medzi týmito bodmi a rozdielu času. Ak $v \leq v_{\max}$, znamená to, že bod `p` sa nachádza v akceptovateľnej

vzdialenosti od `fine_history[f]`. Aktuálnu polohu teda považujeme za správnu, vložíme ju do `fine_history`.

Obidve polia teraz obsahujú po 2 prvky. Nech sa tentokrát na vstupe nachádza poloha, ktorej súradnice sú výrazne vzdialené od súradníc poslednej polohy v poli `fine_history`, teda $v > v_{\max}$. Tieto dva body sa teda pri dodržaní maximálnej rýchlosti nachádzajú v neakceptovateľnej vzdialenosti. Tento stav je možné dosiahnuť v dvoch prípadoch:

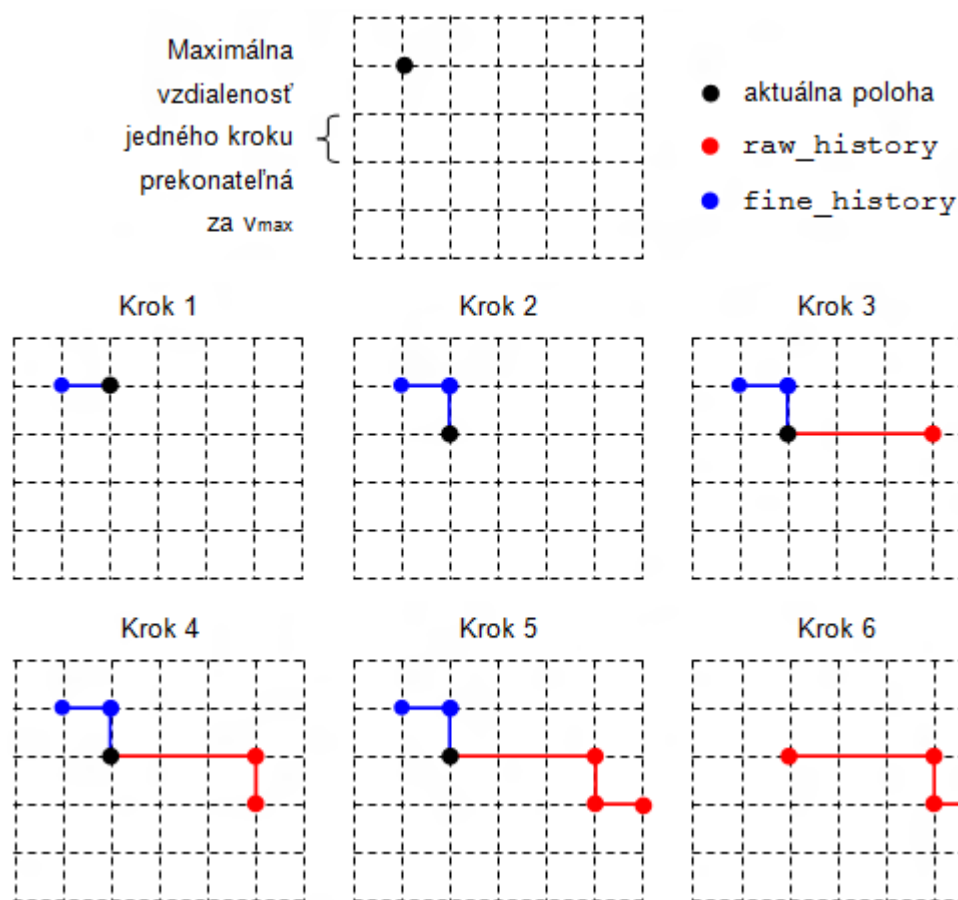
- a) Ide o odchýlku spôsobenú chybným výpočtom, resp. meraním v dôsledku negatívnych vlastností šírenia signálu Wi-Fi. Odchýlka môže byť spôsobená aj prítomnosťou osôb, otvorením a zatvorením dverí a podobne. Výsledok teda predstavuje nežiadúcu hodnotu.
- b) Reálna poloha osoby sa výrazne zmenila, buď v dôsledku presiahnutia maximálnej rýchlosti, alebo je príčinou vynechanie merania, napríklad pri dočasnom výpadku elektrického prúdu v budove. Výsledok teda predstavuje požadovanú hodnotu.

Reakciou podľa algoritmu klasifikácie je porovnanie bodu `p` s posledným prvkom poľa `raw_history`. Nakoľko `raw_history[r] = fine_history[f]`, aj v tomto prípade bude $v > v_{\max}$. Poloha `p` bude preto vložená iba do poľa `raw_history` a algoritmus pokračuje načítaním ďalšieho vstupu.

Pole `raw_history` teraz obsahuje 3 prvky a pole `fine_history` 2 prvky. V nasledujúcom kroku máme na vstupe polohu, ktorá je výrazne vzdialená od `fine_history[f]`, nachádza sa však v dosahu `raw_history[r]`. Úlohou algoritmu je teraz na základe nastavenia parametra `ignored_deflection` vzájomne porovnať jednotlivé body `raw_history`. Ak `ignored_deflection` nadobúda hodnotu 3, je potrebné skontrolovať rýchlosť medzi 3 dvojicami bodov. Prvou dvojicou je aktuálny bod a `raw_history[r]`, pre ktoré platí, že $v \leq v_{\max}$. Ďalej sa kontrolujú už iba body nachádzajúce sa v `raw_history`. Z predchádzajúcich krokov je zrejmé, že poloha `raw_history[r]` je výrazne vzdialená od `raw_history[r-1]`. Poloha `p` sa teda uloží iba do poľa `raw_history`.

Nech sa v ďalších dvoch krokoch situácia opakuje, teda na vstupe sa bude nachádzať poloha, ktorá je výrazne vzdialená od `fine_history[f]`, no zároveň sa nachádza v blízkosti `raw_history[r]`. V prvom kroku budú kladne vyhodnotené prvé

2 dvojice bodov. V nasledujúcom kroku však bude rýchlosť v nadobúdať hodnotu menšiu ako $v_{\max}$ pre 3 porovnávané dvojice. Znamená to, že nejde o odchýlku a skutočná poloha sa výrazne zmenila. Je teda potrebné začať zaznamenávať správnu polohu odznova – z poľa `fine_history` sa odstránia všetky prvky a následne sa doň vloží aktuálna poloha p . Pred každým vložením záznamu o aktuálnej polohe do poľa `fine_history` nastáva propagácia údajov ďalšiemu algoritmu. Predikciu je však možné vynechať, v takom prípade je kurzor okamžite vykreslený na novej polohe. Na Obr. 12 sa nachádza znázornenie opísaných krokov bez použitia predikcie.



Obr. 12 Príklad korekcie polohy algoritmom klasifikácie výsledkov

3.3.4 Predikcia nasledujúcej polohy

Ďalším krokom výpočtu je predikcia nasledujúcej polohy. Na rozdiel od riešenia opísaného v [55], ktoré používa predikciu ako “záložný plán” v prípade odchýlky, my budeme nasledujúcu polohu určovať iba vtedy, ak sa jedná o správne fungovanie algoritmu. Opodstatnenie tejto funkcionality vyplýva z praktického používania RTLS, kedy používateľ počas chôdze potrebuje vedieť, kde sa nachádza v danom okamihu, nie kde sa nachádzal pred pár sekundami. Časové oneskorenie môže byť spôsobené dobou

potrebnou na spracovanie aktuálneho odtlačku a dobou na výpočet podľa zvoleného algoritmu, alebo výpočtom priemerných hodnôt RSS (pozri 5.1.2). Predpoklad budeme vykonávať na základe filtrovanej histórie z predchádzajúceho kroku. Podstatným krokom metódy korekcie výsledkov pozičného algoritmu je algoritmus klasifikácie výsledkov, predikcia polohy je iba experimentálnym rozšírením.

Nech `fine_history` je pole filtrovaných vstupov pozičného algoritmu, ktoré považujeme za správne. Medzi ľubovoľnou dvojicou bodov v tomto poli je vzdialenosť prekonateľná za $\leq v_max$. Znamená to, že postupnosť bodov `fine_history[0]`, `fine_history[1]`, ..., `fine_history[r]` je „správna postupnosť“ bodov vo fyzickom priestore, pretože pri meraní medzi prvým a posledným bodom nedošlo k odchýlke, resp. bola odchýlka odchytená algoritmom klasifikácie. V každom prípade túto postupnosť považujeme za správnu a veľkosť poľa `fine_history` vyjadruje počet správnych meraní.

Nech F je počet prvkov a F_{max} maximálny počet prvkov poľa `fine_history`. Nech t_p je časový úsek predikcie polohy a nech v_a je aktuálna rýchlosť, teda rýchlosť získaná z rozdielu času a vzdialenosti `fine_history[r]` a `fine_history[r-1]`. Potom odhad vzdialenosti nasledujúcej polohy v čase $t+t_p$ budeme počítať podľa (20):

$$d = v_a \times t_p \times \frac{F}{F_{max}} \quad (20)$$

Čím je výpočet aktuálnej polohy pozičným algoritmom správnejší, tým väčšiu predpoveď nasledujúcej polohy je možné uskutočniť. Na určenie súradníc bodu $p+1$ potrebujeme ešte poznať aktuálne smerovanie používateľa. Tento údaj získame pomocou kompasu mobilného zariadenia. Výsledné geografické súradnice vypočítame s ohľadom na zakrivenie zeme podľa nasledujúcich vzťahov [60]:

$$x_2 = a \sin \left(\sin(x_1) \times \cos\left(\frac{d}{R}\right) + \cos(x_1) \times \sin\left(\frac{d}{R}\right) \times \cos(b) \right) \quad (21)$$

$$y_2 = y_1 + a \tan 2 \left(\cos\left(\frac{d}{R}\right) - \sin(x_1) \times \sin(x_2), \sin(b) \times \sin\left(\frac{d}{R}\right) \times \cos(x_1) \right) \quad (22)$$

Kde x_1 zemepisná šírka a y_1 je zemepisná dĺžka aktuálneho bodu p , x_2 zemepisná šírka a y_2 je zemepisná dĺžka predpovedaného bodu $p+1$, d je predpokladaná vzdialenosť v km, R je konštanta vyjadrujúca zakrivenie Zeme v km a b je smerovanie používateľa v radiánoch. Vypočítanú hodnotu považujeme za správnu a bod p nahradíme bodom $p+1$, ktorý je následne vložený do poľa `fine_history` a vykreslený na novej polohe.

4 Implementácia aplikácie pre overenie metódy

V predchádzajúcej kapitole sme na základe stanovených požiadaviek navrhli metódu na určenie polohy používateľa v interiéri, ktorá klasifikáciou a predikciou zlepšuje výsledky pozičného algoritmu. Požiadavky stanovené v 3.1 sa týkajú nielen výberu algoritmu a návrhu metódy, ale aj implementácie softvéru overujúceho jej fungovanie. Pri vývoji sa okrem nevyhnutnej funkcionality zameriame na možnosti použitia na výskumné účely. Výsledkom bude teda aplikácia Blind Spot určená na vyhodnocovanie presnosti pozičnej metódy s grafickým výstupom a možnosťou exportu údajov pre ďalšiu analýzu.

4.1 Použité technológie

Pôvodný prototyp aplikácie pre konceptuálne overenie možnosti určovania polohy na základe signálu Wi-Fi, spomenutý v predhovore tejto práce, bol vyvíjaný pre platformu .NET a fungoval pod operačným systémom Microsoft Windows. Napriek tomu, že tento prototyp potvrdil fungovanie konceptu, používanie prenosného počítača sa ukázalo byť nevhodné pre ďalší výskum. Z uvedeného dôvodu bola pre účely tejto práce zvolená platforma Google Android, určená pre inteligentné mobilné zariadenia. Výhodou takéhoto zariadenia je okrem mobility predovšetkým integrácia senzorických modulov umožňujúcich ďalšie rozšírenia metódy.

4.1.1 Vývojová platforma

Google Android je v súčasnosti najrozšírenejšou mobilnou platformou, ktorú využíva viac ako 200 miliónov zariadení, pričom podľa vyjadrení spoločnosti je každý deň aktivovaných viac ako 550 000 ďalších kusov [61]. Rozšírenosť je dôležitá predovšetkým z dôvodu dostupnosti zariadení pri ďalšom výskume. Vývoj aplikácie realizujeme pre verziu 2.3.3, umožňujúcu používanie aplikačného programovacieho rozhrania na úrovni 10. Táto úroveň je momentálne prístupná na 63,2% všetkých zariadení [62].

Najväčšou výhodou oproti iným mobilným platformám je otvorenosť. Android poskytuje úplný prístup k súborovému systému zariadenia, sieťovej karte, senzorickým modulom a podporuje spustenie aplikácií na pozadí, okrem iného aj vo forme služieb. Pre vyvíjanú aplikáciu je dôležitá hlavne podpora Google Maps API [63] na prácu s mapami. Programovacím jazykom je jazyk Java, vďaka čomu je možné využívať

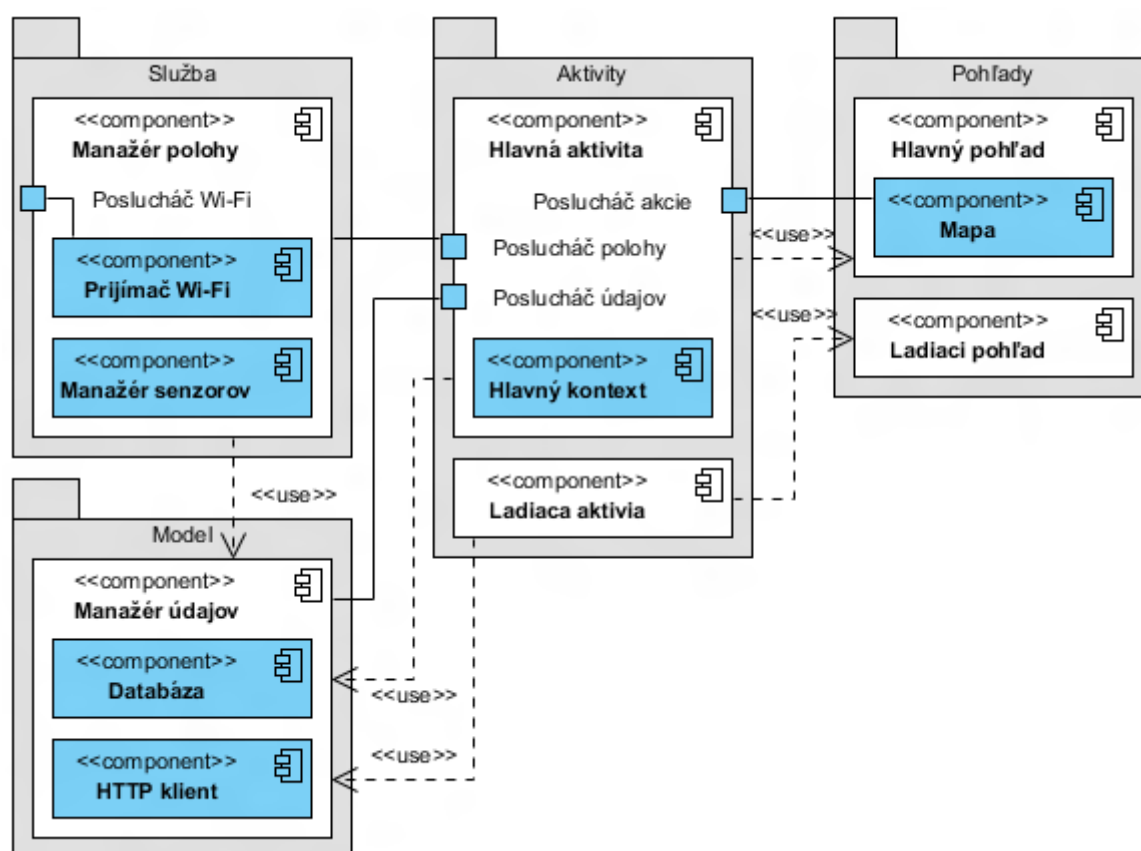
množstvo existujúcich knižníc. Vývoj bude realizovaný v IDE Eclipse so zásuvným modulom ADT (z angl. Android Developer Tools).

4.1.2 Mobilné zariadenie

Ideálnym mobilným zariadením pre lokalizačný softvér vo všeobecnosti je inteligentný mobilný telefón. Vhodným modelom pre výskum je kvôli displeju s uhlopriečkou 109 mm Desire HD od spoločnosti HTC [64], ktorý podporuje Android do verzie 2.3.5. Zariadenie disponuje batériou s kapacitou 1230 mAh a odhadovanou výdržou počas trvania telefonického hovoru 550 minút. Ďalej obsahuje GPS anténu, gyroskop, digitálny kompas, proximity senzor, snímač okolitého svetla, Bluetooth 2.1 a sieťovú kartu Wi-Fi podporujúcu štandardy IEEE 802.11 b/g/n. Kapacitný displej s podporou multitouchových gest umožňuje ľahkú prácu s mapami.

4.2 Architektúra aplikácie

Počas návrhu architektúry boli zohľadňované možné rozšírenia pri ďalšom výskume. Použitá architektúra MVC (z angl. Model View Controller) tvorí základnú štruktúru aplikácie a oddeľuje jednotlivé logické komponenty (Obr. 13).



Obr. 13 Diagram komponentov aplikácie Blind Spot

Trieda zodpovedná za určovanie polohy je implementovaná ako viazaná služba. Ide o spôsob, pri ktorom je vykonávanie služby viazané na definovanú triedu. V prípade potreby by bolo možné za minimálneho úsilia zmeniť službu na štandardný typ, tak aby bola vykonávaná na pozadí permanentne a mohla byť používaná inými aplikáciami.

4.2.1 Model

Aplikácia obsahuje lokálnu databázu založenú na princípe perzistovaných objektov, využívajúc voľne dostupnú knižnicu Perst od spoločnosti McObject [65]. Pre výskumné účely nie je potrebné budovať komplikovanú relačnú schému, keďže pracujeme s malým množstvom údajov a všetky objekty môžu byť pri prvom prístupe nahraté do pamäte. Vyhľadávanie objektov je uskutočňované na základe referencií, nakoľko vo všetkých prípadoch je zároveň potrebné prehľadať celé pole prvkov.

Manažér údajov je triedou zodpovednou za prístup k údajom. Pri spustení načíta zo súboru uloženého v pieskovisku aplikácie údaje do databázového objektu. Databázový objekt je štruktúra obsahujúca nastavenia aplikácie a pozičné údaje. Pri zmene databázy manažér upovedomí hlavnú aktivitu, ktorá vykoná potrebné kroky pre aktualizáciu pohľadov. Pred ukončením vykonávania aplikácie prepíše manažér údajov databázový súbor aktuálnymi údajmi. Z dôvodu jednoduchého referencovania je databázový manažér implementovaný podľa návrhového vzoru „singleton“.

Dôležitou funkcionalitou z pohľadu analýzy je možnosť importu a exportu údajov. Vhodným formátom na prenos je formát JSON (z angl. JavaScript Object Notation) [66]. Na konverziu objektov jazyka Java do formátu JSON a naopak bola použitá knižnica Google GSON [67], umožňujúca automatický preklad vychádzajúci z pomenovania tried. Manažér údajov funguje aj ako klient HTTP správ (import) a zabezpečuje odosielanie údajov pomocou e-mailového klienta mobilného zariadenia (export). Okrem pozičných údajov je možné odosielať aj záznamy z výstupnej konzoly aplikácie. Nasledujúci príklad vo formáte JSON obsahuje RP s odtlačkom dvoch AP:

```
{"name": "Room 237", "lat": 48.720642, "lon": 21.258121,  
  "fingerprint": [{"bssid": "00:26:cb:2e:14:f3", "signal": -91},  
                  {"bssid": "00:26:cb:2e:14:f3", "signal": -86}]}
```

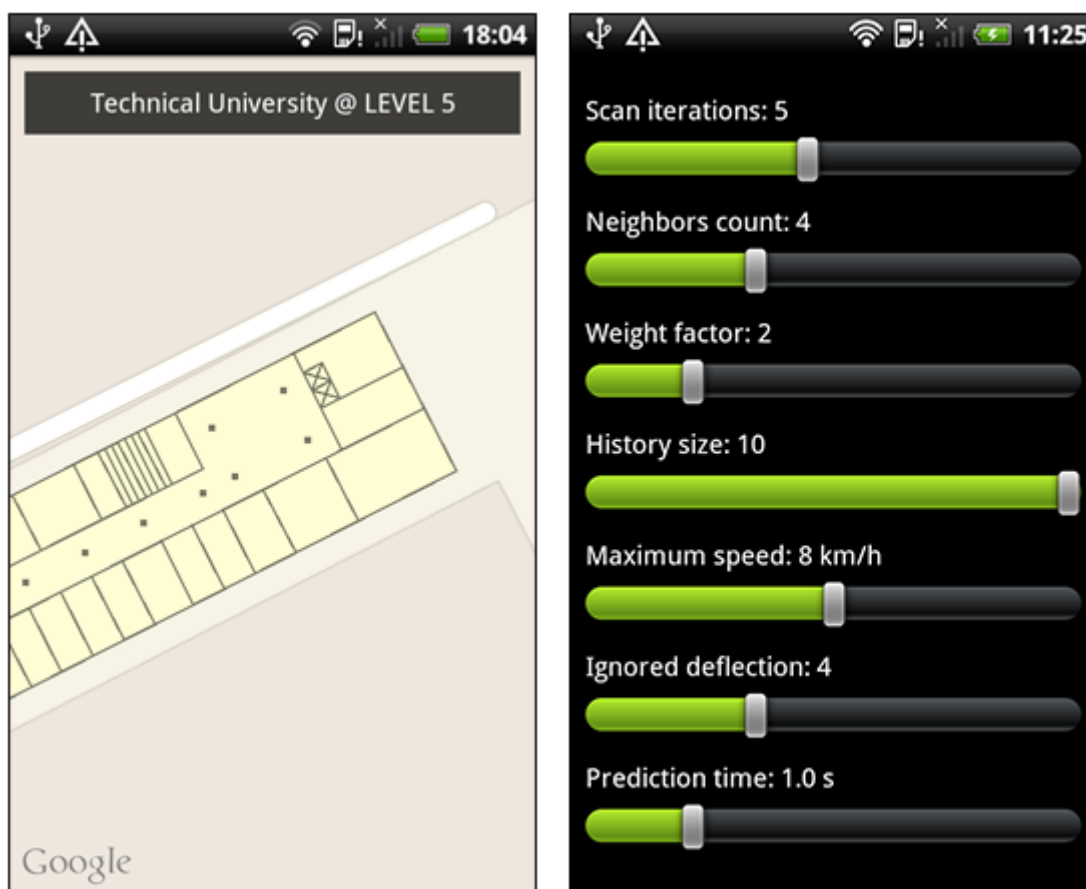
Databáza obsahuje nielen referenčné body, ale aj údaje pre zobrazenie interiéru budov, ktorých štruktúra korešponduje s realitou. Na budovu sa vzťahuje názov a súradnice pre približnú lokalizáciu, pričom obsahuje jedno alebo viac poschodí. Každé poschodie má priradený číselný identifikátor pre určenie vertikálnej úrovne a obsahuje

pôdorys (súradnice vonkajších a vnútorných stien) a referenčné body. Referenčné body sú špecifikované názvom, súradnicami a obsahujú odtlačok – pole RSSI. Štruktúra databázových objektov je bližšie špecifikovaná v systémovej príručke (časť 8.3.4).

4.2.2 Pohľady

V aplikácii sa nachádzajú dva základné pohľady. Ladiaci pohľad slúži na zobrazenie a nastavenie parametrov pozičnej metódy. Obsahuje posuvné komponenty, ktorých rozsah je obmedzený v rozumnej miere podľa potrieb algoritmov.

Podstatným pohľadom je hlavný pohľad (Obr. 13), ktorý obsahuje komponent pre interakciu s mapou od spoločnosti Google. Jeho účelom je sprostredkovanie výstupných údajov pre analýzu. Okrem mapy sa tu nachádza stavový riadok pre zobrazenie informácie o aktuálnom procese alebo polohe. Dvojitým stlačením ľubovoľného miesta na mape je možné zobrazit' výstupnú konzolu. Tento komponent bol implementovaný z dôvodu empirického skúmania navrhutej metódy v teréne. Umožňuje sledovať polohu používateľa na mape a textové informácie v rovnakom čase. Na Obr. 14 sa nachádzajú vyššie uvedené pohľady, práca s nimi je bližšie vysvetlená v prílohe B.



Obr. 14 Základné pohľady aplikácie: hlavný a ladiaci

Pozičné údaje sú používateľovi sprostredkované pomocou vrstiev v mape. Každá vrstva je reprezentovaná nezávislým grafickým plátnom. Celkovo obsahuje mapa okrem implicitných vrstiev komponentu 6 grafických vrstiev a jednu vrstvu rozoznávajúcu gestá. Vrstvy je možné samostatne ukrývať alebo zobrazovať. Jednotlivé vrstvy sú vždy zobrazované vo fixnom poradí a majú nasledujúci význam:

- 1) *Footprint Overlay* – vonkajší pôdorys budovy.
- 2) *Rooms Overlay* – vnútorný pôdorys budovy.
- 3) *Places Overlay* – uložené referenčné body.
- 4) *History Overlay* – história aktuálnej polohy.
- 5) *Pointer Overlay* – aktuálna poloha a smer.
- 6) *Target Overlay* – ukazovateľ v pasívnom režime.
- 7) *Gesture Overlay* – rozoznávanie gest používateľa.

4.2.3 Aktivita

Aktivita je základnou funkčnou jednotkou aplikácie na platforme Google Android. Každéj aktivite je priradený pohľad a jej vykonávanie je kontrolované pomocou životného cyklu. V našej aplikácii teda rozoznávame hlavnú aktivitu, ktorá sa stará o zobrazovanie a interakciu s hlavným pohľadom, a ladiacu aktivitu, zodpovednú za správu ladiaceho pohľadu.

Hlavná aktivita zabezpečuje ovládanie aplikácie implementovaním ovládacieho panelu a interakciu s používateľom zobrazovaním dialógových pohľadov. Na základe aktuálneho režimu rozhoduje o vykonávaní úloh a zabráňuje interakcii v nežiadúcich situáciách. Po spustení aplikácie inicializuje táto aktivita všetky potrebné komponenty, predovšetkým manažéra údajov, manažéra polohy a mapu, u ktorých sa zaregistruje ako poslucháč relevantných udalostí (Obr. 13). Konkrétne ide o nasledovné prípady:

- *Poslucháč údajov* – po zmene údajov v databáze upovedomí údajový manažér hlavnú triedu, ktorá v závislosti na uskutočnenej zmene prekreslí vrstvy mapy.
- *Poslucháč polohy* – po zmene polohy používateľa odošle manažér polohy hlavnej triede údaje o aktuálnej polohe, prípadne budove, poschodí a smere.
- *Poslucháč akcie* – po identifikácii dotykového gesta upovedomí mapa hlavnú triedu, ktorá zareaguje zobrazením príslušnej kontextovej ponuky.

Úlohou ladiacej aktivity je po zobrazení ladiaceho pohľadu inicializovať hodnoty posuvných komponentov aktuálnymi hodnotami volaním prístupovej metódy inštancie údajového manažéra. Po zmene parametrov aktivita uloží zadané hodnoty do databázovej štruktúry. Počas určovania polohy sú vždy načítavané aktuálne hodnoty, parametre pozičnej metódy je teda možné meniť aj v priebehu vykonávania.

4.2.4 Služba

Manažér polohy je službou viazanou [68] na hlavnú aktivitu aplikácie. Znamená to, že pri spustení aplikácie hlavná trieda vytvorí službu a pri ukončení aplikácie sa postará o jej vypnutie. Samotná aplikácia však umožňuje aj vykonávanie na pozadí. Úlohou manažéra polohy je uchovávať informáciu o aktuálnom režime a aktuálnej polohe, históriu záznamov o predchádzajúcich polohách a uskutočňovať výpočet polohy na základe údajov o okolitých sieťach a údajov zo senzorických modulov zariadenia.

Na získanie aktuálneho odtlačku RSS používa manažér polohy triedu rozširujúcu Broadcast Receiver [69], u ktorej sa pri inicializácii zaregistruje ako poslucháč. V závislosti od konkrétnej požiadavky táto trieda získa informácie o aktuálnych sieťach a vypočíta priemerné hodnoty daného odtlačku. Po odovzdaní odtlačku manažérovi polohy ho ten použije buď na výpočet aktuálnej polohy, vytvorenie nového referenčného bodu, alebo prepísanie údajov existujúceho referenčného bodu.

Aplikácia využíva informáciu o aktuálnom smere používateľa v dvoch prípadoch: na okamžité prezentovanie orientácie kurzorom zobrazeným na mape a na výpočet predpokladanej polohy pri správnom fungovaní algoritmu (kapitola 3.3.4). Manažér polohy získava túto informáciu z kompasu mobilného zariadenia a v prvom prípade ju odovzdáva na zobrazenie hlavnej aktivite s frekvenciou 100 ms.

Počas vývoja aplikácie bol uskutočnený praktický experiment overujúci možnosť použitia gyroskopu na určenie aktuálnej rýchlosti metódou merania krokov. Experiment bol vykonaný pomocou voľne dostupnej aplikácie Pedometer [70]. Pokusom bolo zistené, že krokomer dokáže určiť rýchlosť s prijateľnou chybou len v prípade rovnomerného pohybu, napríklad pri behu, alebo pri dlhej chôdzi. Táto metóda je teda pre naše účely nevhodná.

4.3 Spôsoby použitia

Implementovaná aplikácia slúži na vyhodnocovanie presnosti pozičnej metódy a je praktickou pomôckou pre výskum navigácie v interiéri. Podporuje import vlastnej mapy

budov a pridávanie referenčných miest, vďaka čomu umožňuje získať údaje na analýzu z rôznych prostredí. Detailný opis používania aplikácie sa nachádza v prílohe B. Obsahom tejto časti je vysvetlenie toho, akým spôsobom sú realizované jednotlivé kroky pozičnej metódy. Aby boli splnené požiadavky rôznych prípadov použitia, funguje aplikácia v troch režimoch.

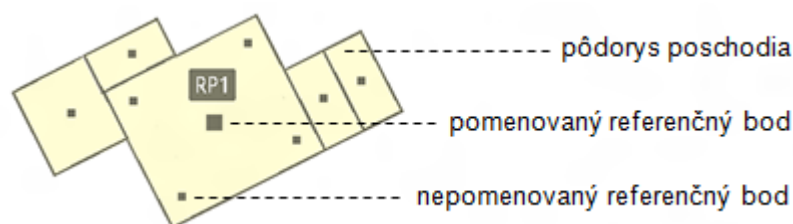
4.3.1 Pasívny režim

Po spustení sa aplikácia nachádza v pasívnom režime. Tento režim je primárne určený na vytváranie rádiovkej mapy, teda implementuje tréningovú fázu - snímanie odtlačkov. Predpokladom je existencia mapy reálneho pôdorysu budovy, zadaná v geografických súradniciach. Prvým krokom v prípade prázdnej lokálnej databázy je teda import údajov vo formáte JSON.

Aplikácia v pasívnom režime umožňuje prezeranie dostupných budov a poschodí. V kapitole 3.3.1 sme uviedli, že okrem súradníc budeme každému referenčnému bodu priradovať aj identifikátor budovy a poschodia. Z tohto dôvodu je okrem vykresleného pôdorysu poschodia zobrazená pri zbere odtlačkov aj informácia o aktuálnej budove a poschodí v stavovom riadku.

Súradnice referenčného bodu definuje používateľ zmenou polohy pasívneho kurzora. Poloha kurzora sa teda v pasívnom režime nastavuje výhradne manuálne. Pred zosnímaním aktuálneho odtlačku sietí je možné určiť počet iterácií snímania. Každé snímanie odtlačku je uskutočňované s časovým odstupom 2 sekundy od ukončenia predchádzajúceho snímania. Výsledný odtlačok je určený podľa vzťahu (19) ako priemer hodnôt vykonaných meraní.

Po získaní aktuálneho odtlačku má aplikácia k dispozícii všetky údaje potrebné na vytvorenie referenčného bodu podľa 3.3.1. Nepovinným údajom, ktorý je možné zadať pred začatím snímania, je názov referenčného bodu. Tento názov je iba opisný a slúži na lepšiu orientáciu používateľa v prostredí s veľkým počtom RP. Po vytvorení sa referenčný bod okamžite zobrazí na mape. Na obrázku Obr. 15 sa nachádza grafická reprezentácia poschodia a referenčných bodov.



Obr. 15 Grafická reprezentácia poschodia a referenčných bodov

Pasívny režim dovoľuje okrem zmeny budovy a poschodia aj interakciu s existujúcimi referenčnými bodmi. Je možné vykonať výpis odtlačku bodu do výstupnej konzoly, zosnímať odtlačok pre vybraný bod a tým prepísať existujúce údaje, alebo ľubovoľný bod z databázy odstrániť. Prepísanie údajov existujúceho RP je prakticky využiteľné pri importe databázy s pripravenými referenčnými bodmi, ktoré obsahujú iba geografické súradnice.

4.3.2 Aktívny režim

Po uvedení aplikácie do aktívneho režimu sa začína výpočet aktuálnej polohy, využívajúci pozičný algoritmus (kapitola 3.3.2) na určenie približnej polohy, algoritmus klasifikácie výsledkov (kapitola 3.3.3) na spresnenie výpočtu a predikciu nasledujúcej polohy (kapitola 3.3.3) na zabezpečenie odozvy v reálnom čase.

Prvým krokom výpočtu je získanie aktuálneho odtlačku RSS. Keďže ide o deterministický výpočet a v databáze sa nachádzajú priemerné hodnoty, je potrebné tento fakt zohľadniť aj pri vytváraní aktuálneho odtlačku. Nastavenie počtu iterácií snímania odtlačku sa teda vzťahuje aj na aktívny režim.

Praktické používanie aplikácie si vyžaduje rozšírenie algoritmu určovania polohy o kontrolu aktuálnej budovy a poschodia. Po získaní odtlačku nasleduje overenie výberu budovy. V prípade, ak nie je aktuálne zvolená žiadna budova, algoritmus prehľadá celú databázu s cieľom nájdania budovy s najväčším výskytom sietí aktuálneho odtlačku. Ak sa v databáze nenachádza žiadny referenčný bod s identifikátorom (BSSID, z angl. Basic Service Set Identifier), ktorý je rovný BSSID niektorej aktuálne dostupnej siete, aktívny režim je ukončený a aplikácia automaticky prechádza do pasívneho režimu.

V opačnom prípade je budova určená ako aktuálna a algoritmus pokračuje ďalším krokom, ktorým je výpočet približnej polohy použitím pozičného algoritmu. Aplikácia za týmto účelom využíva algoritmus WkNN. Manažér polohy je implementovaný tak, že v prípade potreby je zmenou jednej metódy možné tento algoritmus nahradiť iným na to určeným výpočtom (kapitola 3.2). Aplikácia umožňuje nastavenie dvoch parametrov WkNN: počet susedov, ktorí sú pri výpočte polohy zohľadňovaní a váhu faktora pomocou určenia mocniny D_i a D_j zo vzťahu (14).

Výstupom predchádzajúceho kroku je informácia o aktuálnej budove, poschodí a polohe. Údaj o aktuálnej budove pokladáme na základe vyššie uvedeného spôsobu kontroly za správny. Je však potrebné overiť, či sa používateľ nachádza na určenom

mieste. Aplikácia na to využíva metódu klasifikácie vysvetlenú v kapitole 3.3.3. Jediným rozdielom je, že pred overením polohy dochádza k overeniu poschodia rovnakým spôsobom. V prípade zmeny poschodia nastáva vymazanie oboch množín záznamov histórie. Rozšírenie algoritmu z 3.3.3 vyjadruje nasledujúci pseudokód.

```

...
if (floor of p != current_floor)
    r := size of raw_history - 1;
    if (ignored_deflection <= r)
        for (i := r; i >= (r-ignored_deflection+1); i--)
            if (floor of raw_history[i] != current_floor)
                add p to raw_history; return;
        end
    end
    clear raw_history;
    clear fine_history;
    add p to raw_history;
    add p to fine_history;
end
else
    ...

```

V prípade, ak sa v poli správnych záznamov nachádza určitý počet položiek, má zmysel predpovedať nasledujúcu polohu, predovšetkým pri pohybe používateľa. Pred zobrazením aktuálnej polohy na mape je teda potrebné ešte vyhodnotiť predpovedanú vzdialenosť a smer pohybu. Vzdialenosť je získaná z histórie pozičných záznamov a aktuálny smer je určený pomocou kompasu zariadenia. Po vyhodnotení polohy je prekreslením aktívneho ukazovateľa informácia sprostredkovaná používateľovi.

Aplikácia umožňuje ovplyvniť výsledky výpočtu aktuálnej polohy špecifikovaním parametrov. V kapitole 5 analyzujeme ideálne nastavenie týchto parametrov v rôznych prostrediach. Tab. 4 obsahuje zoznam parametrov s rozsahom a vysvetlením.

Tab. 4 Parametre aplikácie na ovplyvnenie výpočtu

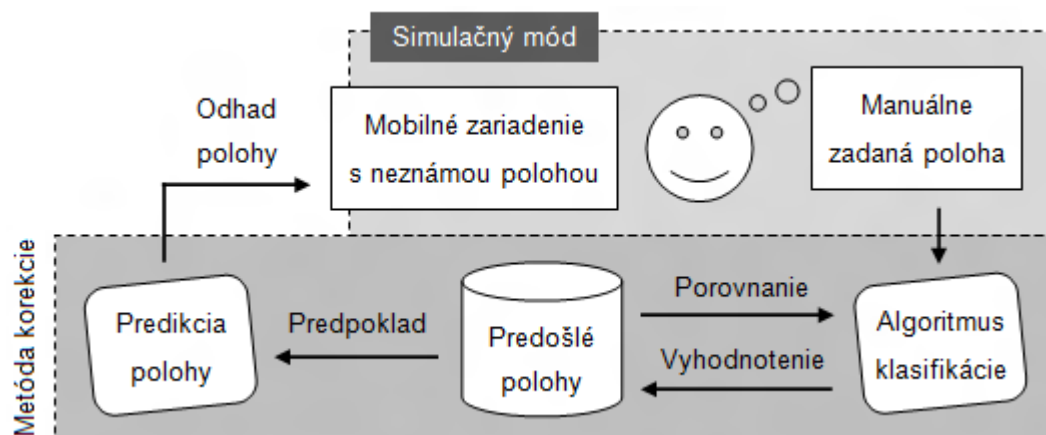
Parameter	Rozsah	Význam
Počet iterácií	1 - 10	Počet snímaní signálu, z ktorých je vypočítaná

		priemerná hodnota RSS jednotlivých AP.
Počet susedov	1 - 10	Počet referenčných bodov, na základe ktorých sú určené súradnice aktuálnej polohy.
Váhový faktor	0 - 10	Číslo mocnín zo vzťahu (14) na ovplyvnenie váhy vzdialenosti RP v signálovom priestore.
Veľkosť histórie	0 - 10	Počet zapamätaných záznamov, pričom veľkosť správnej histórie $\leq$ veľkosť úplnej histórie.
Max. rýchlosť (km/h)	1 – 15	Maximálna rýchlosť chôdze, pri ktorej by za ideálnych podmienok nedochádzalo ku korekcii.
Ignorovaná odchýlka	1 – 10	Počet ignorovaných určení vzdialenej polohy pred uznaním tejto polohy za správnu hodnotu.
Čas predikcie (s)	0 – 5	Počet sekúnd, ktoré určujú čas pre odhad nasledujúcej polohy v algoritme predikcie.

Počas fungovania v aktívnom režime je pre analýzu presnosti potrebné extrahovať chybu určovania polohy. Implementovaný mechanizmus funguje tak, že pri stlačení referenčného bodu zapíše do konzoly časový údaj a vzdialenosť medzi aktuálnou polohou kurzora a daným referenčným bodom. Týmto spôsobom je možné zozbierať údaje s uspokojujúcou presnosťou merania bez použitia externých pozičných zariadení.

4.3.3 Simulačný režim

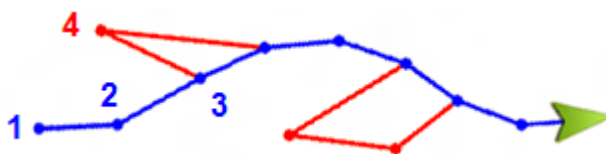
Simulácia pozičného algoritmu slúži na overenie fungovania algoritmu klasifikácie výsledkov a predikcie polohy bez nutnosti testovania v teréne. V tomto režime je výstup pozičného algoritmu nahradený manuálnym určením polohy používateľa podľa Obr. 16.



Obr. 16 Postupnosť výpočtu polohy v simulačnom režime

Určenie polohy je realizované stlačením ľubovoľného miesta na mape, ktoré predstavuje interiér budovy. Následne je vykonaná klasifikácia výsledkov a predikcia nasledujúcej polohy na základe zadaného vstupu, rovnakým spôsobom, ako v aktívnom režime. Výpočet sa uskutočňuje so zohľadnením reálneho času a orientácie mobilného zariadenia. Simulačný režim používa rovnaký kurzor ako aktívny režim, ktorý zobrazuje aj smerovanie používateľa.

Pre lepšie pochopenie a analýzu implementovanej metódy je možné priamo v mape zobraziť históriu záznamov. Zobrazenie je nastaviteľné nielen pri simulácii, ale aj v aktívnom režime. História všetkých záznamov je vykreslená červenou a história filtrovaných záznamov modrou farbou, pričom modrá krivka prekrýva červenú. Červená krivka teda zobrazuje výsledky bez aplikovania metódy korekcie. Týmto spôsobom je možné zhodnotiť prínos riešenia pohľadom - porovnaním kriviek.



Obr. 17 Filtrovanie odchýlky pomocou metódy klasifikácie

Na Obr. 17 sa nachádza prípad odchytenia nesprávneho určenia polohy. Prvé tri polohy boli určené správne, štvrtá poloha bola určená príliš skoro - z bodu 3 by nebolo možné dostať sa do bodu 4 pri dodržaní maximálnej zadanej rýchlosti. Táto poloha bola teda klasifikovaná ako nesprávna.

4.3.4 Zmena režimu

Prechod medzi režimami si vyžiadaval zavedenie pravidiel pre manipuláciu s údajmi týkajúcimi sa aktuálnej polohy. Na začiatku sa aplikácia nachádza v pasívnom režime a manažér polohy neviduje žiadnu aktuálnu budovu, poschodie, polohu ani smer. Manuálnym výberom budovy, poschodia a polohy je možné tieto údaje zmeniť. Po prechode do aktívneho režimu ich manažér polohy pokladá za aktuálne. Aktívny kurzor sa teda najskôr zobrazí na mieste, kde sa nachádzal pasívny kurzor, čo ovplyvňuje aj samotný výpočet. Rovnakým spôsobom funguje aj prechod z pasívneho režimu do simulácie a prechod zo simulácie do aktívneho režimu. Pri prechode medzi aktívnym režimom a simuláciou v oboch smeroch ostáva história záznamov zapamätaná. Pri prechode do pasívneho režimu sú všetky údaje o aktuálnej polohe odpamätané.

4.4 Možnosti rozšírenia

V súčasnom stave aplikácia slúži na výskumné účely a je nevhodná na použitie v praxi. Dôvodom je predovšetkým absencia centralizovaného modelu distribúcie databázy referenčných bodov a nutnosť nastavenia parametrov metód. Konceptuálny model aplikácie je ale neskôr možné použiť ako predlohu pri implementácii účelového navigačného systému. V tejto časti sú špecifikované konkrétne možnosti rozšírenia.

- Architektúra klient-server by bola využiteľná nielen pri uvedení aplikácie do praxe, ale aj pre testovacie účely na distribúciu údajov medzi jednotlivými členmi výskumného tímu. Zároveň by to umožnilo vytváranie komplexnej bázy analytických záznamov pre ďalší výskum.
- Spracovanie informácie o aktuálnej polohe by bolo možné vykonávať aj vo vzťahu k iným dostupným informáciám. Zaujímavým pokusom by bolo automatické mapovanie referenčných bodov za pomoci študentov, kedy by sa údaje snímali automaticky podľa časového rozvrhu.
- Aplikácia dovoľuje referenčným bodom priradovať názvy miestností. Tento údaj by mohol byť použitý pri vývoji metódy na určenie trasy k zadanému cieľu. Aj v prípade nepresného výpočtu polohy je možné používateľovi poskytnúť informáciu o tom, či sa pohybuje dobrým smerom.
- Praktický experiment ukázal, že použitie gyroskopu mobilného zariadenia je z dôvodu výraznej nepresnosti nevhodné a tiež vylučuje využívanie kompasu. Riešením by teda mohlo byť získavanie informácie o aktuálnej rýchlosti z externého krokometru, komunikujúceho pomocou technológie Bluetooth.
- Rozšírenie metódy klasifikácie pozičných údajov by bolo možné uskutočniť vytvorením viacerých tried. Triedy by mohli zohľadňovať napríklad SSID (z angl. Service Set Identifier), teda názvoslovie prístupových bodov, za účelom určenia väčšej váhy sieťam priradeným k danej budove.

5 Testovanie riešenia a vyhodnotenie výsledkov

Počas vývoja bola pravidelne overovaná funkčnosť predkladanej metódy a aplikácie. Testovanie prebiehalo dvoma spôsobmi: pomocou simulačného režimu a vykonávaním praktických pokusov v obmedzenom prostredí. Výsledkom je stabilná aplikácia, ktorú je možné použiť na uskutočnenie rozsiahlejších experimentov. Účelom týchto pokusov je overiť fungovanie aplikácie v rozdielnych prostrediach a porovnať presnosť merania v závislosti na použití metódy korekcie.

5.1 Metodológia merania

Pred samotným meraním je potrebné stanoviť pravidlá hodnotenia a spôsob, akým budeme počas experimentu postupovať. Je dôležité zohľadniť fungovanie pozičného algoritmu, algoritmu klasifikácie výsledkov a vzťahu pre výpočet predikcie polohy. Na základe predpokladov a teoretických vedomostí o vlastnostiach signálu (kapitola 2.4.1) určíme rozmiestnenie referenčných bodov a približné nastavenie parametrov. V tejto časti sa nachádza bližšie vysvetlenie metodológie merania.

5.1.1 Rozmiestnenie referenčných bodov

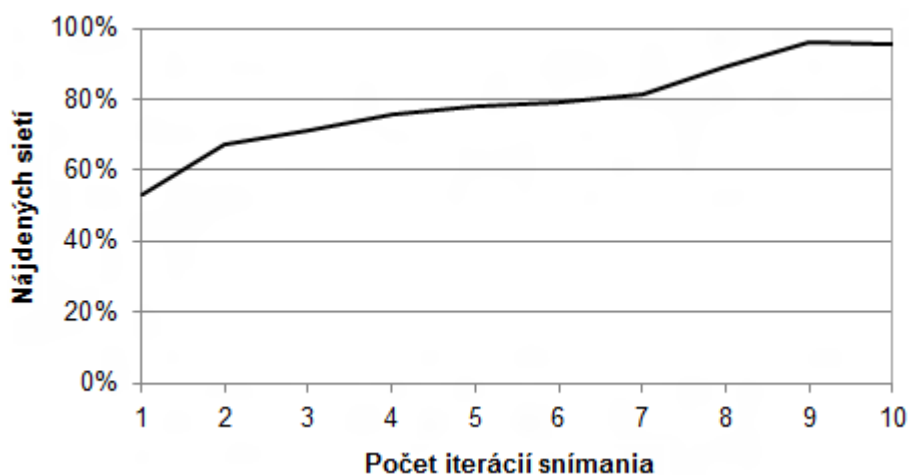
Pri porovnávaní aktuálneho odtlačku so signálovou mapou je presnejšie výsledky možné dosiahnuť v prípade, ak sa v databáze nachádza veľký počet referenčných bodov s vysokou hustotou umiestnenia vo fyzickom priestore. Zároveň je ale dôležité, aby išlo o aktuálne údaje. Aktualizácia údajov pri veľkom počte referenčných miest je jedným z najväčších problémov metódy určovania polohy porovnávaním odtlačkov. Z tohto dôvodu je žiadúce dosiahnuť uspokojivú presnosť pri čo najmenšom počte bodov. Pri testovaní sa teda budeme snažiť nepresahovať potrebnú hustotu – malé miestnosti budú obsahovať iba jeden referenčný bod.

5.1.2 Nastavenie parametrov aplikácie

Tab. 4 obsahuje zoznam všetkých parametrov, ktoré je možné v aplikácii nastaviť. Ak by sme brali do úvahy iba sekundový krok pri nastavovaní času predikcie, celkový počet možných kombinácií nastavení by bol rovný 10 890 000. Hodnoty preto určíme podľa uváženia na základe teoretických vedomostí.

V aktívnom režime sa snímanie odtlačkov uskutočňuje nepretržite, teda každá ďalšia iterácia snímania sa začína okamžite po vykonaní výpočtu. Predpokladáme, že pri vyššom počte iterácií je možné dosiahnuť presnejšie priemerné hodnoty. Ak je však

počet iterácií príliš vysoký, pri výraznej zmene polohy môže byť výpočet skreslený kvôli priemerovaniu s predchádzajúcimi hodnotami snímania, ktoré boli získané na inom mieste. Z tohto dôvodu je dôležité určiť rozumný počet iterácií. Obr. 18 zobrazuje informačnú hodnotu odtlačku v závislosti od nastavenia počtu iterácií.



Obr. 18 Úspešnosť nájdenia sietí v závislosti od počtu iterácií snímania

Pre vytvorenie grafu a potvrdenie hypotézy bolo vykonaných celkovo 20 meraní na 10 rôznych miestach. Je zrejmé, že pri nízkom počte opakovaní sú z dôvodu negatívnych vlastností šírenia signálu niektoré prístupové body vynechané. Pre účely experimentu použijeme 5 iterácií snímania, úspešnosť tohto nastavenia počas testu bola 78% a priebežné testovanie vykazovalo prijateľné výsledky.

Počet susedov k vo vyváženom algoritme k -najbližších susedov (pozri 3.2.1) je potrebné nastaviť v závislosti na hustote a rozložení referenčných bodov v konkrétnom prostredí. Pri hodnote $k = 1$ by aplikácia určovala iba najbližší RP. Referenčné body preto rozmiestnime tak, aby bolo možné vo vyhradenom priestore určovať súradnice pomocou minimálneho počtu 4 susedov. Pri nastavení váhového faktora použijeme druhú mocninu, vychádzajúc z výsledkov uvedených v [55].

Zmenou veľkosti histórie na hodnotu 0 záznamov je možné “vypnúť” metódu korekcie výpočtov. Tým získame výsledky pozičného algoritmu bez filtrovania a predikcie polohy. Tieto výsledky následne porovnáme s meraním, pri ktorom bude veľkosť histórie nastavená na hodnotu 10 záznamov. Nastavením času predikcie na hodnotu 0 sekúnd ďalej získame filtrované výsledky bez predikcie polohy. Experiment budeme teda vykonávať v troch konfiguráciách podľa Tab. 5. Hodnoty v tabuľke sú odvodené empiricky na základe priebežného testovania aplikácie a môžu vykazovať rôzne výsledky v závislosti od konkrétneho prostredia.

Tab. 5 Konfigurácie použité pri praktickom experimente

	Počet iterácií	Počet susedov	Váhový faktor	Veľkosť histórie	Maximálna rýchlosť	Ignorovaná odchýlka	Čas predikcie
A	5	4	2	0	-	-	-
B	5	4	2	10	8 km/h	4	0 s
C	5	4	2	10	8 km/h	4	1 s

5.1.3 Hodnotenie presnosti výpočtu

Hodnotenie výpočtu bude zohľadňovať konkrétnu situáciu. Budeme vykonávať statické a dynamické merania presnosti. Statické meranie znamená, že záznamy budú na každom mieste vytvárané po určitom čase bez zmeny reálnej polohy. Pri dynamickom meraní budú záznamy vytvárané počas chôdze. Cieľom analýzy je porovnať priemernú hodnotu chyby získanú opakovaným meraním, teda priemernú vzdialenosť medzi skutočnou polohou a polohou, ktorú určí aplikácia. Záznamy budú vytvárané manuálne, stlačením ikony referenčného bodu v momente, keď súradnice tohto bodu predstavujú reálnu polohu. Nepresnosť opísaného spôsobu merania je pri vhodnom rozmiestnení referenčných bodov vo fyzickom prostredí minimálna. Okrem absolútnej presnosti vyhodnotíme v niektorých prípadoch aj schopnosť aplikácie určiť aktuálne poschodie.

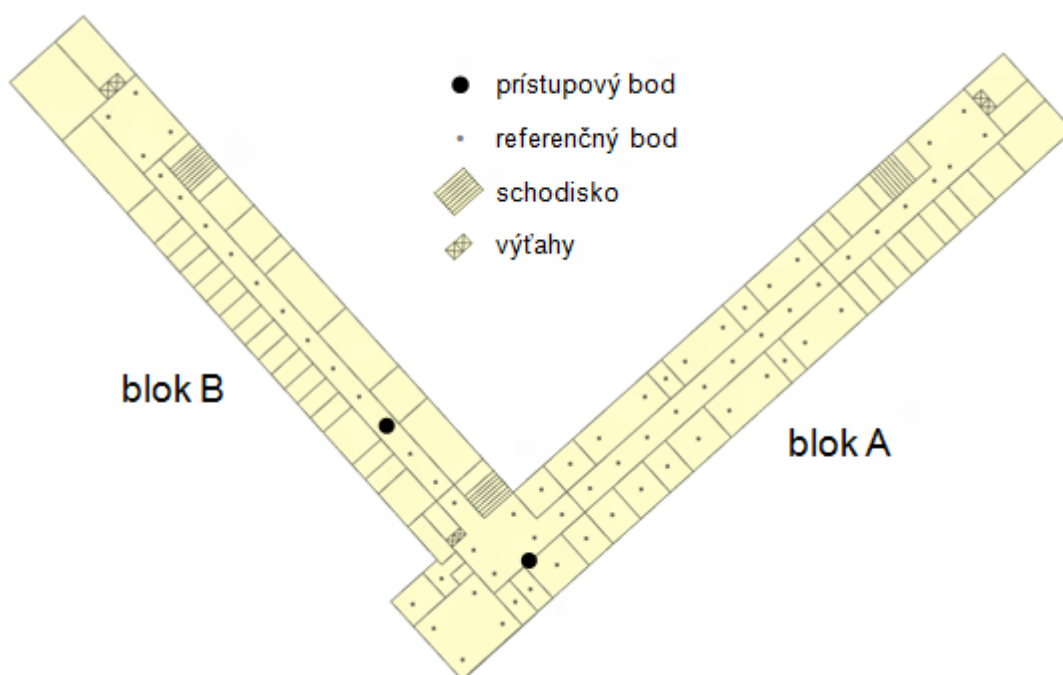
5.2 Praktický experiment

Výskumné tímy spravidla prezentujú výsledky interiérových pozičných systémov iba v jednom prostredí, s rovnakým vplyvom vonkajších elementov [55][71]. Pre reálne overenie použiteľnosti systému je ale potrebné počítať s rôznou povahou týchto elementov, medzi ktoré patrí napríklad prítomnosť osôb, otváranie a zatváranie dverí a podobne. Algoritmus klasifikácie výsledkov bol navrhnutý práve za účelom zlepšenia presnosti pozičného algoritmu v nepriaznivých podmienkach. V tejto práci preto vykonáme testovanie v rôznych budovách, v ktorých by nasadenie interiérového pozičného systému znamenalo prínos v oblasti navigácie. Pôjde o budovy s existujúcou infraštruktúrou bezdrôtových sietí a rôznou charakteristikou prostredia. Podmienkou je dostatočné pokrytie prístupovými bodmi.

5.2.1 Budova univerzity

Prvým prostredím pre uskutočnenie experimentu je hlavná budova Technickej Univerzity v Košiciach. Toto prostredie bolo zároveň testovacím prostredím počas vývoja aplikácie. Jedná sa o päťposchodovú budovu pozostávajúcu z 2 blokov, ktoré sú

na jednom konci súvisle prepojené. Dĺžka jedného bloku je približne 240 m a šírka zhruba 18 m. Na Obr. 19 sa nachádza pôdorys 5. poschodia, v ktorom je zaznačená poloha zosnímaných referenčných bodov.



Obr. 19 Rozmiestnenie referenčných bodov v budove univerzity

V tomto prostredí máme informáciu o rozmiestnení niektorých AP. Na Obr. 19 sú prístupové body verejnej školskej siete znázornené značkou. Keďže nie sú umiestnené po obvodě budovy, je možné predpokladať horšie výsledky pri určovaní polohy v miestnostiach, v ktorých blízkosti sa nenachádza žiadny ďalší prístupový bod.

Statický test

Úlohou statického testu je overiť schopnosť riešenia určiť aktuálnu polohu v prípade, ak nedochádza k reálnej zmene polohy. Pre každú konfiguráciu nastavení parametrov bolo vykonaných 20 meraní na 10 rôznych miestach. Výsledky meraní sú uvedené v Tab. 6.

Tab. 6 Presnosť určenia polohy bez zmeny pohybu v budove univerzity

	Chyba (m)			Presnosť (m)			
	MIN	MAX	Ø	80%	85%	90%	95%
A	0,79	30,91	4,60	5,11	7,10	8,60	18,95
B	0,58	12,17	3,52	4,33	5,74	8,44	9,93
C	0,23	9,97	3,23	3,88	4,15	5,06	8,03

Z údajov v tabuľke je zrejmé, že algoritmus klasifikácie výsledkov (B) výrazne zlepšuje presnosť pozičného algoritmu (A). Maximálna chyba 30,91 m bez použitia metódy korekcie bola spôsobená v dôsledku krátkodobého výkyvu merania. Podobné výkyvy boli klasifikáciou úspešne filtrované, ohraničujú maximálnu chybu hodnotou 12,17 m. Reakciou na zmenšenie odchýlky sú taktiež ostatné hodnoty.

Účelom testovania predikcie (C) pri statickom meraní bolo dokázať, že vzťah na výpočet nasledujúcej polohy správne zohľadňuje filtrovanú históriu a chyba merania nebude výrazne vyššia ako pri (B). Prekvapením bolo naopak dosiahnutie ešte lepších výsledkov, samozrejme vďaka algoritmu klasifikácie. Zároveň je ale možné považovať schopnosť vzťahu (20) zohľadňovať rýchlosť používateľa za správnu.

Dynamický test

Pri dynamickom teste ide o zistenie presnosti určovania polohy počas pohybu. Uskutočnili sme 10 meraní pre každú konfiguráciu parametrov, chôdzou po chodbe v bloku A (Obr. 19). Pri každom prejení chodby bolo zaznamenaných 9 hodnôt. V Tab. 7 sa nachádzajú výsledky meraní.

Tab. 7 Presnosť určenia polohy počas pohybu v budove univerzity

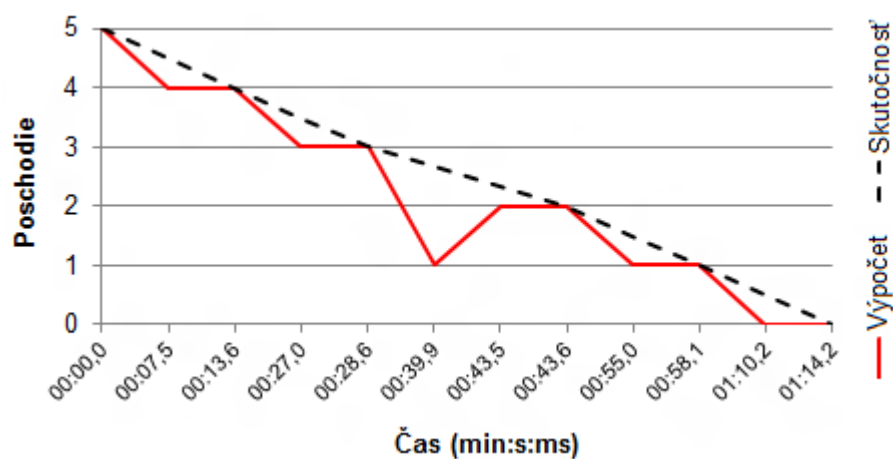
	Chyba (m)			Presnosť (m)			
	MIN	MAX	Ø	80%	85%	90%	95%
A	1,05	26,20	6,14	9,25	10,22	14,30	17,88
B	0,07	20,28	4,29	6,95	7,95	8,27	9,07
C	0,31	30,65	5,62	8,19	8,96	12,20	14,25

Algoritmus klasifikácie (B) aj v tomto prípade dosiahol zlepšenie výsledkov. Je možné predpokladať, že odchýlka pozičného algoritmu (A) bola okrem ostatných vplyvov spôsobená aj Dopplerovým javom (pozri 2.4.1). Absolútne hodnoty presnosti sú vyššie ako pri statickom teste, priemerná chyba 4,29 m však uspokojila všetky predpoklady, keďže pri testovaní boli použité iba AP existujúcej infraštruktúry.

Bohužiaľ tento test pri zohľadnení predikcie polohy (C) poukázal na výrazne horšie výsledky v porovnaní s (B), pričom ide práve o prípad použitia, kvôli ktorému bola predikcia navrhnutá. Rozdiel medzi predpokladom a výsledkami bude v budúcnosti predmetom ďalšieho skúmania. Napriek tomu však bola priemerná chyba 5,62 m nižšia ako priemerná chyba bez použitia korekčnej metódy.

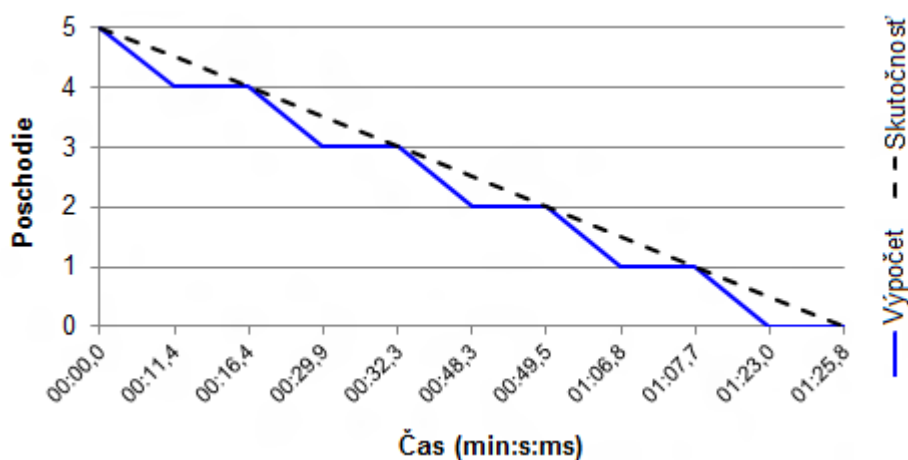
Zmena poschodia

Pre účely tohto merania bol na každom poschodí v priestoroch hlavného schodiska rozmiestnený rovnaký počet referenčných bodov. Určenie poschodia dosahovalo pri statickom meraní úspešnosť 100%. Pri prechádzaní medzi poschodiami by ale mohlo dochádzať k viacnásobnej zmene poschodia v dôsledku kolísania signálu. Má preto zmysel porovnať schopnosť algoritmu klasifikácie takéto výkyvy odchytiť. Predbežný test v priestoroch hlavného schodiska ukázal, že prítomnosť prístupových bodov spôsobuje aj pri dynamickom meraní úspešnosť 100%. Ďalšie testovanie teda prebiehalo na schodisku v severnej časti bloku B (Obr. 19). Graf správnosti určenia poschodia bez použitia metódy korekcie výpočtov sa nachádza na Obr. 20.



Obr. 20 Správnosť určenia poschodia bez použitia metódy korekcie

Súvislá krivka vyjadruje výpočet aktuálneho poschodia aplikáciou. Pri tomto teste dochádzalo v niektorých prípadoch ku kolísaniu hodnôt (viď. Obr. 20, čas 00:39,9). Na obrázku Obr. 21 sa nachádzajú výsledky testu s použitím metódy korekcie výsledkov.



Obr. 21 Správnosť určenia poschodia s použitím metódy korekcie

Celkovo bolo uskutočnených 10 meraní pre konfiguráciu (A) a (B). Použitím metódy korekcie došlo pri experimente k určení poschodí v nesprávnom poradí iba v jednom prípade, bez použitia metódy korekcie bolo poradie určené nesprávne v 7 z 10 meraní. Navrhnutá metóda teda funguje podľa očakávaní. Pre overenie predpokladu bolo uskutočnené rovnaké meranie aj vo výrazne rozdielnom prostredí (pozri 5.2.3).

5.2.2 Obchodné centrum

Vhodným využitím IPS je navigácia návštevníkov v obchodných centrách. Pre tento test bolo vybrané nákupné stredisko Aupark Košice. Celkovo bolo rozmiestnených 30 referenčných bodov na prízemí v priestoroch haly medzi obchodmi, s hustotou približne jeden prístupový bod na 25 m². Absolútne výsledky tohto testu nie je možné porovnávať s 5.2.1, ide predovšetkým o porovnanie jednotlivých konfigurácií.

Statický test

Pri statickom teste bolo pre každú konfiguráciu vykonaných celkovo 10 meraní, pozostávajúcich z 10 záznamov. Celkové výsledky meraní sa nachádzajú v Tab. 8.

Tab. 8 Presnosť určenia polohy bez zmeny pohybu v obchodnom stredisku

	Chyba (m)			Presnosť (m)			
	MIN	MAX	Ø	80%	85%	90%	95%
A	0,92	10,35	3,92	6,69	7,53	8,98	9,45
B	0,18	8,28	2,88	3,68	3,95	4,70	6,94
C	0,31	7,78	3,54	4,34	4,68	6,34	7,00

Podobne ako v priestoroch univerzity, aj v tomto prípade dosiahla konfigurácia (B) o niečo lepšiu presnosť oproti konfigurácii (A). Maximálna chyba a kolísanie signálu nebolo také výrazné, čo môže byť spôsobené väčšou hustotou referenčných bodov, ako aj tým, že zmapovaná oblasť bola výrazne menšia, približne 15 × 50 m. Konfigurácia (C) preukázala v tomto prípade predpokladané hodnoty pri státi na mieste, teda o niečo väčšiu chybu ako konfigurácia (B). Nakoľko ale pri všetkých nastaveniach parametrov dosahovala aplikácia veľmi presné výpočty, potvrdenie správnosti by si vyžadovalo oveľa rozsiahlejšie testovanie, ktoré presahuje účel tejto diplomovej práce.

Dynamický test

V priestoroch nákupného strediska bol vykonaný aj dynamický test, pozostávajúci z 10 meraní po 5 záznamov pre všetky tri konfigurácie nastavení (Tab. 9).

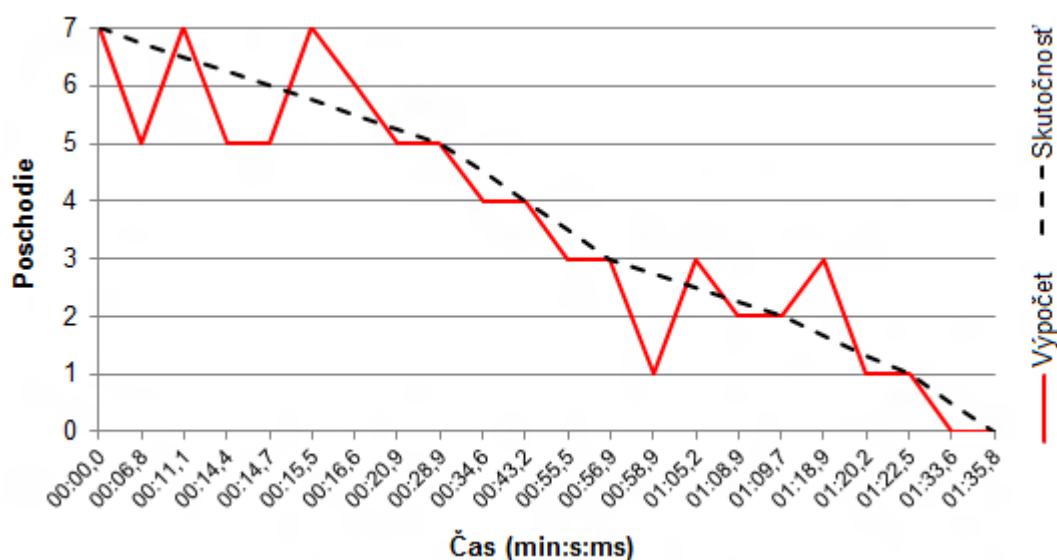
Tab. 9 Presnosť určenia polohy počas pohybu v obchodnom stredisku

	Chyba (m)			Presnosť (m)			
	MIN	MAX	Ø	80%	85%	90%	95%
A	0,40	11,20	2,99	3,84	4,78	5,15	6,79
B	0,36	7,09	3,24	4,44	4,92	5,54	6,76
C	0,18	7,04	2,67	3,81	4,54	5,11	5,80

V tomto prípade výsledky testu jednoznačne nepotvrdili zlepšenie pri použití metódy korekcie výsledkov. Rozdiely presností sú však také malé, že nie je možné vyvodzovať jednoznačné dôsledky. Napriek tomu je ale z maximálnej hodnoty chyby zrejmé, že metóda dokáže odfiltrovať výrazné odchýlky. Konfigurácia (C) dosiahla aj pri tomto teste očakávané hodnoty, teda lepšie výsledky ako konfigurácia (B).

5.2.3 Bytový dom

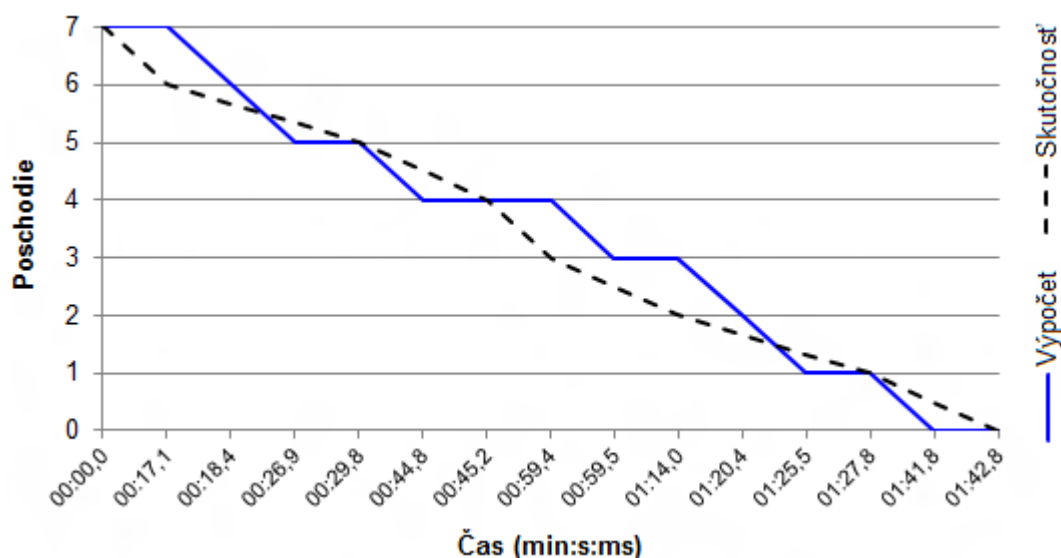
Pre porovnanie s výsledkami dosiahnutými v priestoroch univerzity bol vykonaný test správneho určovania poschodia vo verejných priestoroch 7-poschodového bytového domu. Na každom poschodí boli rozmiestnené dva referenčné body. Na Obr. 22 sa nachádza graf rozdielu medzi výpočtom a skutočnosťou použitím konfigurácie (A).



Obr. 22 Správnosť určenia poschodia bez použitia metódy korekcie

Ako je vidieť z grafu, v tomto prostredí dochádzalo k výraznej odchýlke. Jednak je možné predpokladať, že prístupové body obyvateľov domu nie sú rozmiestnené rovnomerne, okrem toho je však výška poschodí výrazne menšia. Predbežné testovanie s použitím konfigurácie (B) vykazovalo značné oneskorenie. Pre dosiahnutie lepších

výsledkov bola vykonaná zmena konfigurácie – ignorovaná odchýlka bola nastavená na hodnotu 3. Výsledky jedného z meraní sa nachádzajú na Obr. 23.



Obr. 23 Správnosť určenia poschodia s použitím metódy korekcie

Je teda zrejmé, že metóda klasifikácie výsledkov pozičného algoritmu je pri prechádzaní medzi poschodiami prínosom. V tomto teste bolo vykonaných 10 meraní pre konfiguráciu (A) a upravenú konfiguráciu (B). Pri všetkých meraniach aplikácia dosahovala podobné výsledky, aké sa nachádzajú na Obr. 22 a Obr. 23.

5.3 Vyhodnotenie výsledkov

V kapitole 3.1 sme stanovili požiadavku pre potrebnú presnosť aplikácie, ktorá vychádzala z presnosti existujúcich pozičných systémov v Tab. 3. V prípade, ak berieme do úvahy úspešnosť určovania polohy na úrovni 90%, najlepšie výsledky dosahuje aplikácia v konfigurácii (B), s presnosťou 8,36 m v priestoroch univerzity a 5,12 m v priestoroch nákupného strediska pri vyššej hustote referenčných bodov. Táto skutočnosť do istej miery potvrdzuje predpoklad, že zvýšením počtu referenčných bodov je možné dosiahnuť lepšiu presnosť výpočtov.

Najväčším prínosom metódy klasifikácie výsledkov je dobrá schopnosť filtrovania výraznej odchýlky. Takmer vo všetkých prípadoch dochádza pri konfiguráciách (B) a (C) pri porovnávaní maximálnej chyby k zlepšeniu oproti (A). Okrem toho test schopnosti aplikácie určovať správne poschodie preukázal taktiež zlepšenie oproti nefiltrovaným výsledkom pozičného algoritmu. Metódu klasifikácie výsledkov pozičného algoritmu teda môžeme považovať za úspešnú.

Predikcia nasledujúcej polohy nedosiahla oproti konfigurácii (B) predpokladané zlepšenie, v niektorých prípadoch dokonca preukázala zhoršenie výsledkov. Tento spôsob korekcie predpokladá vysokú stabilitu výpočtov. Zrejme práve to bol dôvod, prečo sa v experimente nepodarilo dosiahnuť zlepšenie. Predikcia výsledkov bude preto predmetom ďalšieho skúmania pri pokračujúcich prácach na projekte.

Počas experimentu boli vykonané aj ďalšie čiastkové testy pre zistenie najlepšej konfigurácie parametrov. Počet iterácií snímania odtlačkov sa ukázal byť pri pohybe príliš vysoký, pretože algoritmus si „zapamätal“ predchádzajúce hodnoty. Počet iterácií pri určovaní polohy počas pohybu je preto vhodné zvoliť nižší, napríklad 3 iterácie. Okrem toho bolo podľa predpokladu overené, že pri vyššej rýchlosti pohybu je lepšie použiť menšiu hodnotu nastavenia ignorovanej odchýlky.

5.4 Možnosti použitia metódy

Na základe výsledkov uskutočneného experimentu je zrejmé, že presnosť metódy určovania polohy pomocou existujúcej infraštruktúry WLAN je výrazne špecifická vzhľadom na rozmiestnenie referenčných bodov a konkrétne prostredie. Využitelnosť pozičného systému v interiéri je však vysoká aj v prípade menej presných výsledkov. Vo všeobecnosti je pre neznalých návštevníkov budovy dôležitá predovšetkým informácia o aktuálnom poschodí a polohe s presnosťou niekoľkých metrov.

V priestoroch univerzity by pozičný systém každoročne uvítali predovšetkým noví študenti, pre ktorých by mohla byť dostupná aplikácia prístupujúca k zdieľanej signálovej mape. Návštevníkom obchodného centra alebo nemocnice by mohla byť takáto aplikácia poskytnutá napríklad pomocou zajateckého portálu bezdrôtovej siete. Najväčší význam má metóda pre nevidiacich používateľov, pre ktorých predstavuje výstup aplikácie často jediný zdroj informácií o aktuálnej polohe.

Okrem zistenia vlastnej polohy je metóda použiteľná aj na zistenie polohy iných osôb v prípade núdze. Centralizovaný systém vo výškovej budove by napríklad pri potrebe evakuácie mohol automaticky zistiť počet osôb na jednotlivých poschodiach. Riešenia prezentované v [2][10] sú zasa dôkazom dopytu po systémoch na určenie polohy zamestnancov. Metóda využívajúca existujúcu infraštruktúru WLAN môže byť pri dostatočnej presnosti lacnejšou alternatívou pre uvedené riešenia.

6 Záver

Táto diplomová práca zhodnotila fungovanie rôznych technológií a metód na určovanie polohy v interiéri a analyzovala možnosti pozičných systémov založených na Wi-Fi. Na základe uskutočneného prieskumu je možné predpokladať, že takého pozičné systémy sa v priebehu niekoľkých rokov stanú bežnou súčasťou nášho života, podobne ako sa technológia GPS rozšírila koncom minulého storočia. Hlavným argumentom tohto tvrdenia je najnovšie predovšetkým záujem spoločnosti Google o poskytovanie lokalizácie v interiéri. Výskum v tejto oblasti je teda nesmierne dôležitý.

Význam práce spočíva v návrhu vlastnej metódy určovania polohy, zlepšujúcej výsledky pozičného algoritmu v nepriaznivých podmienkach. Implementáciou aplikácie pre inteligentné mobilné zariadenie predkladám nástroj na zhodnotenie dosiahnutého riešenia, ktorý je zároveň funkčným prototypom interiérovej navigácie. Okrem toho prezentujem výsledky praktického experimentu v reálnom prostredí.

Testovanie v teréne síce overilo použiteľnosť predkladanej metódy a aplikácie, na dosiahnutie presných meraní a porovnanie jednotlivých konfigurácií parametrov by však bolo potrebné vykonať oveľa rozsiahlejší experiment s dôslednou metodológiou, ktorý nie je predmetom tejto práce. Dosiahnuté výsledky ale v mnohých ohľadoch naplnili očakávania a ponúkli cenné vedomosti pre ďalší vývoj riešenia.

Budúcnosť riešenia sa spája s projektom Mapz, ktorý bol spomenutý v predhovore k tejto práci. Ďalším krokom po dokončení testovacej fázy je integrácia s existujúcou aplikáciou pre nevidiacich používateľov. Za týmto účelom je potrebné sa zamerať na vyriešenie problému so zbieraním údajov. Jedným z možných riešení je automatické snímanie metódou crowdsourcingu na základe rozvrhových jednotiek študenta, ktoré bolo spomenuté v časti 4.4. Uvedená kapitola je zároveň zhrnutím možných rozšírení aplikácie, ktoré budú predmetom nasledujúceho vývoja.

Zoznam použitej literatúry

- [1] PORUBĀN, Jaroslav – PRISTÁŠ, Michal – STANÍK, Tomáš – ŠUŠČÁK, Marek – TOMÁŠ, Marek: Mapz: Informácie o projekte [online]. KPI, FEI, Technická univerzita v Košiciach, 2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné na internete: <<http://blog.mapzproject.org/informacie-o-projekte/>>.
- [2] Ekahau: Comparison of Wireless Indoor Positioning Technologies [online]. 2006 [cit. 2012-01-23]. Dostupné na internete: <http://www.productivet.com/docs-2/Wireless_Comparison.pdf>.
- [3] GAGNON, Angré: Novelty in Synergistic Radar technology, by adding Intrusion Location Capability [online]. Williamsburg, VA, 2000 [cit. 2012-01-23]. Dostupné na internete: <www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA402506>.
- [4] FRIEDMAN, Roy – KLIOT Gabriel: Location Services in Wireless Ad Hoc and Hybrid Networks: A Survey [online]. Department of Computer Science, Haifa, Israel, 2006-04-24 [cit. 2012-01-23]. Dostupné na internete: <<https://www.cs.technion.ac.il/users/wwwb/cgi-bin/tr-get.cgi/2006/CS/CS-2006-10.pdf>>.
- [5] MILLER, Ronald – HUANG, Qingfeng: An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System. IEEE Vehicular Technology Conference, 2002-08-07, vol. 1, s. 317-321. ISBN 0-7803-7484-3
- [6] RAJU, P.L.N.: Fundamentals of GPS [online]. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Geneva, 2004 [cit. 2012-01-25], s. 121-150. Dostupné na internete: <www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-7.pdf>.
- [7] ZEKAVAT, Seyed A. – TONG, Hui – TAN, Jindong: A Novel Wireless Local Positioning System for Airport (Indoor) Security [online]. Department of Electrical and Computer Engineering, Michigan Tech University, Houghton, MI, 2004 [cit. 2012-01-25]. Dostupné na internete: <www.ece.mtu.edu/pages/research_labs/wlps/papers/spie04_wlps_design.pdf>.
- [8] GU, Yanying – LO, Anthony: A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, 2009-04-01. ISSN 1553-877X
- [9] WERB, J. - LANZL, C.: Designing a positioning system for finding things and people indoors. IEEE Spectrum Magazine, 2002-08-06, vol. 35, no. 9, s. 71-78. ISSN 0018-9235
- [10] HOGLUND, David H.: Real-time Location Systems (RTLS) in Healthcare [online]. Integra Systems, 2009 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na internete: <<http://www.awarepoint.com/uploads/Wi-NotWi-Fi.pdf>>
- [11] HIGHTOWER, Jeffrey – BORRIELLO, Gaetano: Location Sensing Techniques [online]. University of Washington, Computer Science and Engineering, Seattle,

- WA, 2001-08-08 [cit. 2012-01-27]. Dostupné na internete: <portolano.cs.washington.edu/papers/UW-CSE-01-07-01.pdf>.
- [12] MURPHY, William S. Jr.: Determination of a Position Using Approximate Distances and Trilateration [online]. Colorado School of Mines, 2007-07-04 [cit. 2012-01-29]. Dostupné na internete: <<http://phillyrobotics.org/wp/wp-content/uploads/2010/12/MurphyMSThesis.pdf>>.
- [13] ERICKSON, Caroline: GPS Positioning Guide. Natural Resources Canada, Geodetics Survey Division, Ottawa, Ontario, 1995. 111 s. ISBN 0-660-15917-1
- [14] ALIZATEH-SHABDIZ, Farshid: System and method for using a satellite positioning system to filter WLAN access points in a hybrid positioning system. United States Patent: 7999742. Skyhook Wireless, Boston, MA, 2011-08-16.
- [15] MALIK, Ajay: RTLS for Dummies. Wiley Publishing, Hoboken, NJ, 2009. 320 s. ISBN 978-0-470-39868-5
- [16] NASH, Trina A.: RFID Technology and Its Impact on the Supply Chain [online]. Eastern Michigan University, 2010 [cit. 2012-02-10]. Dostupné na internete: <<http://commons.emich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1218&context=honors>>.
- [17] WISNER, Joel D. – TAN, Keah-Choon – LEONG, G. Keong: Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. South-Western Cengage Learning, Mason, OH, 2008-05-01. 562 s. ISBN 978-0-324-37508-4
- [18] NIKITIN, Pavel V. – RAO, K.V.S. – LAZAR, Steve: An Overview of Near Field UHF RFID. IEEE International Conference on RFID, Grapevine, TX, 2007-04-16, s 167-174. ISBN 1-4244-1013-4
- [19] SHAH, S.F.A. – TEWFIK A.H.: Enhanced Position Location With UWB in Obstructed LOS and NLOS Multipath Environments [online]. Department of Electrical & Computer Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 2007 [cit. 2012-02-10]. Dostupné na internete: <http://www.dtc.umn.edu/publications/reports/2007_48.pdf>.
- [20] CASTRO-LACOUTURE, Daniel – IRIZARRY, J. – ARBOLEDA, C.A.: Ultra Wideband Positioning System and Method for Safety Improvement in Building Construction Sites [online]. Construction Research Congress, Bahamas, 2007 [cit. 2012-02-10]. Dostupné online: <<http://conectech.gatech.edu/Publications.html>>.
- [21] CORREAL, Neiyer S. – KYPEROUNTAS, Spyros – SHI, Qicai – WELBORN, Matt: An UWB Relative Location System [online]. Virginia Polytechnic Institute and State University [cit. 2012-02-10]. Dostupné online: <vtvt.ece.vt.edu/research/references/uwb/sensor_static_location/uwb_relative_location.pdf>.
- [22] HOLM, Sverre: Hybrid Ultrasound–RFID Indoor Positioning: Combining the Best of Both Worlds. IEEE International Conference on RFID, Orlando, FL, 2009-05-08, s 155-162. ISBN 978-1-4244-3338-4

-
- [23] WARD, Andy – JONES, Alan – HOPPER, Andy: A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, 2002-08-06, vol. 4, no. 5, s. 42-47. ISSN: 1070-9916
- [24] SHIDARY, Saeed Shiry – TANI, Takahiro – TAKAMORI, Toshi – HATTORI, Motofumi: A new Home Robot Positioning System (HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors [online]. Department of computer and systems engineering, Kobe University, Japan [cit. 2012-02-11]. Dostupné na internete: <cs.cmu.edu/~biorobotics/papers/sbp_papers/integrated2/ghidary_ir_beacon.pdf>.
- [25] BILLIE, Glennoah: Microsoft Kinect Sensor Evaluation [online]. Johnson Space Center, Southwestern Indian Polytechnic Institute, Albuquerque, NM, 2011-05-08 [cit. 2012-02-15]. Dostupné na internete: <<http://usrp.usra.edu/technicalPapers/jsc/BillieAug11.pdf>>.
- [26] LAITINEN, H. – AHONEN, S. – KYRIAZAKOS, S. - LÄHTEENMÄKI, J. – MENOLASCINO, R. – PARKKILA, S.: Cellular network optimisation based on mobile location [online]. Cellular Location Technology Consortium, 2001-10-25 [cit. 2012-02-12]. Dostupné na internete: <http://lyle.smu.edu/~rajand/courses/8377/papers/e911_recent.pdf>.
- [27] TIPPER David W. – CHARNSRIPINYO, Chalernpol – SHIN, Hyundoo, DAHLBERG, Teresa A.: Survivability Analysis for Mobile Cellular Networks [online]. Department of Information Science and Telecommunications, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA [cit. 2012-02-12]. Dostupné na internete: <<http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/2825/Sim1.pdf>>.
- [28] LUO, Haiyun – RAMJEE Ramachandran – SINHA, Prasun – LI, Li Erran – LU, Songwu: UCAN: A Unified Cellular and Ad-Hoc Network Architecture [online]. MobiCom, San Diego, CA, 2003 [cit. 2012-02-11]. Dostupné na internete: <<http://www.cs.ucla.edu/wing/publication/papers/Luo.Mobicom03.pdf>>.
- [29] JOHNSON, Grayson: Method of Displaying Targeted Digital Electronic Advertising Using Global Positioning System (GPS) Coordinates and Associated Demographic Data. United States Patent: US 2009/0204484 A1. Safety Harbor, FL, 2009-08-13.
- [30] KORNHAUSER, Alain L.: Global Navigation Satellite System (GNSS) [online]. Department of Operations Research & Financial Engineering, Princeton University, Princeton, NJ. [cit. 2012-02-20]. Dostupné na internete: <<http://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>>.
- [31] POGGE, Richard W.: Real-World Relativity: The GPS Navigation System [online]. Introduction to Stars, Galaxies & the Universe, The Ohio State University, Columbus, OH, 2009-04-27 [cit. 2012-02-20]. Dostupné na internete: <<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/gps.html>>.
- [32] DJUKNIC, Goran M. – RICHTON, Robert E.: Geolocation and Assisted GPS [online]. Bell Laboratories, Lucent Technologies, Georgia State University,
-

- Atlanta, GA, 2001 [cit. 2012-02-21]. Dostupné na internete: <http://www.cs.columbia.edu/~drexel/CandExam/Geolocation_assistedGPS.pdf>.
- [33] YE, Jason Yipin: Atlantis: Location Based Services with Bluetooth [online]. Department of Computer Science, Brown University, 2005 [cit. 2012-02-25]. Dostupné na internete: <cs.brown.edu/research/pubs/theses/ugrad/2005/jye.pdf>.
- [34] ALMULA, Varun – CHENG, David: Bluetooth Triangulator [online]. Department of Computer Science and Engineering, University of California, San Diego, CA, 2006 [cit. 2012-02-25]. Dostupné na internete: <<http://cseweb.ucsd.edu/classes/fa06/cse237a/finalproj/almula.pdf>>.
- [35] TJENSVOLD, Jan Magne: Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless standards [online]. University of Stavanger, Stavanger, NO, 2007-09-08 [cit. 2012-03-02]. Dostupné na internete: <janmagnet.files.wordpress.com/2008/07/comparison-ieee-802-standards.pdf>.
- [36] LI, Binghao – SALTER, James – DEMPSTER, Andrew G. – RIZOS, Chris: Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN [online]. University of New South Wales, Sydney, AU, 2006 [cit. 2012-01-18]. Dostupné na internete <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lib_etal2006a.pdf>.
- [37] GARDOŠÍK, Ivan: Implementácia MANET siete s algoritmom určovania polohy. KEMT, FEI, Technická univerzita v Košiciach, 2011.
- [38] IEEE computer Society: 802.15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks [online]. New York, NY, 2005-06-14 [cit. 2012-03-04]. Dostupné na internete: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2005.pdf>>.
- [39] CHAMPION, Adam C. – LIU, Jingwen – LI, Xinfeng – XUAN, Dong: Measurements on Mobile Phone Wireless Communications [online]. Department of Computer Science and Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH, 2010-11-20 [cit. 2012-03-04]. Dostupné na internete: <http://cse.osu.edu/~champion/pubs/10_techrept_cllx.pdf>.
- [40] Sonitor Technologies: Ultrasound Indoor Positioning System [online]. Product Overview, 2008 [cit. 2012-03-04]. Dostupné na internete: <healthcaretechnologyonline.com/doc.mvc/Sonitor-Technologies-Ultrasound-Indoor-0001>.
- [41] KIM, Inseong – SHIM, Joon Hyung – YANG, Jinkyu: Face detection [online]. Stanford University, Stanford, CA, 2003 [cit. 2012-03-04]. Dostupné na internete: <www.stanford.edu/class/ee368/Project_03/Project/reports/ee368group02.pdf>.
- [42] NASIM, Faisal – GHANI, Usman – ABBAS, Syed Raza: Autonomous Roverbot Using Scene Analysis [online]. N.E.D. University of Engineering and Technology, Karachi, 2006 [cit. 2012-03-04]. Dostupné na internete: <http://ncsu.academia.edu/RazaAbbasSyed/Papers/746227/Autonomous_Roverbot_Using_Scene_Analysis>.

-
- [43] KAEMARUNGSI, K. – KRISHNAMURTHY, P.: Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting. The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, Boston, MA, 2004-09-03, s. 14-23. ISBN 0-7695-2208-4
 - [44] WANG, Y. – JIA, X. – RIZOS, C.: Differential algorithms for indoor wireless positioning system (DWPS) [online]. International Symposium on GNSS/GPS, Sydney, AU, 2004 [cit. 2012-02-07]. Dostupné na internete: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/wangy_etal2004b.pdf>.
 - [45] PUCCINELLI, Daniele – HAENGGI, Martin: Multipath Fading in Wireless Sensor Networks: Measurements and Interpretation [online]. University of Notre Dame, Notre Dame, IN, 2006 [cit. 2012-02-12]. Dostupné na internete: <<http://www.nd.edu/~mhaenggi/pubs/iwcmc06.pdf>>.
 - [46] TUCHOLSKI, Ed: Doppler Effect [online]. Underwater Acoustics and Sonar, United States Naval Academy, Annapolis, MD, 2007 [cit. 2012-03-14]. Dostupné na internete: <<http://usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Chapter19.pdf>>.
 - [47] MAO, Guoqiang – BARIS, Fidan: Location Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks. Information Science Reference, Hershey, PA, 2009. 510 s. ISBN 978-1-60566-397-5
 - [48] Metageek: inSSIDer. Boise, ID, 2012 [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.metageek.net/products/inssider/>>.
 - [49] NERGUIZIAN, C. – DESPINS, C. – AFFES, S.: Geolocation in mines with an impulse response fingerprinting technique and neural networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006-03-27, vol. 5, no. 3, s. 603-311. ISSN 1536-1276
 - [50] LIU, Hui – DARABI, Houshang – BANERJEE, Pat – LIU, Jing: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics, 2007, vol. 37, no. 6, s. 1067-1080. ISSN 1094-6977
 - [51] Navizon: Indoor Triangulation System [online]. Whitepaper, 2011 [cit. 2012-01-24]. Dostupné na internete: <<http://www.navizon.com/its/whitepaper.pdf>>.
 - [52] Skyhook: Location Performance [online]. Boston, MA [cit. 2012-01-24]. Dostupné na internete: <<http://www.skyhookwireless.com/location-technology/performance.php>>.
 - [53] Google: A new frontier for Google Maps: mapping the indoors [online]. Google Official Blog, 2011-11-29 [cit. 2012-01-25]. Dostupné na internete: <<http://googleblog.blogspot.com/2011/11/new-frontier-for-google-maps-mapping.html>>.
 - [54] LIN, Tsung-Nan – LIN, Po-Chiang: Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks. IEEE International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, 2005-12-05, vol. 2, s. 1569-1574. ISBN 0-7803-9305-8
-

-
- [55] KHODAYARI, S. – MALEKI, M. – HAMED, E.: A RSS-based fingerprinting method for positioning based on historical data. IEEE International SPECTS, Ottawa, ON, 2010-10-07, s. 306-310. ISBN 978-1-56555-340-8
- [56] HAYKIN, Simon: Neural Networks: A Comprehensive Foundation (Second Edition). Pearson Education, Delhi, India, 1999. ISBN 81-7808-300-0
- [57] BRUNATO, Mauro – BATTITI, Roberto: Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs [online]. University of Trento, Trento, IT, 2004-10-12 [cit. 2012-03-14]. Dostupné na internete: <<http://disi.unitn.it/~brunato/pubblicazioni/ComNet.pdf>>.
- [58] LAOUDIAS, C. – MICHAELIDES, M.P. – PANAYIOTOU, C.G.: Fault detection and mitigation in WLAN RSS fingerprint-based positioning. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Guimaraes, PT, 2011-11-10, s. 1-7. ISBN 978-1-4577-1803-8
- [59] ALI-LOYTTY, S. – PERALA, T. – HONKAVIRTA, V. – PICHÉ, R.: Fingerprint Kalman Filter in indoor positioning applications. IEEE Multi-conference on Systems and Control, St. Petersburg, RU, 2009-10-09, s. 1678-1683. ISBN 978-1-4244-4602-5
- [60] Movable Type Scripts: Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points [online]. [cit. 2012-03-12]. Dostupné na internete: <<http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>>.
- [61] Android Developers: Android Everywhere [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné na internete: <<http://www.android.com/developers/>>.
- [62] Android Developers: Platform Versions [online]. Current Distribution, 2012-04-02 [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://developer.android.com/resources/dashboard/platform-versions.html>>.
- [63] Google Projects for Android: Maps External Library [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<https://developers.google.com/maps/>>.
- [64] HTC: Desire HD Specs [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.htc.com/www/smartphones/htc-desire-hd/#specs>>.
- [65] Perst: An open source, object-oriented embedded database [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.mcobject.com/perst>>.
- [66] Introducing JSON [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.json.org/>>.
- [67] Google GSON: A Java library to convert JSON to Java objects and vice-versa [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://code.google.com/p/google-gson/>>.
- [68] Android Developers: Service Connection [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <<http://developer.android.com/reference/android/content/ServiceConnection.html>>.
-

-
- [69] Android Developers: Broadcast Receiver [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné na internete: <<http://developer.android.com/reference/android/content/BroadcastReceiver.html>>.
- [70] Pedometer: Android app, that watches your every steps [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné na internete: <<http://code.google.com/p/pedometer/>>.
- [71] LI, Binghao – KAM, Jeffrey – LUI, Jonathan – DEMPSTER, Andrew G.: Use of Directional Information in Wireless LAN based indoor positioning [online]. IGNSS Symposium, 2007 [cit. 2012-04-19]. Dostupné na internete: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lib_et al2007b.pdf>.
- [72] Google: Android 2.3 Compatibility Definition [online]. Compatibility program [cit. 2012-04-19]. Dostupné na internete: <http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/source.android.com/en//compatibility/2.3/android-2.3.3-cdd.pdf>.
- [73] Android Developers: What is Android [online]. [cit. 2012-04-21] Dostupné na internete: <<http://developer.android.com/guide/basics/what-is-android.html>>.
- [74] Google Play: Astro File Manager Overview [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné na internete: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.metago.astro>>.
- [75] HTC: Sense [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné na internete: <<https://www.htcsense.com/>>.
- [76] Oracle: Javadoc Tool 5.0 [online]. Prístupné: 2012-04-21. Dostupné na internete: <<http://docs.oracle.com/javase/1.5.0/docs/guide/javadoc/index.html>>.
- [77] Wi-Fi Alliance: CERTIFIED Products [online]. Prístupné: 2012-04-21. Dostupné na internete: <<http://www.wi-fi.org/wi-fi-certified%E2%84%A2-products>>.
- [78] IETF Trust: A JSON Media Type for Describing the Structure and Meaning of JSON Documents [online]. Prístupné 2012-01-21. Dostupné na internete: <<http://tools.ietf.org/id/draft-zyp-json-schema-03.html>>.
- [79] JSON Schema.net [online]. Prístupné 2012-04-22. Dostupné na internete: <<http://www.jsonschema.net/>>.
- [80] Eclipse documentation: Current Release: Indigo [online]. Prístupné 2012-04-23. Dostupné na internete: <<http://help.eclipse.org/indigo/index.jsp>>.
- [81] James Smith: Android Asynchronous Http Client [online]. Prístupné 2012-04-23. Dostupné na internete: <<http://loopj.com/android-async-http/>>.
- [82] Android Developers: System requirements [online]. Prístupné 2012-04-23. Dostupné na internete: <<http://developer.android.com/sdk/requirements.html>>.
-

Prílohy

Príloha A: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe, zdrojové kódy riešenia a výsledky meraní.

Príloha B: Používateľská príručka

Príloha C: Systémová príručka

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

METÓDY A TECHNOLOGIE PRE PRIBLIŽNÉ
URČOVANIE POLOHY V INTERIÉROCH BUDOV

Príloha B: Používateľská príručka

7 Používateľská príručka

V tejto kapitole sa nachádza používateľská príručka k implementovanej aplikácii. Kapitola obsahuje definovanie funkcie dodanej aplikácie, požiadavky na jej spustenie na mobilnom zariadení a opisuje používateľské rozhranie a používanie aplikácie.

7.1 Funkcia aplikácie

Aplikácia Blind Spot je praktickým výstupom uskutočneného výskumu a slúži na overenie fungovania metódy korekcie výsledkov pozičného algoritmu. Hlavnou funkciou aplikácie je určovanie polohy v interiéri budov v reálnom čase na základe dostupných údajov o lokálnych bezdrôtových sieťach. Nakoľko aplikácia nekomunikuje so žiadnymi externými modulmi, môžeme ju pokladať za plnohodnotný interiérový pozičný systém, ktorý je zároveň WPS a RTLS.

Aplikácia je určená výhradne na výskumné účely. Z tohto dôvodu poskytuje používateľovi úplný prístup k databáze, mechanizmus na správu referenčných bodov a možnosť importu a exportu údajov. Okrem toho umožňuje zaznamenávať úspešnosť určenia polohy pri testovaní v teréne a pomocou špeciálneho režimu dokáže simulovať výsledky pozičného algoritmu bez potreby reálneho pohybu.

Grafické používateľské rozhranie aplikácie je prispôbené potrebám empirického výskumu. Napriek tomu, že aplikácia je určená pre mobilné zariadenia s pomerne malým rozlíšením obrazovky, dovoľuje v reálnom čase sledovať aktuálnu polohu a smer používateľa a zároveň úspešnosť určovania polohy. Navyše umožňuje meniť vstupné parametre algoritmov aj počas vykonávania.

Nakoľko zámerom bolo vytvoriť účelovú pomôcku určenú na vykonávanie meraní, niektoré kľúčové procesy sú ovládané dotykovými gestami. Používanie aplikácie preto nemusí byť pre neznaleho používateľa zrejmé. V prípade akýchkoľvek nejasností je potrebné hľadať odpovede v tejto používateľskej príručke.

7.2 Súpis obsahu dodávky

V tejto časti sa nachádza zoznam súborov, ktoré sú dodávané spolu s riešením. Pre pochopenie a správne používanie aplikácie je dôležité okrem tejto dokumentácie pochopiť princíp pozičného algoritmu a korekčnej metódy, ktorý je vysvetlený v diplomovej práci. Obsahom dodávky sú nasledovné súbory:

[bin]

```
BlindSpot.apk
database1.json
database2.json
[doc]
Javadoc (dokumentácia)
diplomova_praca.docx
diplomova_praca.pdf
vysledky_merani.xlsx
[src]
BlindSpot (projekt pre Eclipse IDE)
database_schema.json
```

Aplikácia je dodávaná spolu s databázovými súbormi, ktoré umožňujú okamžité používanie v zmapovaných priestoroch Technickej Univerzity v Košiciach. Súbor `database1.json` obsahuje referenčné body pre uskutočnenie testu v rámci 5. poschodia budovy a súbor `database2.json` slúži na vykonanie testu zmeny poschodia. Keďže odtlačky uložených referenčných bodov boli zosnímané v čase vykonania praktického experimentu, pre dosiahnutie porovnateľných výsledkov je potrebné uskutočniť opätovné vytvorenie rádiovej mapy (pozri 7.5.3).

7.3 Požiadavky aplikácie

Požiadavky na technické prostriedky zariadenia, na ktorom má byť aplikácia použitá, vychádzajú z požiadaviek operačného systému Google Android vo verzii 2.3.3 [72]. Aplikácia bola testovaná iba na zariadení HTC Desire HD [64], podpora iných zariadení nie je zaručená. Okrem uvedeného operačného systému je pre zabezpečenie exportu údajov potrebné mať nainštalovaný ľubovoľný softvér na odosielanie e-mailov.

7.3.1 Hardvérové požiadavky

- *Displej* – minimálna veľkosť 2,5" s pomerom strán medzi 4:3 a 16:9.
- *Senzory* – pre fungovanie predikcie pre potrebný magnetometer (kompas).
- *Sieťová karta* – podmienkou je podpora štandardu 802.11 b/g/a/n.
- *Pamäť* – minimálne 150 MB RAM a 1 GB úložného priestoru.

7.3.2 Softvérové požiadavky

- *Operačný systém* - Google Android 2.3.3 alebo vyšší.

- *E-Mailový klient* – napríklad Gmail 2.3.6.

7.4 Inštalácia aplikácie

Aplikácia je určená pre platformu Google Android [73] a je dodávaná vo forme inštalačného súboru s príponou „apk“. Nasledujúce kroky opisujú postup inštalácie na mobilné zariadenie, ktorý vyhovuje požiadavkám uvedeným v 7.3:

- Najskôr je potrebné skopírovať inštalačný súbor „BlindSpot.apk“ na SD kartu zariadenia. Túto akciu je možné vykonať po pripojení zariadenia k počítaču pomocou USB, alebo umiestnením súboru na online úložisko a následným zadaním adresy v prehliadači zariadenia.
- Ďalším krokom je spustenie súboru prostredníctvom súborového manažéra. Súborový manažér Astro [74] je zdarma dostupný v online obchode Google Play a poskytuje požadovanú funkcionality. Súbor je možné spustiť stlačením ikony a výberom možnosti *Open App Manager*.
- Aplikčný manažér následne zobrazí informácie o aplikácii. Po stlačení tlačidla *Install* sa zobrazí ďalšia obrazovka, v ktorej je potrebné potvrdiť použitie využívaných technických prostriedkov. Stlačením tlačidla *Install* v dolnej časti obrazovky sa aplikácia nainštaluje.

Kroky inštalácie sa môžu líšiť v závislosti na použitej modifikácii operačného systému. Vyššie uvedený postup bol vykonaný na zariadení s prispôsobeným grafickým používateľským rozhraním HTC Sense [75] vo verzii 3.0 s anglickou lokalizáciou.

7.5 Použitie aplikácie

Predpokladom používania aplikácie sú základné vedomosti používateľa týkajúce sa operačného systému Google Android. Prvé použitie vyžaduje import databázy, je preto potrebné zabezpečiť prístup k internetu. Spustenie sa uskutočňuje stlačením ikony Blind Spot v hlavnej ponuke programov. Z praktických dôvodov je vhodné umiestniť ikonu aplikácie na domovskú obrazovku systému.

7.5.1 Používateľské rozhranie

Používateľské rozhranie je prispôsobené používaniu na zariadeniach s rozlíšením 960×800 px. Využíva predovšetkým ovládacie prvky, ktoré sú špecifické pre danú platformu. Význam hardvérových tlačidiel počas vykonávania je nasledujúci:

- *Domov* – presunie vykonávanie aplikácie na pozadie.

- *Ponuka* – v hlavnom pohľade zobrazí hlavnú ponuku.
- *Návrat* – zobrazí predchádzajúci pohľad alebo ukončí aplikáciu.
- *Hľadaj* – nevykoná žiadnu akciu, vyhľadávanie nie je podporované.

Aplikácia je v súčasnosti dostupná výhradne v anglickom jazyku a obsahuje dva základné pohľady - hlavný pohľad a ladiaci pohľad. Prechod z hlavného do ladiaceho pohľadu sa uskutočňuje pomocou tlačidla *Tune* v hlavnej ponuke. Prechod z ladiaceho do hlavného pohľadu je možné dosiahnuť stlačením hardvérového tlačidla *Návrat*.

Hlavný pohľad

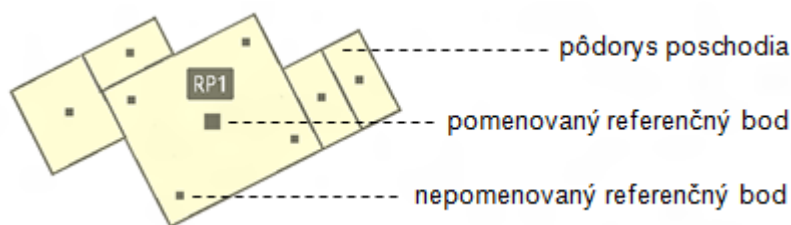
Podstatným komponentom hlavného pohľadu je mapa. Za účelom dosiahnutia globálnej použiteľnosti využíva aplikácia komponent Google Maps [63], ktorý zároveň zabezpečuje základnú interakciu. Posun je možné vykonať ťahaním prstu po obrazovke, zmenu mierky približovaním alebo oddiaľovaním dvoch prstov.

V prípade, ak je určená aktuálna budova, zobrazí sa v hlavnom pohľade ako žltý polygón s tmavými hranami. Súčasne je možné zobraziť iba jedno poschodie budovy, môže sa však skladať z viacerých polygónov. Budova môže mať definovanú okrem obvodu aj vnútornú štruktúru, ktorá je určená dvojicami bodov predstavujúcimi steny. Zobrazenie poschodia však nemá vplyv na výpočet, dôvodom pre vykreslenie interiéru je iba lepšia orientácia pri vytváraní rádiovej mapy. Na Obr. 14 sa nachádza hlavný pohľad aplikácie zobrazujúci časť pôdorysu budovy.



Obr. 24 Hlavný pohľad aplikácie s pôdorysom budovy

Referenčné body priradujú miestam vo fyzickom priestore odtlačky signálu bezdrôtových sietí. Môžu sa nachádzať iba vo vnútri budov a sú na mape zobrazované tmavými štvorcami. Podľa pomenovania rozlišujeme dva typy referenčných bodov. Nepomenované miesta sú zobrazované menšou ikonou, miesta, ktorým bol pri vytváraní priradený názov, sú zobrazované väčšou ikonou a nachádza sa nad nim titulok s daným názvom. Grafická reprezentácia referenčných bodov je znázornená na Obr. 25.



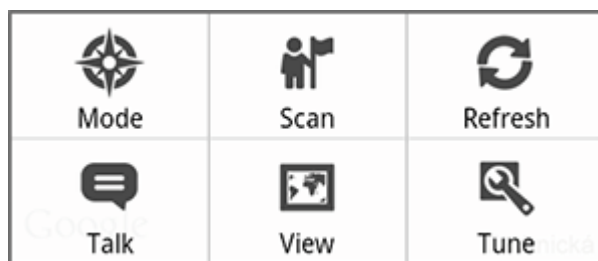
Obr. 25 Grafická reprezentácia poschodia a referenčných bodov

Hlavná ponuka

Stlačením hardvérového tlačidla *Ponuka* počas zobrazenia hlavného pohľadu je možné aktivovať hlavnú ponuku. Táto ponuka je základným prvkom pre komunikáciu používateľa s aplikáciou a obsahuje 6 virtuálnych tlačidiel s ikonami jednotlivých akcií.

Ponuku je možné z obrazovky odstrániť stlačením ľubovoľného miesta na mape alebo hardvérového tlačidla *Návrat*. Tlačidlá ponuky (Obr. 26) majú nasledujúci význam:

- *Mode* – zobrazí kontextovú ponuku pre výber režimu aplikácie.
- *Scan* – zobrazí kontextovú ponuku pre vytvorenie referenčného bodu.
- *Refresh* – nastaví aktívny režim aplikácie bez ohľadu na aktuálny režim.
- *Talk* – aktivuje upozorňovanie na zmenu poschodia syntetickým hlasom.
- *Mute* – aktivuje upozorňovanie na zmenu poschodia syntetickým hlasom.
- *View* – zobrazí kontextovú ponuku pre nastavenia zobrazenia komponentov.
- *Tune* – zobrazí ladiaci pohľad, procesy hlavného pohľadu ostávajú aktívne.



Obr. 26 Hlavná ponuka hlavného pohľadu aplikácie

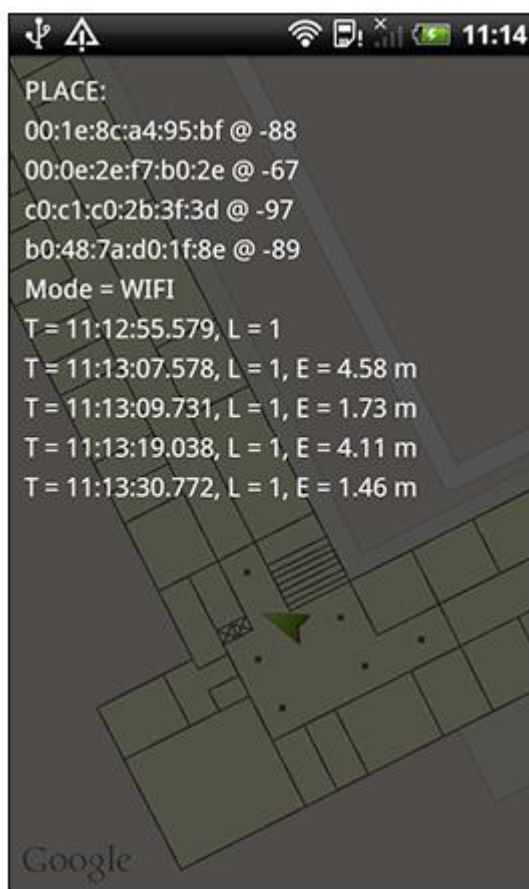
Stavový riadok

Za účelom dosiahnutia čo najlepšej efektivity pri výskume boli implementované dva vlastné komponenty umožňujúce empirickú analýzu výsledkov počas testovania. Prvým z nich je stavový riadok, ktorý je vidieť v hornej časti obrazovky na Obr. 14. Jeho úlohou je zobrazovanie aktuálnej budovy a poschodia, informácií o prebiehajúcom procese a prípadných chybových hlásení. Je možné ho deaktivovať stlačením tlačidiel *Ponuka > View > Status*, rovnakým spôsobom môže byť v prípade potreby opätovne zobrazený. Význam chybových hlásení je vysvetlený v časti 7.6, ostatné hlásenia sa týkajú správneho použitia aplikácie a ich význam je nasledovný:

- *Welcome to Blind Spot !* – uvítacia správa, zobrazí sa po štarte aplikácie.
- *Downloading database...* – informuje o načítavaní databázy z internetu.
- *Database successfully updated !* – informuje o úspešnom načítaní súboru.
- *<budova> @ LEVEL <poschodie>* – aktuálna budova a poschodie.
- *Estimating position...* – informuje o prebiehajúcom určovaní polohy.
- *Position not found !* – zobrazí sa v prípade, ak nebola poloha nájdená.
- *Scanning fingerprint... <číslo>%* – informuje o priebehu snímání odtlačku.

Výstupná konzola

Druhým komponentom implementovaným za účelom okamžitého pozorovania výsledkov určovania polohy je výstupná konzola. Tento komponent je možné zobraziť pomocou tlačidiel *Ponuka > View > Console*. Vykonaním uvedenej akcie však dôjde zároveň k ukrytiu stavového riadku, keďže tieto dva komponenty nie je možné zobraziť súčasne. Z dôvodu častého zobrazovania a ukrývania bola implementovaná skratka. Prepínanie medzi konzolou a stavovým riadkom je možné vykonať pomocou gesta, dvojitým stlačením ľubovoľného miesta na mape mimo pôdorysu budovy. Výstupná konzola aplikácie zobrazená počas aktívneho režimu sa nachádza na Obr. 27.



Obr. 27 Výstupná konzola aplikácie v hlavnom pohľade

Úlohou výstupnej konzoly je uchovávať a zobrazovať záznamy o presnosti odhadu výpočtu. Výhodou je súčasné zobrazenie výstupov a aktuálnej polohy na mape vďaka priehľadnosti tohto komponentu, pričom je neustále zabezpečená interakcia s mapou. Údaje sú do konzoly vkladané počas aktívneho režimu aj v prípade, že nie je aktuálne zobrazená. Okrem toho je v pasívnom režime možné do konzoly vypísať informácie o vybranom referenčnom bode. Všetky zozbierané údaje je potom možné odoslať prostredníctvom e-mailu (pozri 7.5.2).

Ladiaci pohľad

Ladiaci pohľad slúži na nastavenie parametrov aplikácie, pomocou ktorých je možné ovplyvniť spôsob určovania polohy. Rozsah parametrov je založený na reálnych prípadoch použitia, napriek tomu však poskytuje veľký počet možností nastavenia. Parametre aplikácie sú opísané v Tab. 4, pre lepšie pochopenie je potrebné naštudovať diplomovú prácu. Spôsoby nastavenia vzhľadom na používanie metódy korekcie sa nachádzajú v časti 5.1.2. Nakoľko v aplikácii sa používa výhradne anglický jazyk, je potrebné uviesť názvy jednotlivých parametrov v originálnom znení (Tab. 10).

Tab. 10 Pôvodné názvy parametrov aplikácie v anglickom jazyku

Originálny názov	Slovenský preklad
<i>Scan iterations</i>	Počet iterácií
<i>Neighbors count</i>	Počet susedov
<i>Weight factor</i>	Váhový faktor
<i>History size</i>	Veľkosť histórie
<i>Maximum speed</i>	Maximálna rýchlosť
<i>Ignored deflection</i>	Ignorovaná odchýlka
<i>Prediction time</i>	Čas predikcie

Jedným z hlavných zámerov pre vytvorenie aplikácie Blind Spot bolo poukázať na výhody použitia metódy korekcie výpočtu pozičného algoritmu. Táto metóda, taktiež podrobne opísaná v diplomovej práci, sa skladá z dvoch častí, ktoré je možné pomocou vyššie uvedených parametrov ľubovoľne regulovať. Nastavením veľkosti histórie na hodnotu 0 je možné vypnúť algoritmus klasifikácie výsledkov a nastavením času predikcie na hodnotu 0 je možné vypnúť predikciu nasledujúcej polohy.

Interakcia s ladiacim pohľadom je veľmi jednoduchá – je založená na posuvných komponentoch operačného systému Google Android. Zmenu nastavení nie je potrebné žiadnym spôsobom potvrdzovať a prejaví sa okamžite, aj v prípade prebiehajúceho výpočtu aktuálnej polohy. Nastavenia parametrov sú uložené v databáze aplikácie a po opätovnom spustení nadobúdajú požadované hodnoty. Na Obr. 28 sa nachádza ladiaci pohľad pri úplnom použití metódy korekcie výpočtov pozičného algoritmu.



Obr. 28 Ladiaci pohľad aplikácie pre nastavenie parametrov

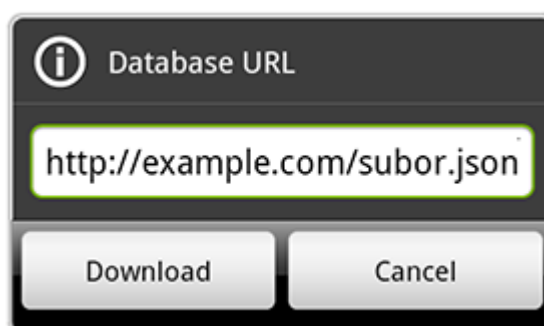
7.5.2 Práca s databázou

Okrem nastavení obsahuje databáza aplikácie aj pozičné údaje pre určovanie polohy, ktoré je možné importovať alebo exportovať vo formáte JSON [66]. Tieto údaje reprezentujú grafickú podobu objektov vykresľovaných na obrazovke a navyše obsahujú odtlačky referenčných miest, podľa ktorých sa uskutočňuje výpočet aktuálnej polohy. Importované údaje alebo uskutočnené zmeny sú do databázy ukladané pri vypnutí, v prípade pádu aplikácie dochádza k obnoveniu predchádzajúcej databázy.

Keďže aplikácia neumožňuje vytváranie pôdorysu budov, je nutné pre jej používanie poskytnúť databázový súbor, ktorý obsahuje minimálne jednu budovu. Pre testovanie v prostredí hlavnej budovy Technickej Univerzity v Košiciach je možné použiť dodané databázové súbory, ktoré sú súčasťou dodávky (časť 7.2). V prípade záujmu o testovanie v inom prostredí je nevyhnutné dodržať štruktúru databázového súboru špecifikovanú v dodanom súbore `database_schema.json`. Opis štruktúry objektov databázy sa nachádza v systémovej príručke (pozri 8.3.4).

Import databázy

Import pozičných údajov do databázy aplikácie vyžaduje pripojenie k internetu. Je možné ho inicializovať podržaním ľubovoľného miesta na mape a výberom položky *Download Database*. Následne sa zobrazí dialógový pohľad pre zadanie umiestnenia súboru v tvare `http://example.com/subor.json`. Týmto spôsobom je možné importovať údaje z existujúcich systémov. Po stlačení tlačidla *Download* sa začne súbor nahrávať do aplikácie a v stavovom riadku sa zároveň zobrazí hlásenie *Downloading Database...* Počas nahrávania databázy nie je možné vykonávať žiadne ďalšie akcie. Po úspešnom nahratí súboru sa zobrazí hlásenie *Database successfully updated !*. Na Obr. 29 sa nachádza dialógový pohľad pre zadanie umiestnenia databázy.



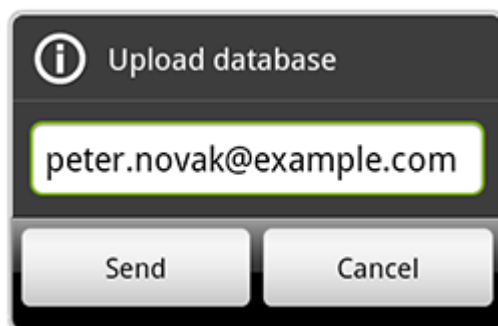
Obr. 29 Dialógový pohľad pre zadanie umiestnenia databázy

Napriek tomu, že aplikácia je riadne odladená a bola používaná počas rozsiahleho testovania, stále existujú prípady, kedy môže dôjsť k nesprávnemu ukončeniu. Jedným z príkladov je odobratie batérie napájajúcej zariadenie. V takom prípade sa pri ďalšom spustení obnoví databáza do stavu, v akom sa nachádzala pri predchádzajúcom spustení aplikácie. Pre úplné uloženie importovanej databázy je potrebné vypnúť aplikáciu stlačením hardvérového tlačidla *Návrat*. Zároveň sa tým uloží aj adresa databázového súboru, takže ju nie je potrebné zadávať pri nasledujúcom importe.

Export databázy

Za účelom exportu databázy pozičných údajov využíva aplikácia predvolený program na odosielanie e-mailových správ. Z tohto dôvodu je potrebné nakonfigurovať e-mailového klienta, ktorému aplikácia odovzdáva údaje vo formáte JSON. Odoslať databázu je možné podržaním ľubovoľného miesta na mape a výberom položky *Upload Database*. Zobrazí sa dialógový pohľad pre zadanie e-mailovej adresy, na ktorú majú byť údaje odoslané. Po stlačení tlačidla *Send* sa vykonávanie aplikácie presunie na pozadie a zobrazí sa e-mailový klient. Po odoslaní správy je možné vykonať návrat do

aplikácie pomocou hardvérového tlačidla *Návrat*. Podobne ako pri importe sa aj v tomto prípade pri vypnutí aplikácie zadaná adresa uloží pre ďalšie použitie. Na Obr. 30 sa nachádza dialógový pohľad pre zadanie adresy pre export údajov.



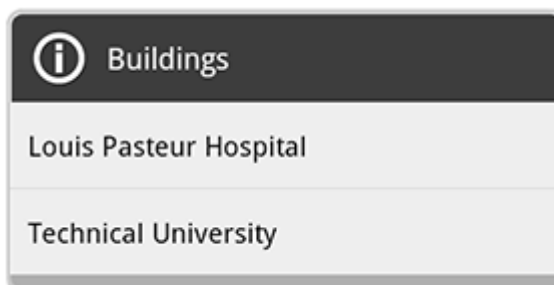
Obr. 30 Dialógový pohľad pre zadanie adresy pre export údajov

Export záznamov

Podobným spôsobom ako v prípade exportu databázy je možné odoslať záznamy nachádzajúce sa vo výstupnej konzole aplikácie. Odoslanie sa inicializuje podržaním ľubovoľného miesta na mape s výberom položky *Upload Database*. Zobrazí sa podobný dialógový pohľad (Obr. 30) a nasledujúci postup je identický s postupom pri exporte pozičných údajov. Adresa príjemcu je zdieľaná s adresou pre export databázy.

7.5.3 Pasívny režim

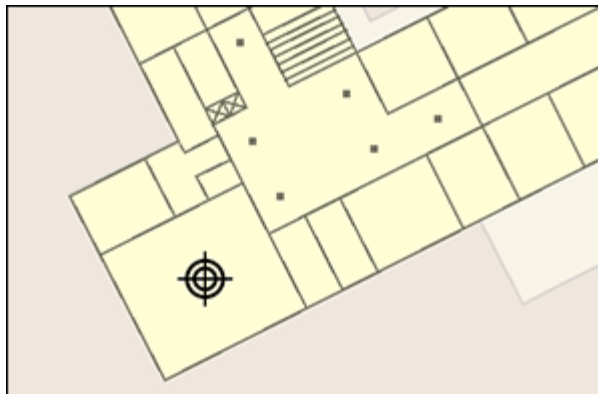
Aplikácia funguje v troch režimoch. Po spustení sa nachádza v pasívnom režime, ktorý je určený na prehliadanie pozičných údajov a vytváranie referenčných miest. Zabezpečuje teda vykonanie tréningovej fázy metódy snímania odtlačkov. Keďže po štarte aplikácie nie je zvolená žiadna budova, je potrebné určiť, ktorú budovu si prajeme zobraziť. Výber budovy sa uskutočňuje podržaním miesta na mape a výberom položky *Select building*. Následne sa zobrazí kontextová ponuka pre výber budovy (Obr. 31).



Obr. 31 Kontextová ponuka pre výber budovy v pasívnom režime

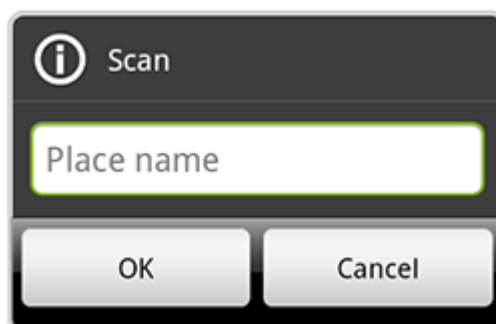
Po stlačení niektorej z položiek nastáva presun mapy na súradnice budovy. Zmenu poschodia je možné uskutočniť podržaním ľubovoľného miesta na grafickom pôdoryse

budovy a výberom položky *Select level*. Pridanie nového referenčného bodu sa vykonáva v dvoch krokoch. Najskôr je potrebné určiť polohu vkladaneého bodu v rámci vykresleného poschodia. Podržaním požadovaného miesta a výberom položky *Move pointer* sa zobrazí ikona terča, predstavujúca pasívny kurzor (Obr. 32).



Obr. 32 Zobrazenie kurzora pre pridávanie referenčných miest

V prípade, ak bola poloha bodu určená nesprávne, je možné vyššie uvedený postup opakovať. Druhým krokom pri pridávaní referenčného bodu je zosnímanie odtlačku okolitých bezdrôtových sietí. Pre tento krok je potrebné, aby bolo zapnuté pripojenie Wi-Fi v nastaveniach mobilného zariadenia, nie je však dôležité, aby bolo zariadenie pripojené k internetu. Stlačením tlačidiel *Ponuka* > *Scan* sa zobrazí dialógový pohľad pre určenie názvu referenčného bodu Obr. 33 – tento údaj je nepovinný. Po stlačení tlačidla *OK* sa inicializuje proces získavania odtlačkov. Trvanie procesu je závislé na nastavení parametru *Scan iterations*, pričom vyšším počtom iterácií pri snímaní v pasívnom režime je možné dosiahnuť presnejšie výsledky. Priebeh procesu zobrazený pomocou stavového riadku. Pri snímaní je potrebné nemeniť reálnu polohu a z dôvodu usmernenej antény mobilného zariadenia je vhodné otáčať sa okolo vlastnej osi.

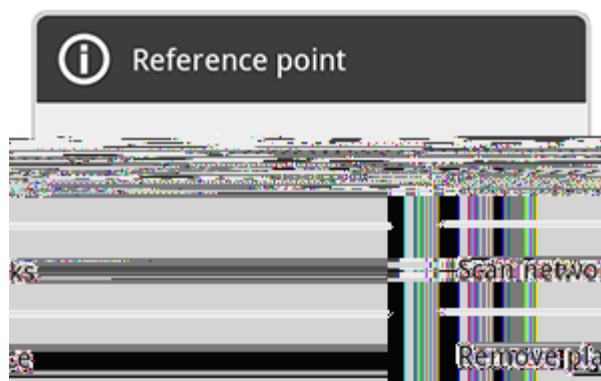


Obr. 33 Dialógový pohľad pre určenie názvu referenčného miesta

Po ukončení snímania sa vytvorený referenčný bod zobrazí na mape (Obr. 25). Pasívny režim dovoľuje vykonávať tri akcie spojené s existujúcimi referenčnými bodmi.

Po stlačení ikony referenčného bodu sa zobrazí kontextová ponuka (Obr. 34), ktorá obsahuje nasledujúce položky:

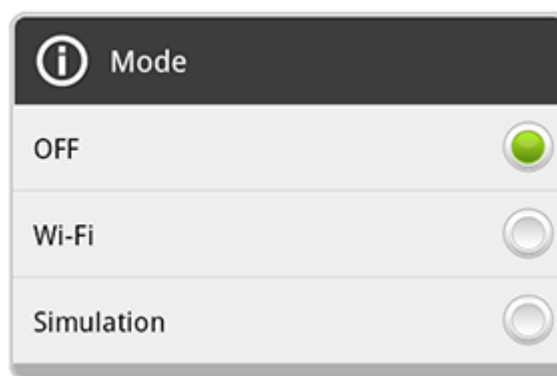
- *Show networks* – vypíše relevantné údaje o odtlačku do výstupnej konzoly.
- *Scan networks* – uskutoční nové snímanie, ktorým prepíše pôvodný odtlačok.
- *Remove place* – odstráni referenčný bod z databázy bez nutnosti potvrdenia.



Obr. 34 Kontextová ponuka pre správu referenčného bodu

7.5.4 Aktívny režim

Aktívny režim umožňuje určenie aktuálnej polohy porovnaním údajov v rádiovkej mape a aktuálne zosnímaného odtlačku sietí. Rovnako ako pri snímaní odtlačkov v pasívnom režime je preto potrebné mať aktivované pripojenie Wi-Fi v nastaveniach mobilného zariadenia. Zmena režimu sa uskutočňuje pomocou tlačidiel *Menu > Mode*. Zobrazená kontextová ponuka umožňuje prechod medzi režimami aplikácie (Obr. 35).



Obr. 35 Kontextová ponuka pre zmenu aktuálneho režimu

Okrem toho je možné aktívny režim vyvolať stlačením tlačidiel *Menu > Refresh*. Táto akcia je pri menšom počte krokov ekvivalentná s použitím kontextovej ponuky.

Po prechode do aktívneho režimu sa začína opakovaný výpočet aktuálnej polohy, ktorý sa uskutočňuje na základe nastavených parametrov (Tab. 4). V prípade, ak nie je

zvolená žiadna budova, dochádza k automatickému výberu podľa nájdenej polohy. Aktívny kurzor zobrazuje aktuálne vypočítanú polohu a smer na mape (Obr. 36).



Obr. 36 Zobrazenie aktívneho kurzora počas určovania polohy

Pozícia aktívneho kurzora sa mení automaticky v závislosti na výpočte. Zároveň dochádza v prípade potreby k automatickej zmene poschodia. Počas aktívneho režimu nie je možné meniť referenčné body, namiesto toho sa stlačením ikony referenčného bodu vykoná záznam do výstupnej konzoly v nasledujúcom tvare:

$T = 16:34:25.353, L = 3, E = 4,26 \text{ m}$

Kde T je aktuálny čas s presnosťou na milisekundy, L je číslo poschodia a E je veľkosť chyby s metroch. Veľkosť chyby je počítaná ako absolútna vzdialenosť medzi súradnicami referenčného bodu a súradnicami aktuálneho umiestnenia kurzora. Pri zmene poschodia je vytvorený záznam automaticky. Tento záznam však neobsahuje veľkosť chyby – slúži na testovanie schopnosti aplikácie rozlišovať poschodia.

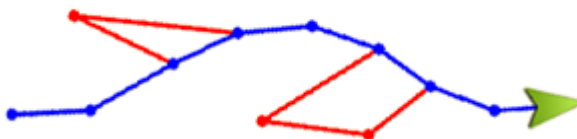
Uvedeným spôsobom je možné získať údaje pre analýzu presnosti pozičného algoritmu a pomocou zmeny parametrov (Tab. 4) porovnať úspešnosť metódy korekcie výpočtov. Pre dosiahnutie čo najlepších výsledkov určovania polohy počas aktívneho režimu je potrebné venovať zvýšenú pozornosť rozmiestneniu referenčných bodov vo fyzickom priestore, ako aj prispôbeniu parametrov. Prechod z aktívneho do pasívneho režimu sa v nasledujúcich prípadoch uskutočňuje automaticky:

- a) V databáze sa nenachádza žiadny porovnateľný odtlačok.
- b) Používateľ zmení poschodie manuálnym spôsobom.
- c) Používateľ nastaví polohu pasívneho kurzora.
- d) Používateľ inicializuje snímanie odtlačku.

7.5.5 Simulačný režim

Za účelom jednoduchého a praktického testovania metódy korekcie výsledkov poskytuje aplikácia simulačný režim. Tento režim umožňuje pomocou používateľom zadaných vstupov nahradiť výpočet aktuálnej polohy pozičným algoritmom. Stlačením ľubovoľného miesta na mape v interiéri budovy sú súradnice bodu odovzdané algoritmu klasifikácie výsledkov. Následne je určená poloha so zohľadnením reálneho plynutia času, podľa parametrov *Maximum speed* a *Ignored deflection*. V prípade, ak je hodnota parametru *Prediction time* väčšia ako 0, je pri výpočte vykonaná predikcia nasledujúcej polohy so zohľadnením priestorovej orientácie mobilného zariadenia.

Aplikácia umožňuje zobrazenie histórie záznamov o predchádzajúcich polohách. Toto zobrazenie je možné zapnúť alebo vypnúť stlačením tlačidiel *Ponuka > View > History*. Okrem simulačného režimu je možné históriu zobrazit' aj v aktívnom režime. Záznamy sú dvojakého typu a používajú sa na filtrovanie odchýlky určovania polohy algoritmom klasifikácie výsledkov. Princíp klasifikácie je podrobne opísaný v diplomovej práci. Na Obr. 37 sa nachádza grafická reprezentácia predchádzajúcich výsledkov. Modrá krivka predstavuje zlepšenie dosiahnuté pomocou metódy korekcie a je viditeľným dôkazom prínosu predkladaného riešenia.

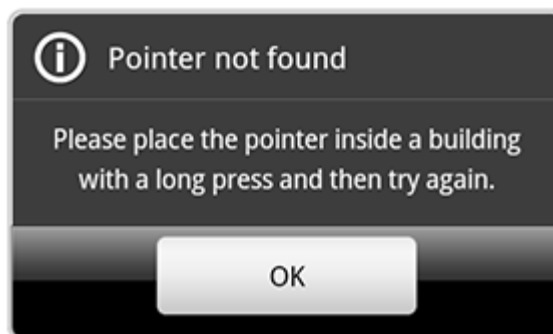


Obr. 37 Zobrazenie histórie výsledkov v simulačnom režime

7.6 Chybové hlásenia

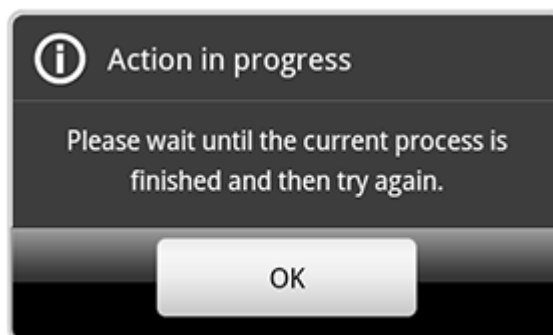
Počas vykonávania aplikácie môže v prípade nesprávneho zaobchádzania dôjsť k zobrazeniu chybových hlásení. Hlásenie *Database update not successful !* sa zobrazí v stavovom riadku v prípade, ak skopírovanie databázy z externého zdroja zlyhalo. Dôvodom môže byť okrem chyby prenosu aj nesprávny formát databázového súboru.

V prípade, ak nebol na mape umiestnený pasívny kurzor, stlačením tlačidla *Scan* v hlavnej ponuke je vyvolané upozornenie, ktoré je vidieť na Obr. 38. Upozornenie sa nezobrazí v prípade, ak sa na mape nachádza aktívny kurzor, pretože v takej situácii sa najskôr uskutoční prechod do pasívneho režimu, t.j. nastaví sa pasívny kurzor.



Obr. 38 Chybové hlásenie v prípade nedefinovaného umiestnenia bodu

Posledným chybovým hlásením, s ktorým je možné sa pri používaní aplikácie stretnúť, je hlásenie *Action in progress* (Obr. 39). Zobrazí sa v prípade, ak sa používateľ pokúša vykonať akciu pred ukončením prebiehajúceho procesu.



Obr. 39 Chybové hlásenie v prípade neukončenia prebiehajúceho procesu

Okrem chybových hlásení je potrebné kontrolovať stav batérie mobilného zariadenia. Operačný systém Google Android vo všeobecnosti nedovoľuje využívanie niektorých zdrojov, ak je stav batérie kritický – menej ako 5%. V takom prípade nie je možné vykonávať úlohy spojené so snímaním odtlačkov bezdrôtových sietí.

7.7 Obmedzenia

V súčasnosti je aplikácia chápaná ako prostriedok pre overenie metódy korekcie výpočtov. Dostupná funkcionálna preto nepokrýva všetky prípady použitia, ktoré by mohli byť pre výskumné účely praktické. Ďalšia práca na projekte sa bude týkať práve rozšírenia možností za účelom dosiahnutia všeobecne využiteľného nástroja. Medzi podstatné obmedzenia aplikácie v súčasnosti patria predovšetkým:

- Nedostatočná presnosť pri umiestňovaní pasívneho kurzora.
- Nemožnosť premenovania existujúcich referenčných miest.
- Nemožnosť vytvárania alebo zmeny pôdorysu budovy.
- Absencia možnosti vyhľadávania referenčných miest.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

METÓDY A TECHNOLOGIE PRE PRIBLIŽNÉ
URČOVANIE POLOHY V INTERIÉROCH BUDOV

Príloha C: Systémová príručka

8 Systémová príručka

Táto kapitola obsahuje systémovú príručku dodanej aplikácie. Nachádza sa tu formulácia cieľov a analýza riešenia, vysvetlenie fungovania podstatných komponentov a tried aplikácie, opis štruktúry databázy a návod na preklad zdrojových kódov.

8.1 Formulácia úlohy

Znenie úlohy: „Navrhnuť metódu pre približné určenie aktuálnej polohy osoby v interiéri budovy na základe existujúcej infraštruktúry lokálnych bezdrôtových sietí a vytvoriť aplikáciu pre mobilné zariadenie implementujúcu navrhnutú metódu.“

Pre dosiahnutie vyššie uvedeného cieľa bolo potrebné analyzovať rôzne spôsoby určovania polohy v interiéri. Po získaní potrebných vedomostí bolo implementovaných niekoľko aplikácií overujúcich jednotlivé koncepty a možnosti mobilných zariadení. Na základe overenia predpokladov bolo definovanie zadania rozšírené nasledovne:

- Platforma Google Android [73] je v súčasnej dobe najrozšírenejšou mobilnou platformou, ktorá zároveň poskytuje prístup k systémovým prostriedkom zariadenia. Programovací jazyk Java umožňuje využitie množstva dostupných knižníc. Aplikácia bude preto implementovaná práve pre túto platformu.
- Vybraná platforma podporuje aplikačné programovacie rozhranie Google Maps [63]. Z tohto dôvodu je vhodné využiť možnosti dodaného komponentu a implementovať grafické používateľské rozhranie pre zobrazovanie aktuálnej polohy a priestorovej orientácie používateľa na mape v reálnom čase.
- Mobilné zariadenie HTC Desire HD [64] obsahuje vstavaný magnetometer, ktorý môže byť použitý za účelom zlepšenia výsledkov určovania polohy.

8.2 Analýza riešenia

Úlohou aplikácie Blind Spot je určovanie polohy používateľa v interiéri budov využitím informácií o lokálnych bezdrôtových sieťach ako jediného zdroja údajov. Keďže umiestnenie prístupových bodov nie je známe, nie je možné použiť geometrický výpočet. Diplomová práca vysvetľuje princíp metódy snímania odtlačkov intenzity signálu bezdrôtových sietí, ktorá porovnaním aktuálneho odtlačku s vopred získanými údajmi dokáže vyhodnotiť polohu. Navrhnutá metóda určovania polohy je preto založená na metóde snímania odtlačkov.

Pri návrhu riešenia bolo dôležité zohľadniť potrebu mechanizmu umožňujúceho zber údajov počas tréningovej fázy. Za účelom jednoznačného rozlíšenia procesov aplikácie bolo preto vykonávanie rozdelené na tri režimy. Pasívny režim slúži na prehliadanie existujúcich údajov a vytváranie referenčných bodov, aktívny režim je určený na zistenie aktuálnej polohy a simulačný režim poskytuje spôsob pre overenie fungovania metódy korekcie výpočtov bez potreby testovania v teréne. Spôsob použitia jednotlivých režimov je opísaný v používateľskej príručke (príloha B).

Aplikácia je určená na výskumné účely, predovšetkým na overenie navrhutej pozičnej metódy. Nie je preto potrebné implementovať automatickú správu pozičných údajov – import a export databázy bude vykonávaný manuálne. Pozičné údaje obsahujú okrem referenčných bodov priradujúcich odtlačkom sietí geografické súradnice aj údaje pre vykreslenie pôdorysu budov. Zobrazenie interiéru budovy je dôležité pri vytváraní referenčných miest v prípade, ak chceme merať absolútnu hodnotu chyby.

Podstatnou podmienkou je využívanie aplikácie na mobilnom zariadení s relatívne malým rozlíšením obrazovky. Na jednej strane bolo dôležité navrhnuť vhodné grafické používateľské rozhranie, okrem toho však operačný systém Google Android dovoľuje odovzdávať používateľovi informácie pomocou syntetického hlasu.

8.3 Opis aplikácie

Implementovaná aplikácia spĺňa všetky požiadavky definované pri návrhu metódy v kapitole 3.1 diplomovej práce. V uvedenej kapitole sú zároveň vysvetlené podrobnosti spojené s návrhom aplikácie, jej fungovaním a určovaním polohy použitím metódy korekcie výsledkov. Táto kapitola systémovej príručky ozrejmuje vykonávanie aplikácie z technického hľadiska. Okrem toho je podstatným zdrojom informácií dodaná dokumentácia Javadoc [76].

8.3.1 Princíp fungovania

Nakoľko fungovanie aplikácie sa zakladá na metóde snímania odtlačkov signálu bezdrôtových sietí, rozlišujeme počas vykonávania dva základné procesy – vytváranie rádiovkej mapy a určovanie aktuálnej polohy. Každý z uvedených procesov vyžaduje prístup k informáciám zariadenia, týkajúcim sa dostupných bezdrôtových sietí. Z tohto dôvodu sa v konfiguračnom súbore aplikácie `AndroidManifest.xml` nachádza nastavenie `android.permission.ACCESS_WIFI_STATE`. Po získaní aktuálneho

odtlačku pomocou objektu triedy `WifiReceiver` (vysvetlenie jednotlivých tried sa nachádza v 8.3.3) nasleduje spracovanie odtlačku jedným z dvoch spôsobov:

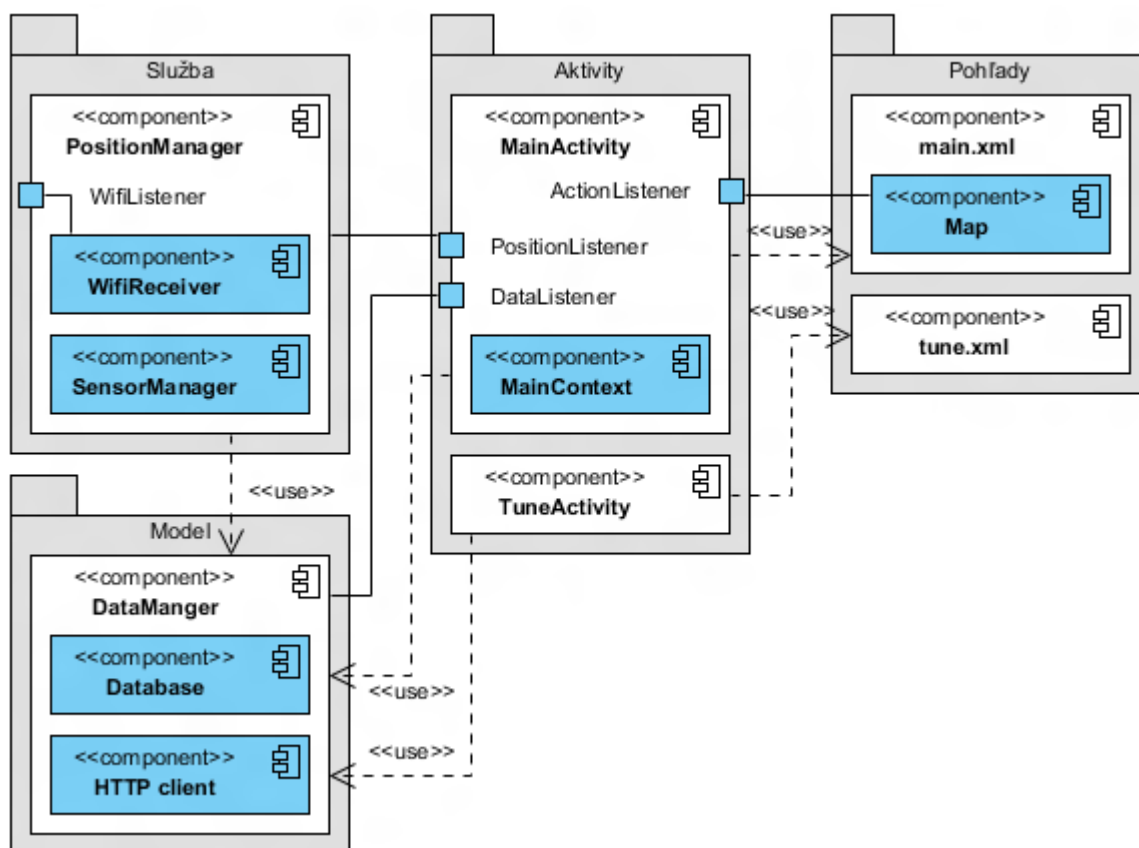
- a) Odtlačok je uložený do databázy v rámci referenčného bodu (pasívny režim).
- b) Odtlačok je porovnaný s databázou kvôli určeniu polohy (aktívny režim).

V prvom prípade sa okamžite po uložení odtlačku prekreslí vrstva mapy nazvaná `PlacesOverlay`, ktorá je zodpovedná za zobrazovanie referenčných bodov. Ak sa jedná o snímanie odtlačku v aktívnom režime, trieda `PositionManager` určí aktuálnu polohu pomocou pozičného algoritmu, prípadne metódy korekcie výsledkov, a výsledná poloha je zobrazená prekreslením vrstvy mapy nazvanej `PointerOverlay`, ktorej úlohou je zobrazovanie aktívneho kurzora. Prekresľovanie aktívneho kurzora sa uskutočňuje aj ako reakcia na zmenu priestorovej orientácie zariadenia, maximálne každých 100 ms. Informáciu o aktuálnej orientácii sprostredkúva objekt triedy `SensorManager`.

Aplikácia nevyužíva za účelom určovania polohy žiadne ďalšie informácie, výpočet sa uskutočňuje výhradne na základe sily signálu prístupových bodov štandardu Wi-Fi 802.11 [77], resp. aktuálnej orientácie získanej z magnetometra zariadenia.

8.3.2 Architektúra aplikácie

Architektúra vychádza z návrhového vzoru MVC (z angl. Model View Controller). Na platforme Android zastupujú úlohu riadiacich tried takzvané „aktivity“. Hlavnou aktivitou aplikácie je `MainActivity`, ktorá je zodpovedná za zobrazenie hlavného pohľadu definovaného súborom `main.xml`. Podobne sa ladiaca aktivita `TuneActivity` zaoberá zobrazovaním ladiaceho pohľadu, ktorý je určený súborom `tune.xml`. Model aplikácie predstavujú databázové objekty, ktoré spravuje manažér údajov – objekt triedy `DataManager`. Okrem komponentov vzoru MVC je vykonávanie aplikácie závislé na službe pre určovanie polohy. Túto úlohu zastupuje manažér polohy – objekt triedy `PositionManager`. Na Obr. 13 sa nachádza diagram základných komponentov aplikácie s názvami tried.



Obr. 40 Diagram komponentov aplikácie s názvami tried

Komunikácia jednotlivých komponentov sa uskutočňuje prevažne na základe registrovania tried ako poslucháčov. Týmto spôsobom je zabezpečené, že pri zmene údajov v databáze hlavná aktivita inicializuje prekreslenie potrebných vrstiev v mape. Zároveň je hlavná aktivita zodpovedná za vykonávanie akcií vyvolaných gestami používateľa a spracovanie údajov získaných od manažéra polohy. Manažér polohy je zasa poslucháčom vlastného objektu triedy `WifiReceiver`, od ktorého získava aktuálne zosnímané odtlačky.

8.3.3 Úloha základných tried

Po štarte aplikácie je vytvorený objekt triedy `MainActivity`, ktorý inicializuje ostatné základné komponenty. Účel komponentov v kontexte vykonávania aplikácie je opísaný v diplomovej práci. V tejto časti sa nachádza vysvetlenie dôležitých úloh základných tried prostredníctvom špecifikácie kľúčových metód.

MainActivity

Hlavná aktivita obsahuje hlavný kontext aplikácie. Kontext (trieda `Context`) sa na platforme Android používa na uskutočňovanie systémových volaní, napríklad pre vypísanie textovej správy na obrazovku zariadenia. Hlavná aktivita používa kontext

predovšetkým na zabezpečenie prístupu údajového manažéra k databázovému súboru, registráciu vlastnej služby a vytváranie dialógových pohľadov.

Okrem toho obsahuje hlavná aktivita metódy spojené so životným cyklom aplikácie. Metóda `onCreate(Bundle bundle)` je prvou metódou vykonávanou bezprostredne po vytvorení aktivity. Jej úlohou je zabezpečiť inicializáciu objektov potrebných pre správne fungovanie programu. Ide predovšetkým o mapu (trieda `Map`), manažéra údajov (trieda `DataManager`), manažéra zvukov (trieda `SoundManager`) a manažéra polohy (trieda `PositionManager`). Pred ukončením hlavnej aktivity a teda aj celej aplikácie je zavolaná metóda `onDestroy()`, ktorá odregistrovuje manažéra zvukov, odpojí viazanú službu manažéra polohy a uzavrie databázu.

Dôležitou funkciou hlavnej aktivity je tiež správa hlavnej ponuky. Po stlačení hardvérového tlačidla *Ponuka* je zavolaná metóda `onPrepareOptionsMenu(Menu menu)`, pomocou ktorej je možné upraviť vzhľad tlačidiel ponuky, napríklad označenie položky aktuálneho režimu. Metóda `onCreateOptionsMenu(Menu menu)` vzápätí vytvorí hlavnú ponuku na základe zdrojového súboru `menu.xml` a upravených vlastností. Hlavná aktivita je implicitne poslucháčom stlačenia tlačidla hlavnej ponuky, reagujúc implementáciou metódy `onOptionsItemSelected(MenuItem item)`.

TuneActivity

Úlohou ladiacej aktivity je sprostredkovanie informácie o aktuálnom nastavení parametrov a možnosti ich úpravy. Metóda `onCreate(Bundle bundle)` nastaví hodnoty posuvných komponentov na základe hodnôt uložených v databáze. Pri zmene nastavenia vykoná uloženie nových hodnôt volaním metódy údajového manažéra `setSetting(String key, Object value)`.

DataManager

Manažér údajov je z dôvodu jednoduchšieho referencovania implementovaný podľa návrhového vzoru „singleton“. Jeho úlohou je zabezpečovať prístup k lokálnym údajom, import databázy z externého zdroja a odosielanie údajov pomocou e-mailového klienta mobilného zariadenia. Štruktúrou a spôsobom uloženia údajov sa budeme bližšie zaoberať v časti 8.3.4 a 8.3.5.

Keďže databáza aplikácie je pomerne jednoduchá, nie je potrebné používať zložitý databázový model. Celý obsah databázy je pri prvom spustení nahratý do premennej typu `Database`. Prístup objektov k údajom je uskutočňovaný pomocou prístupových

metód `getSetting(String key)` na získanie hodnoty požadovaného nastavenia a `getBuildings()` na získanie poľa všetkých budov v databáze (pozri 8.3.4).

Import databázy je vykonávaný asynchrónnym volaním zadanej adresy súboru vo formáte JSON [66]. Na preklad získaného reťazca do databázových objektov sa používa knižnica Google GSON [67]. Výhodou je fakt, že nie je potrebné vytvárať explicitné mapovanie štruktúry objektov – objekty sú mapované automaticky podľa názvov tried. Za účelom exportu databázy alebo záznamov používa manažér údajov prednastavený e-mailový softvér mobilného zariadenia. V prípade exportu databázy je najskôr vykonaný preklad lokálnych objektov späť do formátu JSON.

PositionManager

Manažér polohy je implementovaný ako viazaná služba [68]. Po spustení aplikácie sa o jeho vytvorenie postará hlavná aktivita vytvorením spojenia `ServiceConnection` a nastavením referencie prepísaním metódy `onServiceConnected(ComponentName className, IBinder service)`. Pred ukončením aplikácie dochádza k odpojeniu služby v metóde `onServiceDisconnected(ComponentName className)`.

Manažér polohy ukladá informáciu o aktuálnej polohe v lokálnej premennej typu `Position` (pozri 8.3.4). Čítanie aktuálnej hodnoty sa vykonáva pomocou prístupovej metódy `getCurrentPosition()`. Okrem toho je umožnené nastavovať hodnoty volaním metód `setCurrentPosition(Position currentPosition)`, alebo ďalších metód pre nastavenie aktuálnej budovy, poschodia, súradníc a orientácie.

Dôležitou úlohou manažéra polohy je tiež uchovávanie informácie o aktuálnom režime. Zmena režimu sa uskutočňuje volaním metódy `setCurrentMode(Mode mode)`, kde `Mode` je verejný enumeračný typ s možnými hodnotami `OFF`, `WIFI` a `SIMULATION`, prislúchajúcimi pasívnemu, aktívnemu a simulačnému režimu. Pri prechode medzi režimami pozičný manažér zabezpečí registráciu, resp. odregistrovanie počúvania zmeny orientácie pomocou kompasu a nastaví, resp. odstráni spätné volanie úlohy `determinePositionTask`, ktorá uskutočňuje výpočet aktuálnej polohy.

Podstatnými metódami pri určovaní polohy sú `determinePosition(Building building, ArrayList<AccessPoint> currentFingerprint)`, ktorá vykonáva výpočet pomocou algoritmu WkNN, `isFineRecord(Record record)`, ktorá filtruje výstupné údaje pozičného algoritmu metódou klasifikácie výsledkov a metóda `calculatePrediction(Record record)`, ktorá na základe určenej polohy

a histórie výsledkov predpovedá nasledujúcu polohu. Okrem toho obsahuje manažér polohy aj pomocné metódy súvisiace s kalkuláciou výpočtu. Po určení polohy je zavolaná príslušná metóda poslucháča polohy, napríklad `positionListener.onLevelChanged(currentPosition)` pri zmene poschodia.

WifiReceiver

Trieda `WifiReceiver` vykonáva úlohu prijímača aktuálneho odtlačku sily signálu dostupných prístupových bodov. Rozširuje preto triedu `BroadcastReceiver` a obsahuje premennú enumeračného typu `Task`, ktorá nadobúda hodnotu `READY`, `DETERMINE`, `ADDPLACE` alebo `SCANPLACE`, podľa aktuálne prebiehajúceho procesu.

Získanie odtlačku sa inicializuje metódou `scanFingerprint()` pri určovaní aktuálnej polohy, `scanFingerprint(String placeName)` pri vytváraní nového referenčného bodu a `scanFingerprint(Place place)` pri prepise odtlačku bodu, ktorý sa už v databáze nachádza. V prvom prípade sa priemeruje počet posledných zapamätaných odtlačkov podľa nastavenia parametru *Scan Iterations*, v ostatných prípadoch sa snímanie za účelom výpočtu priemernej hodnoty uskutočňuje cyklicky s odstupom 2 sekundy, počet opakovaní je taktiež rovný *Scan Iterations*. Výsledný odtlačok je predaný poslucháčovi Wi-Fi, teda manažérovi polohy, volaním metódy `onFingerprintReceived(ArrayList<AccessPoint> fingerprint)`.

Map

Trieda `Map` je rozšírením triedy `MapView` a sprostredkúva grafický výstup zobrazovaním vrstiev s rôznou informačnou hodnotou. Po prvom zobrazení pohľadu dochádza k inicializácii vrstiev rôznych typov. Jednotlivé vrstvy rozširujú buď triedu `Overlay`, alebo triedu `ItemizedOverlay<OverlayItem>`. Zároveň trieda `Map` zabezpečuje zobrazovanie, resp. skrývanie vrstiev pri približovaní, resp. oddiaľovaní mapy. Obnovenie zobrazenia sa uskutočňuje volaním metódy `refreshOverlays()`. Význam jednotlivých vrstiev je nasledovný:

- 8) `FootprintOverlay` – vonkajší pôdorys budovy, zobrazený ako množina polygónov spájajúcich body definované v databázovom objekte typu `Level`.
- 9) `RoomsOverlay` – vnútorný pôdorys budovy, zobrazený ako množina čiar spájajúcich dvojice bodov definovaných v databázovom objekte typu `Level`.
- 10) `PlacesOverlay` – uložené referenčné body, zobrazené ako tmavé štvorce s súradnicami definovanými v databázových objektoch, ktoré sú typu `Place`.

- 11) `HistoryOverlay` – história aktuálnej polohy, zobrazená ako dvojica kriviek podľa záznamov uložených manažérom polohy v objekte typu `History`.
- 12) `PointerOverlay` – aktuálna poloha a smer, zobrazená ako zelená šípka na súradniciach uložených manažérom polohy v objekte typu `Position`.
- 13) `TargetOverlay` – ukazovateľ v pasívnom režime, zobrazený ako čierny terč na súradniciach definovaných podľa vstupu používateľa pomocou gesta.
- 14) `GestureOverlay` – rozoznávanie gest používateľa, táto vrstva nezobrazuje žiadny grafický prvok, pri dotyku vykonáva volanie metódy poslucháča akcie.

Ostatné triedy

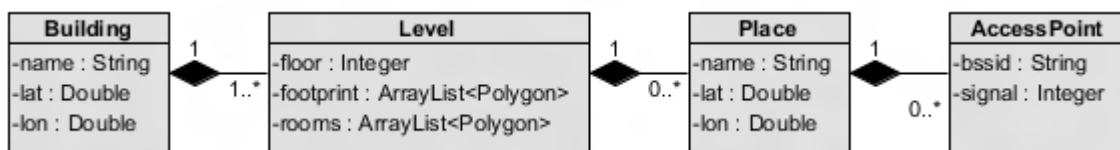
Význam ostatných tried je zrejmý z komentárov dodanej dokumentácie Javadoc, okrem toho sa v Tab. 4 nachádza stručné zhrnutie ich významu (funkcie).

Tab. 11 Stručné vysvetlenie funkcie niektorých tried aplikácie

Trieda	Funkcia
<code>ResultComparator</code>	Implementuje <code>Comparator<Result></code> a slúži na porovnanie vzdialeností odtlačkov v signálovom priestore.
<code>SoundManager</code>	Implementuje <code>TextToSpeech.OnInitListener</code> a používa sa na výstup informácií pomocou syntetického hlasu.
<code>StatusBar</code>	Rozširuje triedu <code>TextView</code> o špecifické operácie spojené s vypisovaním textových informácií do stavového riadku.
<code>Console</code>	Rozširuje triedu <code>TextView</code> o funkcionality automatického posúvania na posledný riadok pri pridaní nového textu.

8.3.4 Štruktúra objektov databázy

Databáza aplikácie je reprezentovaná objektom triedy `Database`, ktorý obsahuje štruktúru pozičných údajov `buildings` typu `ArrayList<Building>` a množinu nastavení parametrov `settings` typu `Hashtable<String, Object>`. Nastavenia môžu obsahovať ľubovoľný objekt, v zásade sa ale ukladajú iba číselné hodnoty.



Obr. 41 Štruktúra pozičných databázových objektov

Štruktúra pozičných údajov (Obr. 41) zodpovedá reálnej štruktúre objektov vo fyzickom priestore. Každá budova (trieda `Building`) je definovaná názvom a súradnicami pre približnú lokalizáciu a obsahuje jedno alebo viac poschodí. Poschodie (trieda `Level`) je charakterizované vertikálnou úrovňou a obsahuje vonkajší pôdorys budovy, pôdorys interiéru a referenčné body. Pôdorys budovy je uložený v premennej `footprint` typu `ArrayList<Polygon>` a pôdorys interiéru sa nachádza v premennej `rooms`, taktiež typu `ArrayList<Polygon>`. Trieda `Polygon` je zapúzdrením zoznamu geografických súradníc `MapPoint`. Referenčný bod (trieda `Place`) obsahuje okrem súradníc aj nepovinný názov `name` typu `String` a odtlačok `fingerprint` reprezentovaný množinou typu `ArrayList<AccessPoint>`, kde `AccessPoint` je triedou priradujúcou prístupovému bodu absolútnu hodnotu sily signálu v dBm.

Nakoľko pozičné objekty sú počas prenosu databázy prekladané do formátu JSON, je možné vyjadriť štruktúru údajov aj pomocou schémy definovanej v [78]. Schéma prislúchajúca štruktúre databázových objektov aplikácie Blind Spot predstavuje pole budov a nachádza sa v súbore `database_schema.json`, ktorý je súčasťou dodávky. Pre jej naštudovanie a kontrolu vlastnej schémy v prípade záujmu o vytvorenie databázového súboru je vhodné použiť nástroj JSON Schema.net [79].

Okrem vyššie uvedených databázových objektov používa aplikácia v procese určovania polohy aj pomocné objekty, ktorých význam sa nachádza v Tab. 12.

Tab. 12 Stručné vysvetlenie významu pomocných objektov

Trieda	Význam
<code>Position</code>	Zapúzdruje informácie o aktuálnej polohe, ktoré pozostávajú z aktuálnej budovy, poschodia, súradníc a orientácie.
<code>Result</code>	Používa sa pozičným algoritmom pri výpočte k-najbližších susedov pre zoradenie výsledkov v signálovom priestore.
<code>Record</code>	Predstavuje výsledok pozičného algoritmu, ktorý je filtrovaný algoritmom klasifikácie a upravovaný vzťahom predikcie.
<code>History</code>	Zapúzdruje dve množiny predchádzajúcich výsledkov typu <code>ArrayList<Record></code> a kontroluje ich maximálnu veľkosť.

8.3.5 Perzistovanie do databázy

Databázové objekty, ktoré sa ukladajú do databázového súboru, rozširujú triedu `Persistent`, implementovanú externou knižnicou `Perst` [65]. Pre uloženie teda nie je potrebné vykonávať preklad objektov na entity databázy. Namiesto toho sa objekty ukladajú priamym perzistovaním do súboru `data.db`, umiestneného v pieskovisku aplikácie a referencovaného pomocou objektu typu `Storage`.

8.4 Preklad aplikácie

Kompilácia aplikácie vyžaduje splnenie všetkých podmienok, uvedených v tejto kapitole, teda prítomnosť zdrojových textov (časť 8.4.1), externých knižníc (časť 8.4.2) a splnenie požiadaviek na technické (časť 8.4.3) a programové prostriedky (časť 8.4.4). Po načítaní projektu do vývojového prostredia Eclipse IDE je možné uskutočniť preklad stlačením klávesovej skratky `CTRL + F11`. Podrobné informácie o používaní Eclipse IDE sú dostupné v [80]. Kompilácia sa uskutočňuje buď použitím emulátora mobilného zariadenia, alebo priamo na mobilné zariadenie, pripojené pomocou portu USB.

8.4.1 Zoznam zdrojových textov

Zdrojové texty sú súčasťou prílohy A. V tejto časti sa nachádza zoznam súborov podľa umiestnenia v jednotlivých priečiňkoch dodaného projektu.

```
.classpath
.project
AndroidManifest.xml
project.properties
[lib]
    android-async-http-1.3.1.jar
    gson-2.1.jar
    perst.jar
[res]
    [drawable-hdpi]
        ic_launcher.png
        ic_menu_mode.png
        ic_menu_mute.png
        ic_menu_refresh.png
```

```
    ic_menu_scan.png
    ic_menu_talk.png
    ic_menu_tune.png
    ic_menu_view.png
    ic_pin_place.png
    ic_pointer.png
    ic_target.png
[drawable-ldpi] (rovnaké ako v drawable-hdpi)
[drawable-mdpi] (rovnaké ako v drawable-hdpi)
[layout]
    main.xml
    menu.xml
    tune.xml
[values]
    strings.xml
[src]
    [mapz]
        [blindspot]
            MainActivity.java
            TuneActivity.java
            WifiReceiver.java
        [helper]
            ResultComparator.java
        [listener]
            ActionListener.java
            DatabaseListener.java
            PositionListener.java
            WifiListener.java
        [manager]
            DataManager.java
            PositionManager.java
            SoundManager.java
```

[model]

AccessPoint.java

Building.java

Database.java

History.java

Level.java

MapPoint.java

Place.java

Polygon.java

Position.java

Record.java

Result.java

[overlay]

FootprintOverlay.java

GestureOverlay.java

HistoryOverlay.java

PlacesOverlay.java

PointerOverlay.java

RoomsOverlay.java

TargetOverlay.java

[view]

Console.java

Map.java

StatusBar.java

8.4.2 Zoznam používaných knižníc

Všetky potrebné knižnice musia byť umiestnené v priečinku `lib`, alebo referencované iným spôsobom. Aplikácia využíva na fungovanie nasledujúce knižnice:

- *Android Asynchronous Http Client* [81] – Prenos databázy pri importe.
- *GSON* [67] – Preklad údajov z formátu JSON do objektov aplikácie.
- *Perst* [65] – Perzistovanie objektov do databázového súboru.

Pre zobrazenie mapy na pozadí hlavného pohľadu je okrem toho potrebné dodať vygenerovaný kľúč Google Maps API. Kľúč je potrebné vložiť do súboru `main.xml` (pozri 8.4.1) ako atribút `android:apiKey` elementu `mapz.blindspot.view.Map`. Podrobné informácie o generovaní kľúča sa nachádzajú v [63].

8.4.3 Hardvérové požiadavky pri preklade

Nakoľko zdrojové kódy aplikácie sú dodávané ako projekt pre vývojové prostredie Eclipse IDE, požiadavky na technické prostriedky pri preklade vychádzajú hlavne z požiadaviek tohto vývojového prostredia:

- *Pamäť* – minimálne 512 MB, odporúča sa 1 GB a viac.
- *Voľné miesto na disku* – minimálne 300 MB, odporúča sa 1 GB a viac.
- *Rýchlosť procesora* – minimálne 800 MHz, odporúča sa 1,5 GHz a viac.

8.4.4 Softvérové požiadavky pri preklade

Požiadavky na softvérové prostriedky pri preklade sú zhodné so všeobecnými požiadavkami na vývoj pre platformu Google Android [82]:

- *Operačný systém* – Windows XP (32-bit) / Windows Vista (32-bit alebo 64-bit) / Windows 7 (32-bit alebo 64-bit) / Mac OS X 10.5.8 alebo novší (iba x86) / Linux (testované na Ubuntu a Lucid Lynx)
- *Vývojové prostredie* – Eclipse 3.6.2 (Helios) alebo novšie
- Eclipse Android Development Tools (zásuvný modul)
- Eclipse Java Development Tools (zásuvný modul)
- Java Development Kit 6