



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SYSTÉM LOKALIZACE UVNITŘ BUDOV

INDOOR POSITIONING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Celeng

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**
Ústav telekomunikací

Student: Bc. Michal Celeng

ID: 146798

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

System lokalizace uvnitř budov

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte systém pro lokalizaci předmětů či osob v zástavbě. Celý projekt bude pracovat na bázi standardu Bluetooth 4.0. Monitorovaný prostor bude pokryt Bluetooth majáky vysílajícími identifikační informace. Přijímací zařízení bude tvořeno mobilním přístrojem s operačním systémem Android. Ten bude umožňovat výpočet polohy na základě trilaterace. Mobilní zařízení bude ukládat vypočítaná data na server, odkud mohou být dále distribuována do koncových zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 25.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

ANOTACE

Práca sa zaoberá problematikou lokalizačného systému vo vnútri budov implementovaného v prostredí operačného systému Android, založeného na efektívnom štandarde Bluetooth Low Energy za pomoci bluetoothových majákov. Výstupom diplomovej práce je návrh topológie systému, popis komponentov, potrebných štandardov a následné vytvorenie systému.

Klíčová slova : Android, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, interiérová lokalizácia, klientská aplikácia

ABSTRACT

The work deals with the issue of indoor positioning system in the environment of the Android operating system, based on the efficient standard Bluetooth Low Energy, with conjunction of bluetooth beacons. The outcome of master's thesis is system topology, description of its components, standards needed for his creation and finally construction of the system.

Keywords : Android, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Indoor positioning system, client application

Bibliografická citace:

CELENG, M. *Systém lokalizace uvnitř budov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 51 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Levek.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Systém lokalizace uvnitř budov“ jsem vypracoval(-a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil(-a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(-a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(-a) následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 25. 5. 2016

.....
podpis autora

Poděkování

Ďakujem svojmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Vladimírovi Levekovi za jeho metodickú pomoc, odborné vedenie, cenné rady a ústretovú komunikáciu počas celého trvania diplomovej práce.

V Brně dne 25. 5. 2016

.....
podpis autora

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 SYSTÉMY LOKALIZÁCIE V INTERIÉRI	11
2.1 VŠEOBECNÉ PRINCÍPY	12
2.2 BUDÚCNOSŤ NAVIGÁCIÍ A MOŽNOSTI VÝSKUMU	13
2.2.1 <i>Technológie</i>	13
2.2.2 <i>Teória</i>	13
2.2.3 <i>Umiestnenie</i>	13
2.3 TECHNOLOGIE PRE ZISTENIE POZÍCIE	13
2.3.1 <i>Technológie založené na rádiových vlnách</i>	15
2.3.2 <i>Technológie založené na inom ako RF princípe</i>	18
2.4 MATEMATICKÝ APARÁT	19
2.4.1 <i>Kalmanov filter</i>	19
2.4.2 <i>Trilaterácia pozície</i>	19
3 TECHNOLOGIA BLUETOOTH	21
3.1 BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE).....	21
3.2 BLE MAJÁKY (BEACON)	23
4 OPERAČNÝ SYSTÉM ANDROID	28
4.1 HISTÓRIA	28
4.2 ARCHITEKTÚRA.....	28
4.2.1 <i>Jadro operačného systému</i>	28
4.2.2 <i>Knižnice</i>	28
4.2.3 <i>Android Runtime</i>	29
4.2.4 <i>Application Framework</i>	29
4.2.5 <i>Základné aplikácie</i>	29
4.3 VERZIE.....	29
4.4 VÝVOJ APLIKÁCIÍ PRE ANDROID	30
5 TOPOLOGIA A FUNKCIONALITA SYSTÉMU	32
5.1 POPIS	32
5.2 NÁVRH SCHÉMY SYSTÉMU.....	33
6 PRAKTICKÁ ČASŤ	34
6.1 APLIKÁCIA PRE ANDROID	34
6.2 WEBSERVISY V JAZYKU PHP	39
6.3 ROZOSTAVENIE A KONFIGURÁCIA BEACONOV.....	43
6.4 DATABÁZA A UCHOVÁVANIE INFORMÁCIÍ	44
6.5 TESTOVACIA INŠTALÁCIA.....	44
6.6 MOŽNOSTI ĎALŠIEHO VYLEPŠENIA	46
7 ZÁVER	47
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	48
ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV	50

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Komunikácia medzi rôznymi verziami a štandardmi BT	23
Obrázok 2 Beacon a) krabička v životnej veľkosti, b) DPS beaconu	24
Obrázok 3 Návrh schémy systému	33
Obrázok 4 Trilaterácia presná.....	40
Obrázok 5 Testovanie modifikovanej trilaterácie - časti a) – i)	43
Obrázok 6 Test vytvoreného lokalizačného systému	45

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Chronologický vývoj interiérových navigácií	11
Tabuľka 2 Podpora štandardov v závislosti na verzií BT.....	22
Tabuľka 3 Nastaviteľné hodnoty sily vysielacieho signálu beaconu	25
Tabuľka 4 Štruktúra štandardného propagačného paketu	25
Tabuľka 5 Štruktúra štandardného skenovacieho paketu.....	27
Tabuľka 6 Verzie Androidu a ich percentuálne zastúpenie.....	30

1 Úvod

Pri využívaní moderných technológií vo všetkých odvetviach života, začína nastávať dopyt po technológiách, ktoré ľuďom uľahčia každodenné činnosti. Už viac ako 30 rokov sa vo svete využíva systém GPS, ktorý sa stal dôležitým uľahčením najmä v priemysle, doprave a pri cestovaní. Tento systém má však svoje limity, ktoré sú veľmi dobre pozorovateľné najmä v interiéri, kam signál z družíc nedokáže dostatočne preniknúť. Čiastočným riešením je asistované GPS (A-GPS), ktoré má taktiež svoje limity a nie je celkom možné ho prispôbiť potrebám užívateľov.

Je preto potrebné vytvoriť navigačný systém vo vnútri budov, ktorý funguje na inom princípe, ktorý je cenovo dostupný, nenáročný na inštaláciu a údržbu a okamžite dostupný pre široké masy ľudí. Ideálnym riešením sa preto javí systém, ktorý pracuje na báze existujúcich štandardov a je možné ho nasadiť do zariadení, ktoré vlastní a denne používa väčšina ľudí.

Pre tieto požiadavky a účely sa ako najvhodnejšie na klientskej strane zdajú inteligentné telefóny. V posledných rokoch sa začal do týchto zariadení nasadzovať štandard Bluetooth Low Energy, ktorý pôvodne vytvorila spoločnosť Nokia. Navigácia vo vnútri budov bude fungovať s využitím malých vysielačov (beaconov) na báze tohto štandardu. Tie sa vhodne rozmiestnia po monitorovanom objekte, s frekvenciou niekoľkokrát za sekundu odošlú propagačné pakety a z nich mobilné zariadenie dokáže pomocou matematických operácií získať svoju približnú polohu.

V prvej časti diplomovej práce sú rozobrané systémy lokalizácií ako celok, technológia a metódy ktoré sa v nich využívajú a ich budúcnosť. V ďalšej časti je popis a vysvetlenie poznatkov o technológii Bluetooth, najmä štandarde Bluetooth Low Energy, ktorý je veľmi efektívnym pre tento druh využitia, keďže beacony, vysielajúce signál pomocou neho dokážu vysielat' signál bez výmeny gombíkovej batérie až 24 mesiacov. V nasledujúcej časti sú informácie o najväčšej platforme na poli inteligentných telefónov a vývojom aplikácií pre ňu – Android.

Navrhol som topológiu, ktorá ukáže ako implementovať jednotlivé moduly v mobilnom zariadení, beaconoch a serverovej časti dohromady. Súčasťou vypracovania je aj funkčná mobilná a serverová aplikácia, ktorá dokáže vyhodnocovať pozície a taktiež ich ukladať do histórie v serverovej databáze. K tomu som potreboval hlbšie znalosti a poznanie problematiky

použitých matematických operácií, skenovania a vyhodnocovania údajov z Bluetooth skenu na platforme Android. Výstupom práce teda je kompletne riešenie interiérového systému lokalizácie v reálnom čase.

2 Systémy lokalizácie v interiéri

Potreby pre poznanie priestorov sa objavili už na začiatku druhej polovice 20. storočia. Spočiatku bolo potrebné najmä mapovanie priestorov v exteriéri, no okolo roku 1980 sa začal objavovať vzrastajúci počet odborných článkov aj o navigácií v interiéri. V tabuľke (Tabuľka 1) je rozdelenie metód pre tieto navigácie rozdelené podľa sekcií s ohľadom najmä na ich chronologický vývoj. [1]

Tabuľka 1 Chronologický vývoj interiérových navigácií

Sekcia	Podtituly
Ranné koncepcie (80. a 90. roky 20. storočia)	Získavanie priestorových znalostí, Vytváranie máp s aktuálnou pozíciou (Mapy „tu sa nachádzate“)
Štúdie zaoberajúce sa konkrétnymi problémami (2000 – 2010)	Únikové východy Modelovanie navigačného procesu Obrázky a fotky priestorov
Architektonické perspektívy a analytické metódy (2000 – 2010)	Určovanie syntaxu priestorov
Všeobecné princípy interiérovej navigácie (2010 – dodnes)	Princípy s ktorými je možná lepšia, alebo presná navigácia v zložitých interiérových priestoroch.

Ranné výskumy v tejto oblasti došli k záveru, že informácie, ktoré človek dokáže vyčítať z máp sa v základoch líšia od znalostí, ktoré človek dokáže získať z prejdania týmto interiérovým priestorom. Tieto skoré práce poskytujú množstvo informácií a techník, ktoré sa používajú dodnes.

Syntax priestoru sa osvedčil ako hlavná technika pre štúdium navigácie a najmä jej interiérovej zložky. Pri týchto testovaniach sa pri hľadaní rôznych miestností používa meranie premenných ako:

- Čas na vykonanie úlohy.
- Počet zastávok.
- Odklonenie sa od správnej cesty (stratenie sa).
- Prejdená vzdialenosť.
- Miera nadbytočného chodenia.
- Priemerná rýchlosť.

Tieto merania sa potvrdili ako smerodajné napríklad aj pri analýze pohybu zákazníkov v nákupných centrách a celkovo navigačnom správaní v interiéroch.

2.1 Všeobecné princípy

Základným problémom je veľká komplexnosť interiérových prostredí. Hlavnou otázkou, na ktorú je nutné odpovedať, čo je možné spraviť pre zlepšenie vedomostí ľudí o týchto priestoroch. Podľa aktuálnej literatúry hrá poznanie priestoru a rozmanitosť fyzického prostredia hlavnú úlohu pri stratení sa. Prieskumy (Carlson, 2010 a Holscher, 2013) ukazujú, že niektoré aspekty skúsenosti s navigáciou a samotné rozloženie budovy môže prispieť k chybám pri navigácii osôb vo vnútri budov.

List faktorov ovplyvňujúci chyby v navigácii v komplexných interiérových prostrediach:

- Vizuálny prístup k daným miestam.
- Individuálna schopnosť orientácie v priestore.
- Navigačné pomôcky.
- Mapy v hlave, ktoré si ľudia vytvárajú na základe záchytných bodov.
- Priestorové učenie.
- Stratégia uvažovania.
- Fyzické prostredie a štruktúra budovy.

2.2 Budúcnosť navigácií a možnosti výskumu

Aj napriek veľkému množstvu výskumných materiálov je potrebné preskúmanie minimálne troch ďalších kategórií, ktoré si vyžadujú viac pozornosti v tomto kontexte: technológie, teória a umiestnenie.

2.2.1 Technológie

Napriek širokému využitiu GPS vo vonkajších priestoroch aj s doplnkovými službami, ktorými sú dopravné informácie v reálnom čase (napr. aplikácia pre inteligentné telefóny „Waze“) alebo obrázkové znázornenie na celom svete známe napr. z „Google maps“ je interiérová navigácia na omnoho nižšej úrovni. Zaošáva totiž na primárnych otázkach akými je zabezpečenie súkromia a prístupu, ktoré sa zväčša exteriéru netýkajú. Technológiám, ktoré sa doteraz používajú v interiérovej navigácii sa budem podrobnejšie venovať v časti 2.3.

2.2.2 Teória

Správna a konkrétna teória pre kategorizáciu vnútorných priestorov ostáva naďalej predmetom debát. Kompletná teória musí okrem nízkoúrovňových detailov obsahovať aj vysokoúrovňové štruktúry, ktoré spolu vytvoria prostredie vhodné pre implementáciu do týchto priestorov. Možným riešením je aj rozdelenie na jednoduché a komplexné budovy, ktoré by tvorbu takejto teórie a jej jednoznačnosť dokázali značne uľahčiť.

2.2.3 Umiestnenie

Poslednou, nemenej dôležitou otázkou je umiestnenie. Definícia a oddelenie interiérových a exteriérových priestorov a tiež prechodných zón medzi nimi. Ďalšími rozdielmi môžu byť miesta s verejnou dostupnosťou ako obchodné centrá v kontraste k nemocniciam, kde je pomerne obmedzený pohyb a je nežiadúce aby človek prechádzal väčším počtom oddelení ako je nevyhnutné.

2.3 Technológie pre zistenie pozície

V predchádzajúcich kapitolách sme si povedali, že exteriérová navigácia je pomerne homologizovaná a v drvivej väčšine sa využívajú systémy globálneho navigačného satelitného systému (GPS- vytvorený v USA, GLONASS- Rusko, Galileo – Európska únia, BeiDou,

pôvodne Compass- Čína). Keďže tieto systémy nedokážu zachytávať signál a teda fungovať na miestach, kde je veľké rušenie zapríčinené napr. budovami, potrebujeme pre interiérovú navigáciu iné technologické riešenie. V interiérovej navigácii však podobné zjednotenie, týkajúce sa technológie (zatiaľ) neexistuje.[2]

Hlavným problémom v tejto oblasti je propagácia rádiových signálov, najmä ich viacestné šírenie. Ďalšou otázkou, ktorú je potrebné riešiť je hľadanie najkratšej/najjednoduchšej cesty budovou a dostatočnú presnosť pri prechode týmito bodmi. Preto je potrebné prejsť technológie, ktoré by mohli byť, alebo sú vhodné pre takéto využitie, pri podmienkach vysokej presnosti (udávanej ako 95% pravdepodobnosť pri meraniach a pri presnosti do 5 metrov). V týchto prípadoch je výhodné vyhnúť sa používaniu globálnych súradníc (zemepisná šírka - latitude, dĺžka - longitude), ktoré nemusia byť jednoznačné napr. pri určovaní poschodí a prepočtoch vzdialeností pri malých zmenách a namiesto nich použiť dvojrozmerný karteziánsky systém so súradnicami x, y a vhodne zvoleným nulovým bodom, ktorý je prípadne možné namapovať späť na globálne súradnice (zo zadania úlohy tento krok môže a nemusí vyplynúť).

Technológie týchto systémov delíme na:

- Založené na rádiových vlnách:
 - Telefónne siete.
 - Wi-Fi.
 - Bluetooth.
 - RFID.
- Akustické.
- Navigácie výpočtom.
- Mapy a značky.
- Hybridné – prepojenie viacerých horeuvedených do jedného celku.

Metódy, ktoré je možné použiť pri rádiových lokalizačných systémoch

- Závislosť od vzdialenosti.

- TOA – Time of arrival (čas prichodu) – porovnávajú sa časové značky.
- TDOA – Direction of arrival (smer prichodu) okrem časovej značky zisťujú aj smer odkiaľ signál prichádza.
- Signálové mapy – Fingerprinting, zmeranie intenzít signálov na mnohých pozíciách a následné určovanie, ktorá časť sa najviac zhoduje s nameranou.

2.3.1 Technológie založené na rádiových vlnách

Najznámejšími lokalizačnými systémami založenými na RF vlnách sú techniky mobilných sietí, Wi-Fi, Bluetooth alebo RFID.

Mobilné siete – Lokalizácia je súčasťou štandardov mobilných sietí viac než desaťrocie. Toto lokalizovanie je uvádzané s nutnou presnosťou aspoň 50m pre 67% tiesňových hovorov(na tel. číslo 112). Najčastejšie sa používa v spolupráci s GPS, avšak mobilná zložka sa používa pre zrýchlenie zistenia pozície. Najčastejšie sa využíva TOA alebo TDOA prístup ako metóda výpočtu pozície spolu s protokolmi, ktoré sú špecifické pre danú technológiu. Napríklad v 3G(UMTS) sa protokol nazýva Observed Time Difference of Arrival-Idle Period on DownLink(Pozorovaná časová zmena za dobu od príchodu po nečinnosť pri Downlinku). Pri technológii 2G založenej na CDMA sa nazýva Advanced Forward Link Trilateration(Pokročilá trilaterácia dopredného spojenia). Avšak ako vieme presnosť 50 metrov je v interiéroch priestoroch nedostatočná. Preto sa rôzne skupiny vedcov nezávisle od seba rozhodli použiť myšlienku signálových odtlačkov z BTS staníc. V GSM sieti je od zariadenia vyžadované aby monitoroval 6 najbližších staníc + 1 ku ktorej je momentálne pripojený. V prácach týchto vedcov sa využívajú signálové odtlačky až od 30 staníc BTS pre vytvorenie lokálneho signálového odtlačku. Toto množstvo značne zdokonalilo presnosť. Stredná chyba v práci Alexa Varshavského[3] pri viacpodlažných budovách sa pohybovala v rozpätí 2-3m. Tieto budovy boli lokalizované v mestách: Toronto, Seattle a Washington DC. Podlažie bolo korektne rozoznané približne v 60% prípadov a v rozpätí dvoch podlaží v 98% prípadov. V prípade GSM sa pre meranie RSSI signálov používa všesmerový kontrolný kanál. Ak by bol podobný postup aplikovaný v 3G UMTS alebo 4G LTE mobilných sieťach referenčné signály by sa menili. Výhodami je, že systém využíva už existujúcu infraštruktúru, nevýhodami je buď presnosť alebo potreba značne väčšieho pokrytia ako je dnes na väčšine miest dosahované a náročnosť vyrábania signálových máp.

Technológia Wi-Fi – Táto technológia je využívaná v budovách všetkých typov, čo z Wi-Fi robí veľmi atraktívnu technológiu pre lokalizačné systémy. Štandardná architektúra pokrytia spočíva v rozmiestnení prístupových bodov, tak, že na známych miestach máme Access pointy (AP) teda prístupové body, cez ktoré sa mobilné zariadenia ako notebooky, alebo inteligentné telefóny dokážu pripájať na internet. Wi-Fi je štandardom od IEEE- Institute of Electrical and Electronics Engineers, konkrétne IEEE 802.11 od roku 1997. Na komunikáciu pomocou nej sa používajú komerčne dostupné frekvenčné pásma v okolí 2,4 GHz a 5 GHz. Najnovším štandardom je momentálne IEEE 802.11ac. Ani Wi-Fi signál nebol primárne navrhnutý pre potreby lokalizačného systému, ale pre bezdrôtový prístup k sieti. Viaccestná propagácia signálu tu taktiež sťažuje použitie TOA a TDOA algoritmov.

V praxi sa teda využívajú prístupy založené na blízkosti k zariadeniu. Tie fungujú na princípe, že zariadenie je lokalizované na tom mieste, kde sa podľa nameraných RSSI najbližší AP nachádza a teda za najväčšiu chybu lokalizácie považujeme maximálnu vzdialenosť, v ktorej dokážeme AP zachytiť. Väčšina sieťových rozhraní ponúka tento údaj od viacerých AP naraz. Výpočet RSSI je v zariadeniach dostupný najmä kvôli operačným účelom, pre zistenie a zaručenie určitej kvality linky, pre prepájanie na iné AP v rámci jednej siete, úpravy prenosových rýchlostí.

$$RSSI = P_t - K - 10\alpha \log d \quad (1)$$

α – faktor ovplyvňujúci sklon, nazývajúci sa aj exponent útlmu trasy (path-loss exponent)

P_t – vysielací výkon

K – konštanta závislá na frekvencii a prostredí, ktorým sa signál šíri

Z týchto hodnôt a nameraného RSSI dokážeme vypočítať vzdialenosť zariadenia od AP. Toto meranie môže byť ale značne skreslené napríklad veľkým množstvom železných predmetov v ceste, alebo tehlovou stenou. Keďže štruktúra Wi-Fi sietí je vo väčšine priestorov pevne daná, nie je možné robiť optimalizácie pozícií týchto sietí.

Ďalším prístupom je lokalizácia podoblasti (Subarea localization). Nezameriava sa na prijatý signál ale na AP, ktoré je možné na danom mieste zachytávať. Napr. pri 4 AP rozmiestnených na rohoch podlažia je možné vytvoriť celkovo maximálne až 15 podoblastí, niektoré však nemusia existovať vzhľadom na rozloženie AP. Ťažiskovým teda pre určenie pozície nie je signál RSSI, ale pravdivostná hodnota, či jednotlivý AP zachytávame. Z toho

následne dokážeme určiť, v ktorej podoblasti sa zariadenie nachádza. Tento prístup sa reálne nevyužíva, avšak pri optimalizácii pomocou prahovej hodnoty RSSI- najmenšia hodnota, pri ktorej ešte považujeme AP za platný pre určenie pozície, je jedným z možných prístupov k lokalizácií.

Poslednou možnosťou lokalizácie pomocou technológie Wi-Fi sú signálové mapy. Oproti lokalizácií podoblasti sa na jednotlivých miestach v priestore neskúma pravdivostná hodnota zachytávania AP, ale konkrétna hodnota jeho RSSI. Určovanie pozície pri tomto prístupe má dve fázy. Offline fáza, v ktorej sa zbierajú tréningové dáta pre vytvorenie databázy bodov so zachytenými hodnotami a online fáza, v ktorej sa odhaduje pozícia daného zariadenia. Štandardne sa na tento odhad využíva porovnanie vektoru nameraných dát zo zariadenia spolu s dátami z databázy a vybraný najbližší signálový odtlačok(napríklad podľa Euklidovej vzdialenosti) sa určí ako finálna pozícia.

Väčšina lokalizačných systémov využívajúcich Wi-Fi pre určenie pozície využíva signálové mapy. Problémom v tomto prístupe naďalej zostáva zber signálových máp.

Bluetooth – technológia klasifikovaná ako PAN, v princípe teda obklopuje limitovaný priestor v okolí človeka. Štandardne je vysielací signál a rozmedzie nižšie ako pri Wi-Fi (10-30 metrov). Pri tejto technológii môžu byť využité možnosti určovania pozície tak ako pri Wi-Fi, keďže sa principiálne jedná o veľmi podobné technológie. Rozvoju lokalizačných systémov na báze Bluetooth prispel najmä štandard iBeacon[4].

RFID – táto technológia bola v poslednom desaťročí dôležitá najmä kvôli postupnému nahrádzaniu čiarových kódov a pre sledovanie nástrojov, či tovaru. V najjednoduchšom príklade je pasívny RFID štítok(tag) prečítaný pomocou aktívneho čítača. Fungovanie pasívneho tagu je na princípe odražania signálu z čítača pomocou modulácie špecifickej pre jednotlivý tag, modulácia teda slúži ako identifikácia zariadenia. Pasívny tag je pomerne nenáročné zariadenie, ktoré nepotrebuje žiadne napájanie. Naproti tomu existujú aktívne tagy, ktoré majú vlastný napájací zdroj a vysielajú signál, ktorý je následne čítačmi zachytávaný. Hlavnou nevýhodou je, že RFID čipy štandardne nie sú zabudované do inteligentných mobilných telefónov, ktoré by mali byť ťažiskom pre navigácie v interiérových priestoroch.

Iné RF technológie – presnosť takýchto lokalizačných systémov je závislá od rôznych faktorov. Za tie najdôležitejšie považujeme šírku pásma, konštrukciu RF signálov, použité metódy napr. TOA a ich vhodnosť vzhľadom k použitej technológii. Technológia

Ultrawideband (UWB) pracuje s extrémne veľkými šírkami pásma v rádoch Gigahertzov. Hlavným problémom je, že vysielačie výkony sú veľmi nízke kvôli reguláciám signálov a tiež neintegrovane v mobilných zariadeniach a cena.

2.3.2 Technológie založené na inom ako RF princípe

Aj keď sa technológie založené na RF princípe javia byť najlepším riešením pre lokalizáciu, najmä vďaka mohutnému zastúpeniu v inteligentných telefónoch, kvôli nedostatku presnosti pre niektoré aplikácie začali byť posudzované aj iné schémy.

Akustická lokalizácia – pre túto lokalizáciu sa využíva najmä ultrazvuk, ktorý ľudské uši nedokážu zachytávať. Frekvencia týchto zvukov je nad 20 kHz. Najčastejšie sa využíva metóda TOA, podľa ktorej sa určuje lokalizácia predmetov s presnosťou niekoľko centimetrov.

Medzi hlavné nevýhody systému patrí nemožnosť prechodu zvuku cez steny a teda potreba priamej viditeľnosti monitorovaného zariadenia. Taktiež nie je možné monitorovať viac ako jeden objekt v danom okamihu. Ďalšou nevýhodou sú problémy spôsobené ultrazvukovým rušením. Reálne testy prebiehajú pomocou fixných vysielačov a monitorovaným zariadením je mikrofón.[5]

Navigácia výpočtom – je relatívnym lokalizačným systémom, pri ktorom sa začína zo známej pozície a berie sa do úvahy pohyb objektu, jeho smer, rýchlosť a prejdená vzdialenosť pre určenie novej pozície. Využívajú sa na to senzory, ktoré sa už v zariadeniach nachádzajú. Pre meranie počtu krokov sa používa akcelerometer, pre určenie smeru kompas. Na tréningových dátach je možné pripraviť schému, ktorá je pomerne presná, avšak problém môže nastať pri určovaní počiatočného bodu.

Značky a mapy – sú najčastejšími zariadeniami pre ľudskú navigáciu, pre ktoré nie je potrebná už žiadna doplnková infraštruktúra. Pre tento postup je možné nahradiť kamerami telefónov, ktoré skenujú ukazovatele (stopy) v priestoroch. Tento prístup je podobný skenovaniu QR-kódov. Sofistikovanejšie systémy dokážu porovnávať jednotlivé zodpovedajúce priestory v budove s databázou, v ktorej sa nachádza plán budovy.

Hybridné schémy – zaoberajú sa spájaním spomínaných technológií do uceleného bloku. Keďže interiérové navigácie sú stále relatívne novou technológiou a ako bolo v predošlom texte spomínané, nie je vypracovaná ucelená špecifikácia podmienok interiérových lokalizačných systémov a ani hodnotiaci systém pre ne. Problémom môže byť výdrž batérie, keďže tieto

technológie majú už samostatne vysokú spotrebu energie napr. pre kontinuálne skenovanie bluetoothových zariadení, Wi-Fi signálov, senzorov, atď. Ďalším problémom môžu byť konfliktné zistenia lokalizácie a ku ktorej sa vo finálnom určení pozície prikloniť.

2.4 Matematický aparát

Pre účely výpočtu polohy a zlepšenia výsledkov je potrebné použiť aj matematický aparát, vďaka ktorému dostaneme z veľkého množstva nameraných hodnôt pravdepodobne najlepšie výsledky. V najbližších podkapitolách sa budeme detailnejšie venovať Kalmanovmu filtru a systému trilaterácie pozície.

2.4.1 Kalmanov filter

Je konštrukcia filtra pre optimálne rozhodovanie napr. z neúplných, nepresných alebo nepriamych dát. Jeho ďalšou vlastnosťou je rekurzia, čo znamená, že nové merania je možné spracovávať v reálnom čase, teda tak ako ich získavame.

Kalmanov filter je najlepším lineárnym odhadom pri štandardnom rozptyle rušenia. To znamená, že v určitých momentoch môžu byť nelineárne odhady presnejšie.

Kalmanov filter je pomerne rozšírený v mnohých oblastiach najmä z týchto dôvodov:

- Dobré výsledky pri testovaniach vďaka optimálnosti a štruktúre.
- Spracovávanie údajov v reálnom čase.
- Jednoduchá implementácia.
- Nepotrebuje využívať opačné rovnice k meracím (pracujeme už s výsledkami).

Nazýva sa filtrom preto, že z dát zmiešaných so šumom je jeho cieľom šum odfiltrovať aby sme sa dostali iba k pôvodným, správnym dátam. Základný príklad kódu pridávania prvku do Kalmanovho filtra nájdeme v kapitole 6.1.[6]

2.4.2 Trilaterácia pozície

Po zmeraní jednotlivých vzdialeností a prechode Kalmanovým filtrom je potrebné získať pozíciu na ktorej sa najpravdepodobnejšie monitorované zariadenie nachádza. To je možné viacerými spôsobmi. Pri strete záujmov jednoduchosti inštalácií rôznych interiérových priestorov, nízkym počtom beaconov, ktoré je potrebné v priestore umiestniť a pomernej

jednoduchosti implementácie tohto aparátu vychádza ako najlogickejšie riešenie vyriešiť tento problém trilateráciou pozície. Je to operácia, kde podľa vzdialeností od známych pevných bodov, v našom prípade beaconov, určíme bod na ktorom sa najpravdepodobnejšie v danom súradnicovom systéme (ktorý je vytvorený podľa reálneho priestoru) nachádzame. Reálne príklady nájdeme v kapitole 6.2, kde si priblížime aj celkový postup získania pozície.

3 Technológia Bluetooth

Táto technológia bola vytvorená v roku 1994 ako celosvetový otvorený štandard pre umožnenie bezdrôtovej komunikácie na určitú (krátku) vzdialenosť. Je definovaná ako Personal Area Network (PAN), na rozdiel napr. od Wi-Fi, ktorá patrí do skupiny Local Area Network (LAN). To okrem iného znamená, že štandardne pokrýva menšie územie, rádovo do 10 metrov od vysieláča.

Od jej vzniku sa teda používala na prenos informácií na krátke vzdialenosti medzi dvomi zariadeniami, pre bezdrôtové audio slúchadlá k telefónom alebo v automobiloch. Jeho hlavnou výhodou je, že sa nachádza vo veľkom počte zariadení, ktoré vďaka tomu dokážu spolu potenciálne komunikovať. Po dvoch desaťročiach našiel bluetooth miesto taktiež aj v Internete vecí (Internet Of Things – IOT), ktorý sa stáva celosvetovým trendom aj vďaka inteligentným domácnostiam a priemyslovému využitiu jednoduchých zariadení, schopných medzi sebou komunikovať a dodávať aktuálne informácie užívateľom.

Frekvencie, ktoré Bluetooth štandardne využíva sa nachádzajú v pásme ISM (Industrial, Science, Medical), ktoré je voľne dostupné. Tieto frekvencie majú hodnoty v rozsahu od 2400 MHz do 2483,5 MHz.[7]

3.1 Bluetooth Low Energy (BLE)

Tento štandard sa líši od tradičného Bluetoothu možnosťami aj pôvodom. Prvotne bol vytvorený spoločnosťou Nokia a niesol názov Wibree. Od počiatku tvorenia sa kládol dôraz na vytvorenie rádiového štandardu, ktorý bude mať podľa možností čo najnižšiu spotrebu energie a bude optimalizovaný pre čo najmenšie náklady, šírku pásma a komplexnosť. V špecifikácii je zdôraznená najmä čo najdlhšia funkčnosť pri napájaní z jednoduchej gombíkovej batérie. Wibree bol neskôr skupinou Bluetooth Special Interest Group (SIG) začlenený do štandardu 4.0 v júni roku 2010.

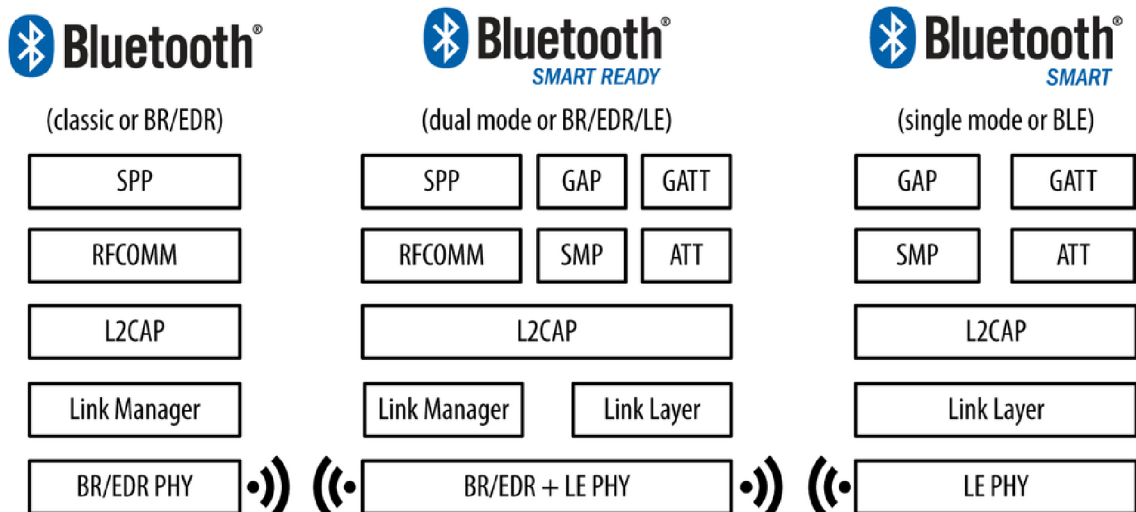
V porovnaní s inými bezdrôtovými štandardmi sa rozvíjal veľmi agresívne. V podstate za to môže veľmi rýchly rozvoj inteligentných telefónov a tabletov. Aktívne sa o to pričínili obrovské firmy z mobilného prostredia ako Apple a Samsung, ktorým myšlienky s ktorými štandard BLE prichádza, vyhovovali.

Prvou väčšou aktualizáciou tohto štandardu bolo vydanie Bluetooth 4.1 v decembri 2013, ktorý je doteraz referenčným pre produkty obsahujúce BLE. Terajšia špecifikácia teda obsahuje oba – tradičný Bluetooth, ktorý sa používa v komerčnej sfére už dlhé roky a BLE, ktoré je optimalizovaným bezdrôtovým štandardom. Tieto dva štandardy nie sú kompatibilné a preto zariadenie so štandardným Bluetoothom nedokáže komunikovať so zariadením, ktoré využíva BLE. Tabuľka 2 ukazuje bezdrôtové technológie implementované pre tri základné typy zariadení na trhu.

Tabuľka 2 Podpora štandardov v závislosti na verzii BT

	Podpora štandardného bluetoothu BR/EDR	Podpora BLE
< Bluetooth 4.0	Áno	Nie
Bluetooth 4.x (Bluetooth Smart)	Nie	Áno
Bluetooth 4.x (Bluetooth Smart Ready)	Áno	Áno

BR/EDR je bezdrôtovým štandardom, ktorý sa spoločne s Bluetoothom rozvíja od verzie 1.0. BR v tomto prípade znamená basic rate (základná rýchlosť) a EDR znamená enhanced data rate (zvýšená rýchlosť dát). Zariadenia s Bluetooth Smart dokážu komunikovať s iným zariadením implementujúcim Bluetooth Smart, avšak nie so zariadením podporujúcim len BR/EDR. Naproti tomu zariadenia s Bluetooth Smart Ready dokážu komunikovať aj pomocou BR/EDR aj pomocou BLE.[8,9]



Obrázok 1 Komunikácia medzi rôznymi verziami a štandardmi BT

3.2 BLE majáky (beacony)

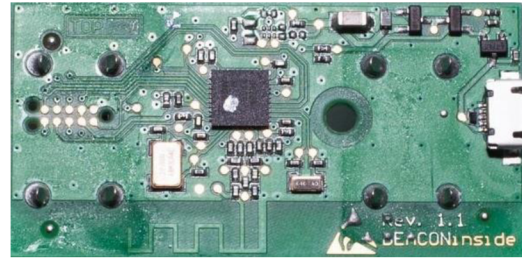
Beacony sú veľmi jednoduché elektronické zariadenia, v tomto prípade pracujúce so štandardom BLE, ktoré pri zvolenom vysielačom výkone a perióde odosielania vysielaajú rádiové signály, ktorými sú ich propagačné pakety. Tieto signály môžu byť prijímané akýmkoľvek zariadením, ktoré sa nachádza v ich blízkosti a taktiež podporuje štandard BLE. Zariadenia nemusia byť Bluetoothom spárované, aby dokázali takéto pakety prijímať. Keď mobilné zariadenie prijme paket, dokáže z neho okrem iného určiť MAC adresu beaconu a jeho RSSI – Received signal strength indication (Indikátor sily prijatého signálu).

Tieto zariadenia sú dnes na trhu ponúkané veľkým množstvom firmami: Accent Systems, BKON, Estimote, Gimbal, Kontakt.io, Radius Network,... Pre náš systém lokalizácie vo vnútri budov použijeme beacony od poľskej firmy Kontakt.io, ktoré dosahujú veľmi dobré výsledky vysielať v interiérovom priestore a batéria pri ich nastavení od výrobcu (hodnota RSSI vo vzdialenosti 1 meter = -77dBm a perióda odosielania 350 ms) dokáže bez výmeny fungovať 24 mesiacov.[10,11,12]

a)



b)



Obrázok 2 Beacon a) krabička v životnej veľkosti, b) DPS beaconu

Jeho základnými funkciami sú:

- Všesmerové odosielanie propagačných paketov, založené na BLE.
- Kompatibilita so všetkými Bluetooth 4.0 zariadeniami.
- Kompatibilita s Apple iBeacon aj Google Eddystone štandardmi pre beacony.
- Konfigurovateľné parametre:
 - UUID - Universally unique identifier – univerzálny jedinečný identifikátor zariadenia.
 - Major a Minor hodnoty - pomocné hodnoty napr. pre určenie sektorov, kde sa beacony nachádzajú, dôležité najmä pre administráciu.
 - Názov zariadenia.
 - Vysielací výkon.
 - Odosielať interval.
- Aktualizácie firmvéru pomocou špecializovanej aplikácie.
- Nízka spotreba elektrickej energie.

Maximálna vzdialenosť signálu závisí od prostredia, v ktorom sa beacons nachádzajú, ale je možné ju čiastočne upraviť aj pomocou zmeny vysielacieho výkonu, všetky použiteľné hodnoty a ich konfigurácia sa nachádzajú v Tabuľke 3.[13]

Tabuľka 3 Nastaviteľné hodnoty sily vysielacieho signálu beaconu

Hexadecimálna hodnota	Decimálna hodnota	RSSI vo vzdialenosti 1 m.	Približný dosah signálu
E2	-30 dBm	-115 dBm	2 m
EC	-20 dBm	-84 dBm	4 m
F0	-16 dBm	-81 dBm	10 m
F4	-12 dBm	-77 dBm	20 m
F8	-8 dBm	-72 dBm	30 m
FC	-4 dBm	-69 dBm	40 m
00	0 dBm	-65 dBm	60 m
04	4 dBm	-59 dBm	70 m

Po tom ako bol prijatý propagačný paket môžu byť od beaconu vyžiadané dodatočné informácie. Na tie je beaconom odpovedané zodpovedajúcim skenovacím paketom. Po jednorazovom odoslaní tohto paketu beacon naďalej vysiela propagačné pakety s periódou nastaveného odosielania. Pre ozrejmienie ďalších úkonov sa musíme orientovať v štruktúre oboch typov týchto paketov, tak ako sú znázornené v Tabuľke 4 (propagačné pakety) a Tabuľke 5 (skenovacie pakety).[14,15]

Tabuľka 4 Štruktúra štandardného propagačného paketu

Bajt	Predvolená hodnota	Popis	Vlastnosti
1	02	Dĺžka dát- 2 bajty	Konštantná preambula
2	01	Typ dát- značky	Konštantná preambula
3	06	LE a BR/EDR značka	Konštantná preambula

4	1A	Dĺžka dát- 26 bajtov	Konštantná preambula
5	FF	Typ dát– dáta špecifické pre	Konštantná preambula
6	4C	Dáta o výrobcovi	Konštantná preambula
7	00	Dáta o výrobcovi	Konštantná preambula
8	02	Dáta o výrobcovi	Konštantná preambula
9	15	Dáta o výrobcovi	Konštantná preambula
10	F7	Proximity UUID 1. bajt	Konštantná preambula
11	82	Proximity UUID 2. bajt	Nastavené užívateľské UUID
12	6D	Proximity UUID 3. bajt	Nastavené užívateľské UUID
13	A6	Proximity UUID 4. bajt	Nastavené užívateľské UUID
14	4F	Proximity UUID 5. bajt	Nastavené užívateľské UUID
15	A2	Proximity UUID 6. bajt	Nastavené užívateľské UUID
16	4E	Proximity UUID 7. bajt	Nastavené užívateľské UUID
17	98	Proximity UUID 8. bajt	Nastavené užívateľské UUID
18	80	Proximity UUID 9. bajt	Nastavené užívateľské UUID
19	24	Proximity UUID 10. bajt	Nastavené užívateľské UUID
20	BC	Proximity UUID 11. bajt	Nastavené užívateľské UUID
21	5B	Proximity UUID 12. bajt	Nastavené užívateľské UUID
22	71	Proximity UUID 13. bajt	Nastavené užívateľské UUID
23	E0	Proximity UUID 14. bajt	Nastavené užívateľské UUID
24	89	Proximity UUID 15. bajt	Nastavené užívateľské UUID
25	3E	Proximity UUID 16. bajt	Nastavené užívateľské UUID
26	-	Major 1. bajt	Nastavená hodnota Major
27	-	Major 2. bajt	Nastavená hodnota Major
28	-	Minor 1. bajt	Nastavená hodnota Minor
29	-	Minor 2. bajt	Nastavená hodnota Minor
30	B3	Sila signálu (kalibrované RSSI)	Sila signálu vo vzd. 1 meter

Tabuľka 5 Štruktúra štandardného skenovacieho paketu

Bajt	Predvolená hodnota	Popis	Vlastnosti
1	08*	Dĺžka dát- 8 bajtov	Názov zariadenia (max. 15 bajtov)
2	09	Typ dát- lokálny názov	Fixné
3	4B*	Lokálny názov	Nastavený názov
4	6F*	Lokálny názov	Nastavený názov
5	6E*	Lokálny názov	Nastavený názov
6	74*	Lokálny názov	Nastavený názov
7	61*	Lokálny názov	Nastavený názov
8	6B*	Lokálny názov	Nastavený názov
9	74*	Lokálny názov	Nastavený názov
10	02	Dĺžka dát- 2 bajty	Fixné
11	0A	Typ dát – Úroveň TX power	Fixné
12	F4	Hodnota TX Power	Nastavená hodnota TX power
13	0A	Dĺžka dát- 10 bajtov	Fixné
14	16	Typ dát – dáta o servisoch	Fixné
15	0D	UUID servisu	Fixné
16	D0	Proximity UUID servisu	Fixné
17	-	Beacon ID 1. bajt	Fixné
18	-	Beacon ID 2. bajt	Fixné
19	-	Beacon ID 3. bajt	Fixné
20	-	Beacon ID 4. bajt	Fixné
21	-	Verzia firmvéru 1. bajt	Fixné
22	-	Verzia firmvéru 1. bajt	Fixné
23	-	Úroveň batérie	Percentuálna úroveň

*závisí na nastavenom názve zariadenia

4 Operačný systém Android

Android je vo svete momentálne najpoužívanejšou platformou pre inteligentné telefóny, tablety, Smart TV a ďalšie systémy postavené na architektúre ARMv7 a ARMv8-A. Vývoj pre tieto zariadenia bude aj náplňou tejto diplomovej práce, preto je potrebné bližšie sa oboznámiť s týmto operačným systémom, ktorý je najväčšou platformou s otvoreným kódom vôbec.[16]

4.1 História

Vývoj Androidu začal v októbri 2003 s názvom Android, Inc. Po takmer dvoch rokoch firmu odkúpila spoločnosť Google, ktorá v nej videla potenciál a začala budovať platformu s linuxovým jadrom. Na konci roku 2007 vzniklo zoskupenie Open Handset Alliance, ktoré spojilo spoločnosti Google, Intel, Nvidia, Samsung, Texas Instruments a ďalšie, ktorá aktívne vyvíja tento operačný systém dodnes. Za cieľ sa stanovilo vybudovať platformu, ktorá je prívetivá tak k užívateľom ako aj ku vývojárom. Dôkazom toho je, že po jednom týždni vydalo prvý vývojársky program pod voľnou licenciou. Prvé zariadenia so systémom Android prišli na trh v roku 2008. Android bol odvtedy každý rok najrýchlejšie sa rozvíjajúcou platformou vo svete technológií.

4.2 Architektúra

Architektúra systému Android je navrhnutá s ohľadom na historický vývoj, pri ktorom bol kladený dôraz na podobnosť so systémom Linux, keďže sa od tohto systému odvíja. Skladá sa z piatich vrstiev:[17]

4.2.1 Jadro operačného systému

Prvou vrstvou je jadro operačného systému, prepájajúce hardvérovú časť so softvérom. Linuxové jadro verzie 2.6, ktoré je ľahko kompilovateľné na rôznych zariadeniach je jeho základným stavebným kameňom. Android ďalej využíva jeho funkcie ktorými sú správa pamäte, procesov, linuxové ovládače jednotlivých periférií (pre Bluetooth sú to najmä BlueZ a Bluedroid bluetooth stack) a paralelizácia behu jednotlivých aplikácií, ktoré sú považované za samostatné procesy.

4.2.2 Knížnice

Druhá vrstva sú knihnice písané v jazykoch C a C++ dostupné z rôznych častí systému. Vo všeobecnosti je k nim možné pristupovať pomocou Application Framework, ktorý je v poradí

4. vrstvou tejto architektúry. Tieto knižnice umožňujú prácu s médiami, databázami, grafikou (2D aj 3D) a ďalšie.

4.2.3 Android Runtime

Tretia vrstva slúži na prístup k registrom a prácu s nimi. Túto funkciu vykonáva v starších verziách virtuálny stroj Dalvik (primárny do verzie Androidu 4.4) a v novších verziách virtuálny stroj ART(primárny od verzie 5.0), od ktorého sa sľubuje zvýšenie výdrže batérie a optimalizácia výkonu, vďaka tomu, že tento virtuálny stroj je špeciálne vytvorený pre Android.

4.2.4 Application Framework

Štvrtá vrstva obsahuje programy, ktoré majú na starosti základné funkcie zariadení. Vývojári aplikácií majú plný prístup do tejto vrstvy, keďže poskytuje základné nástroje, ktoré môžu využívať na tvorbu komplexných aplikácií.

4.2.5 Základné aplikácie

Piatu vrstvu tvoria aplikácie pre užívateľov. Obsah je zoskupením pôvodných-predinštalovaných aplikácií, ale aj tie doinštalované užívateľom. Patria do nich nástroje ako adresár, kalendár, hry, e-mailoví klienti, prehliadače súborov, internetové prehliadače a ďalšie.

4.3 Verzie

Android je nepretržite vyvíjaný už spomínanými spoločnosťami Google a Open Handset Alliance a na nepravidelnej báze sú vydávané aktualizácie, ktoré ale vzhľadom na rôznorodosť zariadení, na ktorých Android funguje musia byť implementované samotnými výrobcami, v opačnom prípade zariadenia aktualizáciu vôbec nedostanú.

Podpora štandardu BLE bola prvýkrát spomenutá v špecifikácií Androidu 4.3, nevýhodou je, že bola spomenutá s príznakom SHOULD (v špecifikáciách sa udávajú pri jednotlivých atribútoch hodnoty MUST – „musí mať“ alebo SHOULD – „mal by mať“), preto je jeho implementácia a komunikácia s čipovou sadou, na ktorej sa BT modul nachádza, často nekvalitná, alebo je potrebné v programovacej časti riešiť ďalšie problémy. BLE sa ale nachádza na väčšine zariadení, čo môžeme spočítať z Tabuľky 5 - touto technológiou by malo disponovať cca. 78% zariadení, verzie s menej ako 0,1% sa v tabuľke pre ich zanedbateľnosť neuvádzajú. (*Údaje k 1.5.2016).[18]

Tabuľka 6 Verzie Androidu a ich percentuálne zastúpenie

Verzia	Kódové označenie	API	Podiel v zariadeniach
2.2	Froyo	8	0,1%
2.3.3 – 2.3.7	Gingerbread	10	2,2%
4.0.3 – 4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	2,0%
4.1.x	Jelly Bean	16	7,2%
4.2.x		17	10,0%
4.3		18	2,9%
4.4	KitKat	19	32,5%
5.0	Lollipop	21	16,2%
5.1		22	19,4%
6.0	Marshmallow	23	7,5%

Kódové označenie pomocou názvu cukrovinky sa pri verziách uvádza od verzie 1.5- „Cupcake“ a so zvyšujúcou sa verziou sa inkrementuje v abecede o jedno písmeno. Číslo API je skôr podstatné pre vývojárov pre túto platformu, keď týmto číslom uvádzajú napríklad minimálnu podporovanú verziu pre vyvíjanú aplikáciu, alebo jej cieľovú verziu (spravidla najvyššiu možnú).

4.4 Vývoj aplikácií pre Android

Dlhú dobu nemala táto platforma vlastné dedikované prostredie, v ktorom by sa dalo vyvíjať len pre Android a natívnym vývojovým prostredím pre Android aplikácie bola platforma Eclipse od spoločnosti Eclipse Foundation. To sa zmenilo od decembra 2014, kedy bola vydaná prvá stabilná verzia programu Android Studio od spoločnosti Google. Android sa

odlúčil od platformy Eclipse a odvtedy je Android Studio považované natívnym vývojovým prostredím. Praktická časť diplomovej práce bola vypracovávaná aj v tomto programe a teda v programovacom jazyku Java.

Aplikácie sú najpodstatnejšou zložkou týchto zariadení, keďže umožňujú vykonávať všetky potrebné úlohy pre užívateľov. Od prezerania Internetu, cez platby kartou, e-mailových klientov až po hry.

Na niektoré aktivity si zariadenia musia vyžadovať od užívateľov povolenia pri inštalácii aplikácie alebo pri jej aktualizácii, ak je potrebné dodatočné povolenie. Štandardnými typmi povolení sú napr. žiadosť o prístup na internet, k dátam GPS, k skenovaniu BT, menej štandardnými sú nákupy v aplikácií, odosielanie SMS a MMS správ, prezeranie kontaktov a ďalšie. Bezpečnostná politika je pri prvých spusteniach zariadení dokonca nastavená tak prísne, že je možné inštalovať len aplikácie z oficiálne Obchodu Google (a jednotlivým aplikáciám následne povoliť už spomínané povolenia).

Grafické zobrazenie aplikácií sa vytvára pomocou layout súborov, ktoré je možné vytvárať buď systémom drag and drop, alebo kódovaním do xml súborov.

Ďalším dôležitými súbormi sú AndroidManifest.xml, v ktorom sú definované povolenia pre aplikáciu, servery, aktivity, broadcast receiveri, taktiež je tu možné zvoliť hlavnú tému aplikácie. Nemenej dôležitým súborom je build.gradle, v ktorom sa importujú knižnice z repozitárov, určujú sa podmienky pre kompiláciu aplikácie a číslo jej verzie.

5 Topológia a funkcionálnosť systému

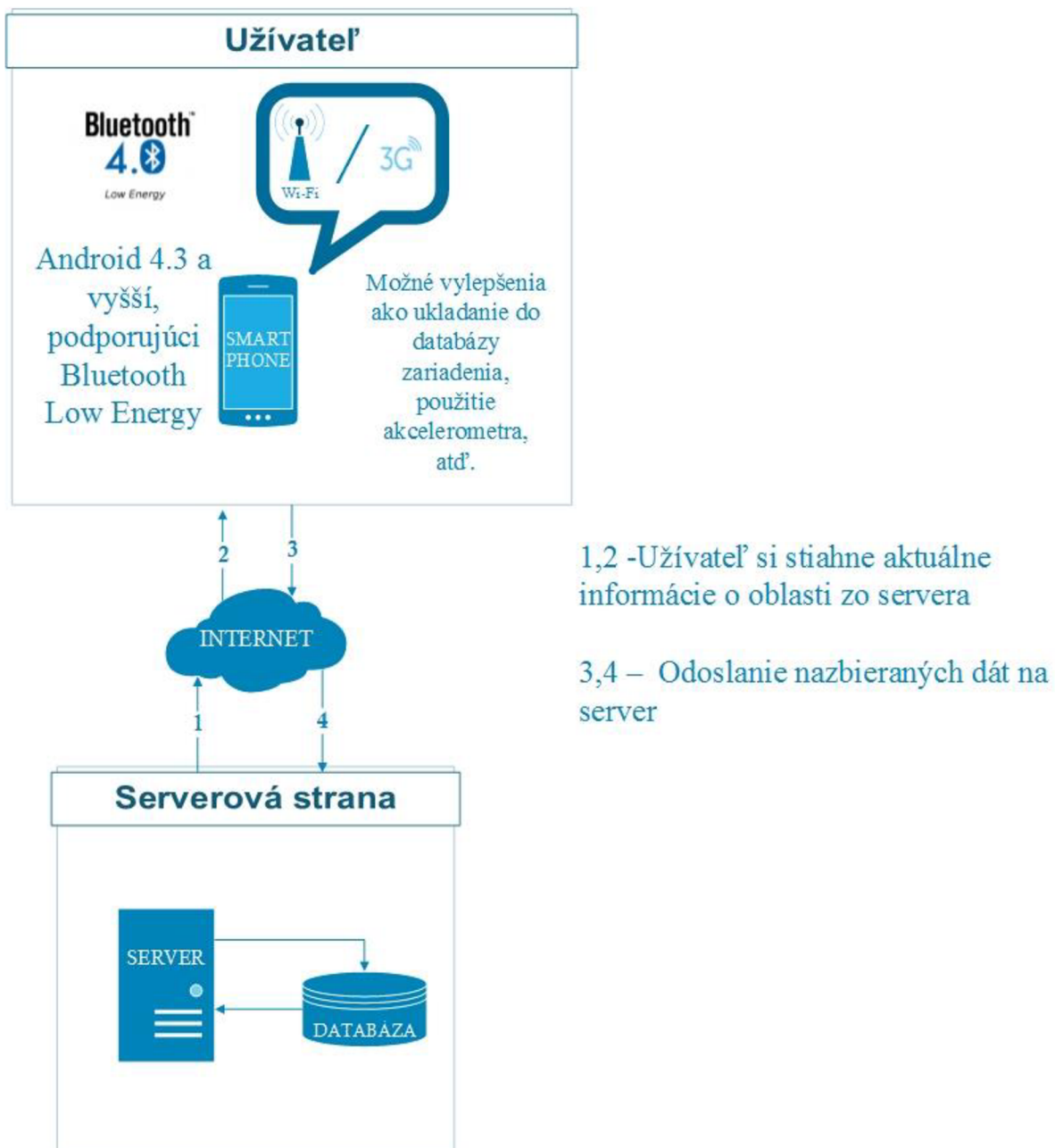
5.1 Popis

Vytváraný systém má za úlohu s istou presnosťou určiť polohu zariadenia so systémom Android za pomoci signálov z beaconov, ktoré budú v priestore správne rozmiestnené.

Údaje o týchto beaconoch budú stiahnuté z SQL databázy cez Internet, následne odštartuje v Android zariadení BLE sken, ktorý bude kontinuálne pokračovať až pokiaľ sa nerozhodneme aplikáciu ukončiť. Dáta na server sa môžu odosielať kontinuálne, alebo budú odosielené na vyžiadanie.

Očakávaná presnosť sa podľa hustoty rozloženia beaconov odhaduje na hornej hranici 5 metrov, ktorá je vo svete považovaná za vysokú.[1]

5.2 Návrh schémy systému



Obrázok 3 Návrh schémy systému

6 Praktická časť

V tejto časti sa budeme venovať všetkým aspektom od implementácie kódu v jazyku Java pre platformu Android, cez správne rozostavovanie beaconov v priestore pre jednoduché určenie polohy alebo výpočet trilateráciou, pre ktorú sú potrebné tri zachytené beacons v priestore. Ďalej prejdeme serverovým skriptovacím jazykom PHP, databázou PostgreSQL, ktorej hlavnou výhodou je, že dokáže ukladať a pracovať s geometrickými objektami ako sú napríklad, bod, kruh, mnohoúhelník, atď. Nakoniec ukážeme ako všetky tieto prvky spoločne vytvoria komplexný systém podľa pôvodného návrhu topológie.

6.1 Aplikácia pre Android

Táto aplikácia tvorí jeden zo základných stavebných prvkov mnou navrhnutého lokalizačného systému. Jej základom je zadanie mena, pod ktorým sa budú následne ukladať údaje v databáze. Ďalej bolo potrebné vytvoriť BLE callback, ktorý slúži na odchytyvanie všetkých paketov tohto štandardu, ktoré sa skladajú z troch zložiek:

- `bluetoothDevice` – po konverzií do dátového typu `String` je z neho možné vyčítať MAC adresu, ktorú považujeme za jednoznačný identifikátor daného zariadenia a naň sú napojené všetky ostatné parametre daného zariadenia
- `RSSI` – je to hodnota výkonu prijatého signálu, ktorá je v bluetoothovom ovládači v zariadení normalizovaná (programátor nemá na tento proces žiadny priamy dosah), hodnota je uvádzaná ako dátový typ `int`
- `scanRecord` – bajtové pole, v ktorom sa nachádzajú niektoré identifikátory ako aj hodnota `TxPower`, udávajúca normovanú hodnotu signálu vo vzdialenosti 1m, ktorá je dôležitá pre výpočet vzdialenosti od zariadenia. Identifikátory som použil pre určenie iBeacon štandardu. Nachádza sa tu aj údaj o stave batérie beaconu, podľa ktorého je možné indikovať jeho vybitie a teda čiastočné znefunkčnenie systému včas.

```

private double calculateDistance(int rssi, int
txPower) {
    double ratio = (rssi * 1.0 / txPower);
    if (ratio < 1.0) {
        return Math.pow(ratio, 10);
    } else {
        return ((0.89976) * Math.pow(ratio,
7.7095) + 0.111);
    }
}

```

Kód 1 Výpočet vzdialenosti pomocou RSSI

Kód 1 najlepšie demonštruje prepočet intenzity signálu a normovanú hodnotu TxPower na vzdialenosť. Pri hodnote, kde je hodnota RSSI menšia ako TxPower (vzdialenosť menšia ako 1 meter) - v then klauzule použijeme jednoduchý vzorec, zatiaľ čo pre väčšie vzdialenosti v else klauzule sa využije vzorec náročnejší s konštantami určenými pre, čo najpresnejšie výsledky. Nie je možné určiť pre všetky dvojice zariadení jednoznačný vzorec, avšak potenciálne chyby, ktoré vzniknú či už nepresnosťami signálov, alebo pri tomto prepočte eliminuje v neskorších krokoch trilaterácie.

Rôzne telefóny dokážu zachytiť rôzny počet bluetoothových zariadení za sekundu, najhoršie namerané výsledky sú okolo hranice 20 zachytených zariadení za sekundu. Keďže BLE pakety môže vysielať ľubovoľné zariadenie, potrebujeme vyselektovať podľa 4 bajtov (4. až 7. v poradí) zo scanRecordu a tiež napojiť tieto výsledky na beacony aktivované pre špecifický priestor. Každú sekundu teda prebehne párovanie nameraných výsledkov na beacony a jednotlivé výsledky prejdú Kalmanovým filtrom, ktorý je bližšie popísaný v sekcii 2.4.1. V Kóde 2 demonštrujeme hlavný bod tejto časti, ktorý spočíva vo funkcii pridania ďalšieho prvku do filtra (pri ktorom prebehne prepočet koeficientov).

```

private double Xk = 0; // Initial signal estimation
private double Pk = 1f; // Project error covariance
private double stdDeviation = 0.1f; // +/- 10%
private double Kk = Pk / (Pk + stdDeviation); // Kalman
coef.
private int k = 0; // k-th iteration

    public double add(double Zk)
    {
        k++;
        Kk = Pk / (Pk + stdDeviation);
        Xk = Xk + Kk * (Zk - Xk);
        Pk = (1 - Kk) * Pk;

        return Xk;
    }

```

Kód 2 Pridanie prvku do Kalmanovho filtra

Pre ďalšie určenie pohybu v inteligentných telefónoch môžeme použiť akcelerometer, ktorý je v týchto zariadeniach povinnou súčasťou. Akcelerometer je súčiastka, ktorá meria zrýchlenie v určitom smere, čo môžeme s výhodou použiť pre upresnenie, či pohyb nastal, respektíve koľko krokov človek vykonal. Na takomto, alebo podobnom princípe fungujú aj rôzne fitness a krokomerové aplikácie v týchto zariadeniach.

Výsledné údaje sa každú sekundu zapisujú do SQLite databázy v zariadení a následne sa pomocou HTTP protokolu pomocou metódy POST odošlú na server. V tele tejto správy sa nachádza:

- Prihlasovacie meno – Zadávané pri štarte aplikácie.
- Android ID – 64 bitový String, unikátny pre každé zariadenie.
- MAC adresy a vzdialenosti od 3 najbližších beaconov.
- Timestamp – Zosynchronizovaná časová známka.
- Údaj z akcelerometra, či bol zaznamenaný pohyb (voliteľné), ukážka monitorovania krokov v Kóde 3.

```

public synchronized void onSensorChanged(SensorEvent event) {
    Sensor sensor = event.sensor;
    int j = (sensor.getType() == Sensor.TYPE_ACCELEROMETER)
? 1 : 0;
    if (j == 1) {
        float vSum = 0;
        for (int i=0 ; i<3 ; i++) {
            final float v = mYOffset + event.values[i] *
mScale[j];
            vSum += v;
        }
        int k = 0;
        float v = vSum / 3;

        float direction = (v > mLastValues[k] ? 1 : (v <
mLastValues[k] ? -1 : 0));
        if (direction == - mLastDirections[k]) {
            // Direction changed
            int extType = (direction > 0 ? 0 : 1);
            mLastExtremes[extType][k] = mLastValues[k];
            float diff = Math.abs(mLastExtremes[extType][k]
- mLastExtremes[1 - extType][k]);

            if (diff > mLimit) {

                boolean isAlmostAsLargeAsPrevious = diff >
(mLastDiff[k]*2/3);
                boolean isPreviousLargeEnough =
mLastDiff[k] > (diff/3);
                boolean isNotContra = (mLastMatch != 1 -
extType);

                if (isAlmostAsLargeAsPrevious &&
isPreviousLargeEnough && isNotContra) {
                    // move was considered as a step
                    for (StepListener stepListener :
mStepListeners) {
                        stepListener.onStep();
                    }
                    mLastMatch = extType;
                }
                else {
                    mLastMatch = -1;
                }
            }
            mLastDiff[k] = diff;
        }
        mLastDirections[k] = direction;
        mLastValues[k] = v;
    }
}

```

Kód 3 Určenie kroku pomocou akcelerometra

V teoretickej časti spomínané povolenia, ktoré je nutné od užívateľa získať sú: Bluetooth - pre fungovanie BLE skenu, BluetoothAdmin - pre možnosť užívateľa vyzvať na zapnutie bluetooth na zariadení, Internet - pre odosielanie dát na server, AccessNetworkState - pre zistenie, či je telefón pripojený k internetu, WakeLock - pre zabráneniu uspatia procesoru, WriteExternalStorage - pre zapisovanie údajov do vnútornej databázy. Tieto povolenia je potrebné mať zapísané v súbore AndroidManifest.xml, ktorý musí byť súčasťou každej aplikácie vytvorenej pre Android. Ukážka povolení v tomto súbore je v Kóde 4.

```
<uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH"></uses-permission>
<uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH_ADMIN"></uses-
permission>
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"></uses-permission>
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE"></uses-
permission>
<uses-permission android:name="android.permission.WAKE_LOCK"></uses-permission>
<uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE"></uses-
permission>
```

Kód 4 Povolenia v súbore AndroidManifest.xml

Potenciálne problémy, ktoré môžu pri použití aplikácie nastať:

1. Známa chyba v Androide, kvôli ktorej niektoré telefóny pri bluetoothovom skene neskenujú rovnaké zariadenia viackrát počas jedného skenu, keďže v štandardoch nie je jednoznačné správanie definované. Možná oprava: pravidelné reštartovanie skenu v kóde, v tomto prípade raz za sekundu. Ďalšia možná oprava: Prepnutie beaconov do non-connectable módu.
2. Chyba naplnenie pamäte BluetoothShare. Taktiež sa deje len na niektorých zariadeniach a po istej dobe neaktivity (telefón nezachytáva žiadny beacon, aj keď sú funkčné beacons v jeho okolí) je potrebné reštartovať Bluetooth na zariadení (nie sken) aby sa pôvodná funkcionálna obnovila.
3. Chyba pri pripojení na server. Chyba môže nastať pri nedostupnosti internetového pripojenia. Oprava je riešená pomocou už spomínanej SQLite databázy v zariadení. Zo servera príde potvrdenie o uložení dát na serveri a dáta sa následne z SQLite databázy v zariadení zmažú. Pokiaľ potvrdenie nepríde, údaje sa odosielajú znova, aby boli všetky dáta prenesené na server a nezaberali tak miesto na zariadení.

6.2 Webservisy v jazyku PHP

Tieto webservisy majú za úlohu

- Sťahovať údaje o beaconoch v monitorovanej lokalite
- Ukladanie informácií do databázy
- Výpočet pozície z nameraných údajov

Pre prístupy do databázy v jazyku PHP sa používa trieda PDO, ktorá predstavuje prepojenie medzi databázovým serverom a webservismi vytvorenými v jazyku PHP.

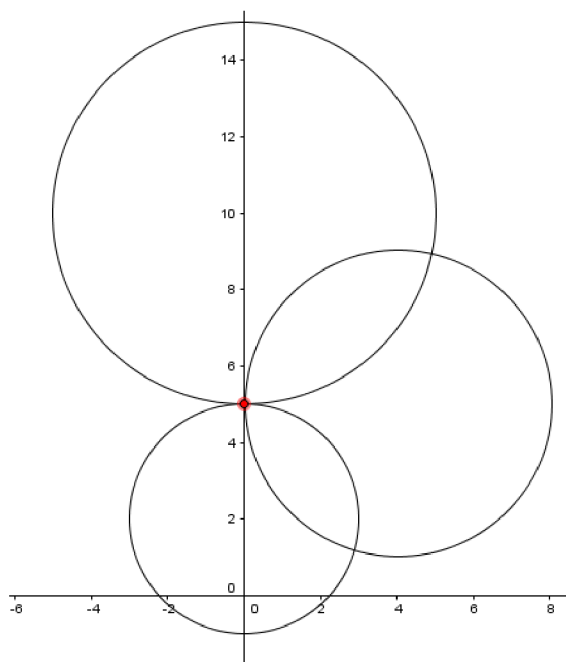
Pri sťahovaní najnovších údajov o beaconoch do zariadenia sa využíva formát XML, v ktorom sa nachádza MAC adresa beaconu, jeho relatívne koordináty X a Y a stav – aktívny, alebo neaktívny (najmä z dôvodu testovania). Príklad v Kóde 5.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<beacons>
<beacon>
<id>F4:48:14:C8:78:5A</id>
<x>55737</x>
<y>7697</y>
<isActive>1</isActive>
</beacon>
<beacon>
<id>CC:88:B1:F0:5B:7D</id>
<x>49140</x>
<y>7847</y>
<isActive>0</isActive>
</beacon>
</beacons>
```

Kód 5 Ukážka sťahovaného XML
konfiguračného súboru beaconov

Keďže sa údaje odosielajú zo zariadenia metódou POST je možné na ne zaútočiť pomocou útoku SQL injection, čomu sa vyhneme pomocou PDO prepared statements, do ktorých sa nevkladá „surový“ ale parametrizovaný dotaz, ktorý dokáže tomuto typu zneužitia predchádzať.[19]

Pri výpočte sa používajú základné vektorové operácie. Keďže namerané výsledky zo zariadenia ani po optimalizácii Kalmanovým filtrom nie sú presné, je potrebné použiť metódu modifikovanej trilaterácie, ktorá sa dokáže postarať o potlačenie a zminimalizovanie nameraných nepresností. Pre lepšiu názornosť boli pripravené viaceré trilateráčné úlohy, z ktorých by sme mali získať predstavu ako trilaterácia prebieha. Keďže pri takomto meraní hľadáme najpravdepodobnejšiu pozíciu a úloha nie je v reálnom svete takmer nikdy dokonale riešiteľná, musíme výsledok získať interpoláciou. Najlepšie pochopiteľné uvidíme význam z obrázkov, ktoré boli vytvorené v geometrickom programe GeoGebra.

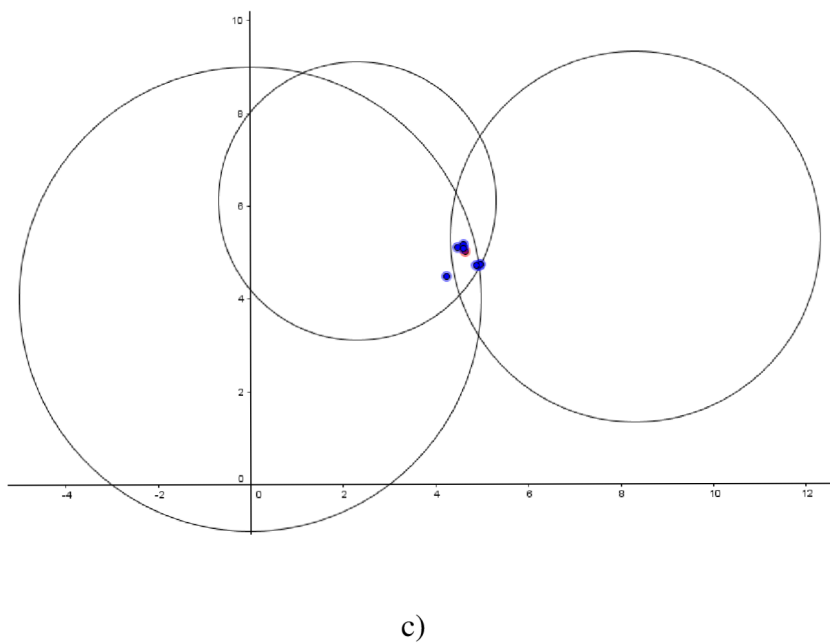
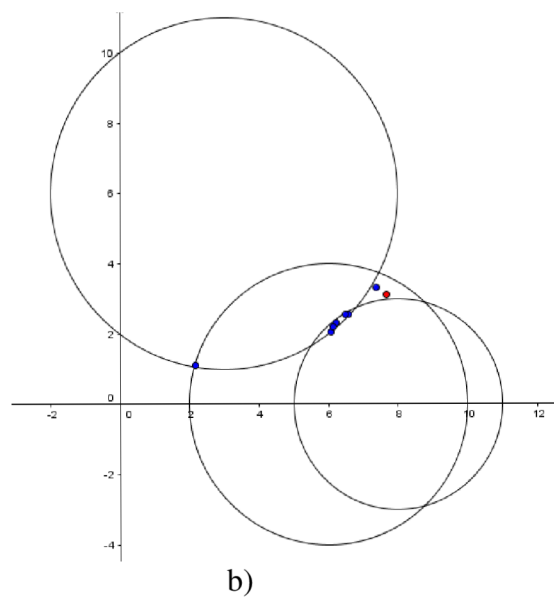
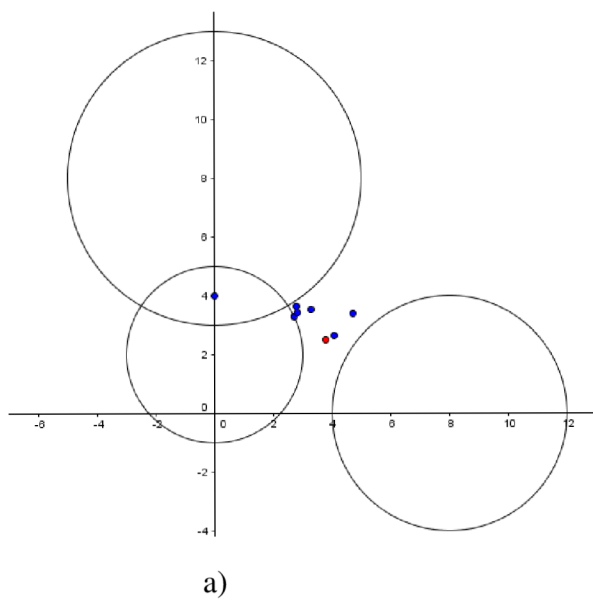


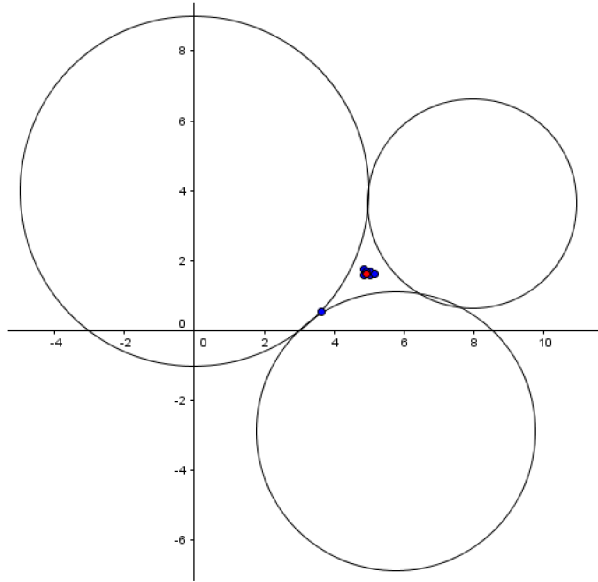
Obrázok 4 Trilaterácia presná

Na obrázku (Obrázok 4) vidíme trilateráciu, kde poznáme relatívne umiestenie(súradnice) beaconov a vzdialenosti hľadaného bodu od nich. Úlohu pre zjednodušenie počítame v dvojrozmernom priestore. Keď sa všetky 3 pomyselné kružnice, ktorých stred je nameraný beacon a polomerom nameraná vzdialenosť, pretnú v jednom bode, môžeme určiť, že náš výsledok je práve v tomto priesečníku (označený červeným bodom).

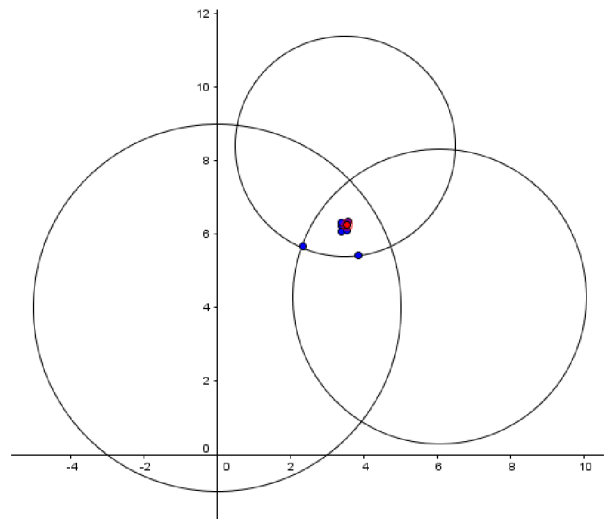
Na ďalších príkladoch (Obrázok 5: a) až i)) budeme vidieť aj modré body, ktoré boli získané prieskumom od mojich kolegov. Keďže sa jedná o modifikovanú trilateráciu a výsledky meraní sú nepresné, zvolil som funkciu modifikovanej trilaterácie, ktorá v každom prípade vráti výslednú pozíciu, aj keď ju nie je možné presne vypočítať, ako v Obrázku 4. Ak by sa výsledky výpočtu odklňali od inštinktívnych odpovedí respondentov, pravdepodobne by

sa v algoritme nachádzala chyba. Kolegovia dostali pred anketou inštrukcie, ako trilaterácia funguje a otázka znela: pri zadaných pozíciách a polomeroch kružníc určite, kde by sa mal nachádzať výsledný bod.

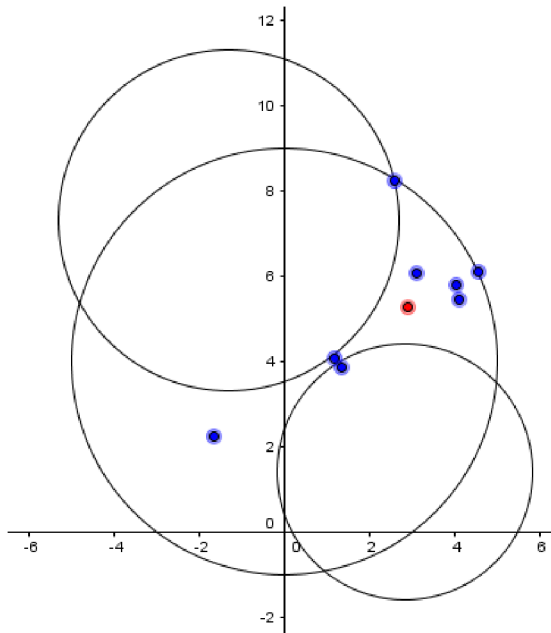




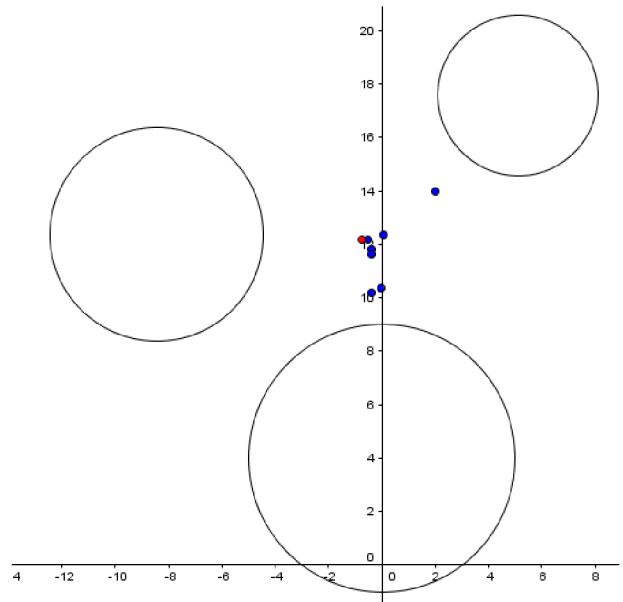
d)



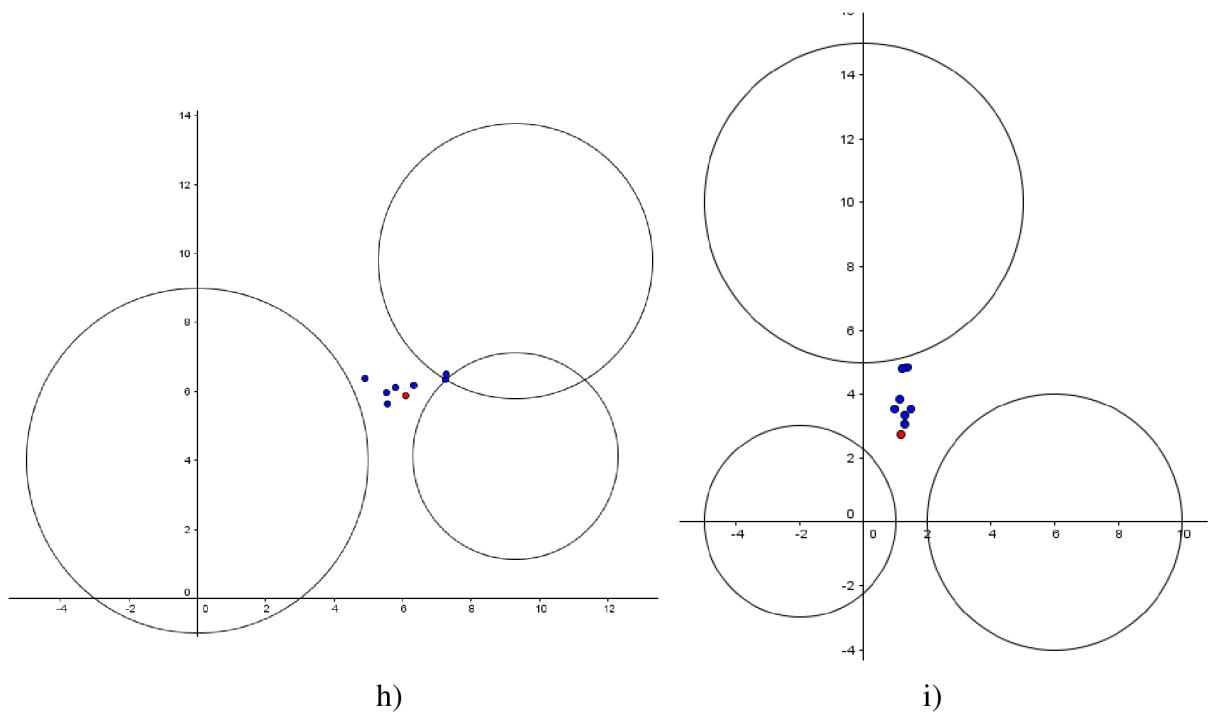
e)



f)



g)



Obrázok 5 Testovanie modifikovanej trilaterácie - časti a) – i)

Ako môžeme vidieť, najmä na snímkach b) a f) sa vypočítaná pozícia s odhadmi respondentov pomerne líši, čo pripisujem najmä zlému rozloženiu beaconov a nesprávne nameraným vzdialenostiam. Preto je dôležité zaoberať sa optimálnym rozložením beaconov v monitorovanom priestore a následne vykonať všetky potrebné testy pre meranie signálu – signál v rôznych vzdialenostiach, rušenie signálu na miestach, ktoré môžu byť tienené alebo nedostatok zachytávaných beaconov na perimetri budovy.

6.3 Rozostavenie a konfigurácia beaconov

Podľa potrebnej presnosti musíme určiť aj hustotu beaconov, ktorú budeme potrebovať. V členitejších priestoroch ako sú kancelárie, bytová zástavba je potrebná vyššia koncentrácia beaconov, ako v rozľahlejších priestoroch ako napr. sklady alebo dlhé chodby v nákupných centrách. Konfiguráciu je potrebné riešiť taktiež podľa požiadaviek na presnosť a údržbu.

Podľa štandardu iBeacon, ktorý býva v beaconoch implementovaný je štandardom perióda odosielania paketov 100 ms a intenzita signálu z Tabuľky 3 v hexadecimálnej hodnote F4. Beacons sa snažíme rozmiestňovať po perimetri budovy a následne vykrývame miesta so slabším signálom, až kým je na všetkých miestach, ktoré je potrebné monitorovať dostatočný signál aspoň z 3 beaconov. Beacons sa snažíme umiestňovať do jednej výšky a po počiatočnej prehliadke priestoru sa rozhodnúť, či ich budeme dávať na viditeľné miesta = LOS (line of sight – priama viditeľnosť), alebo mimo nej.

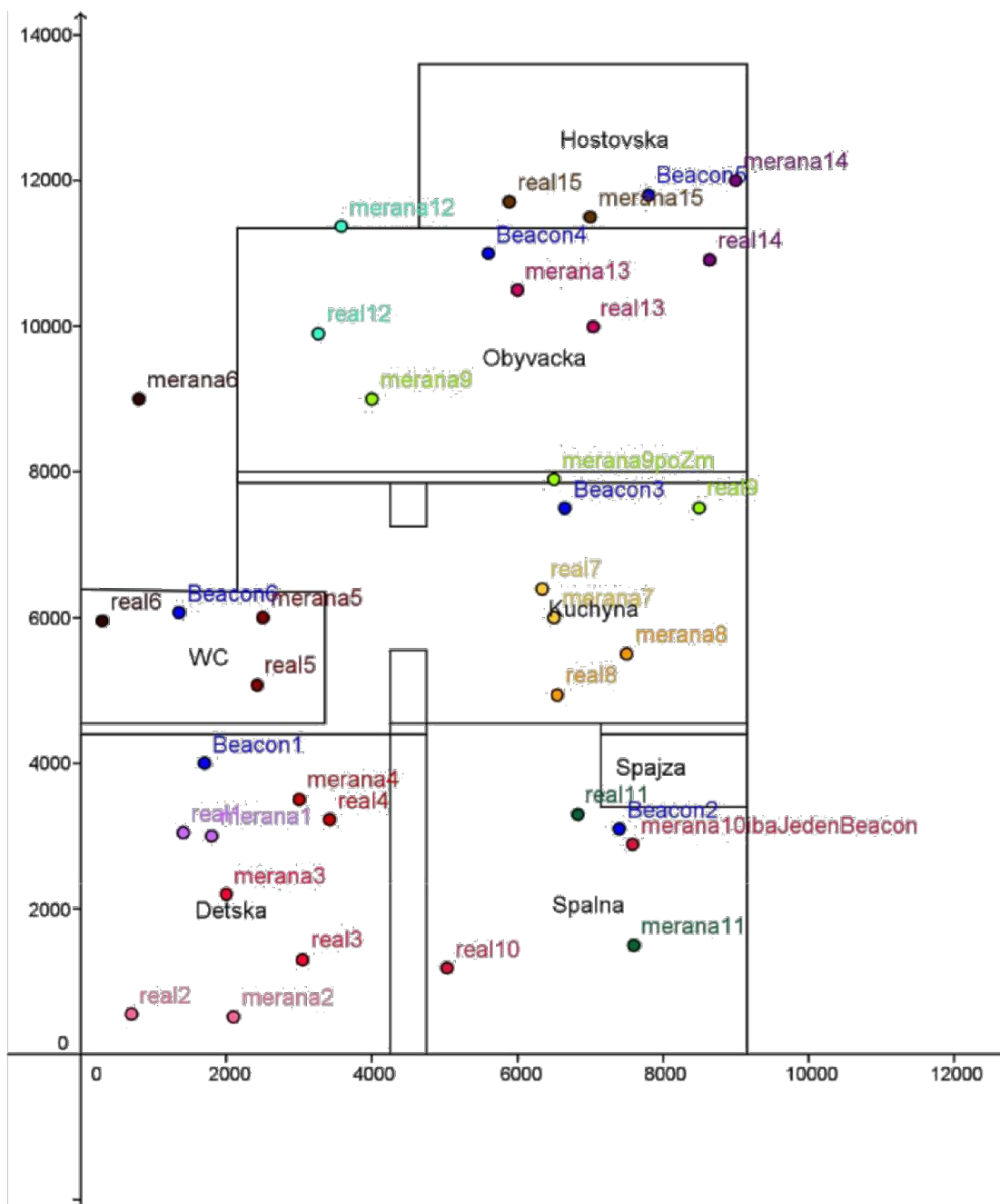
6.4 Databáza a uchovávanie informácií

Ako miesto pre databázu som zvolil Linuxový server a typ databázy PostgreSQL, pretože je v nej možné ukladať ako dátové typy geometrické útvary napr. body, kružnice, mnohoúhelníky a uzavreté aj otvorené cesty. Ďalej sú medzi týmito útvarmi implementované priamo v SQL dotazoch operácie ako vzdialenosti, priesečníky a ďalšie. Máme teda vytvorené dátové štruktúry pre ukladanie beaconov a taktiež v inej tabuľke štruktúry pre ukladanie pozícií zo zariadení.

6.5 Testovacia inštalácia

V priestoroch rodinného domu s rozlohou cca. 110 m² sme rozmiestnili 6 beaconov, podľa vopred stanovených pravidiel – jeden do každej miestnosti so štandardnou iBeacon standard konfiguráciou. Meranie prebiehalo tak, že na každom meranom stanovisku sme zostali stáť 5 sekúnd a následne sme sa presunuli na ďalšiu pozíciu. Meraniu predchádzalo testovanie beaconov a kontrola prechodu signálu stenami. Celkovo sme uskutočnili 15 meraní pozície. Vzhľadom na členitosť tohto objektu, tienenia signálu pri prechode hrubými múrmi a nízky počet použitých beaconov skončilo testovanie úspešne. Pozície „real“ s poradovým číslom sú tie, kde sa zariadenie reálne nachádzalo, „merana“ je tam, kde bola pozícia vypočítaná nami vytvoreným systémom z dostupných údajov. Údaje na osiach v obrázku testovaného objektu (Obrázok 6) sú v milimetroch, všetky údaje aj v databáze sa ukladajú v milimetroch. Za pozornosť stoja: meranie č. 6 – najväčšia chyba zo zachytených meraní, meranie č. 9, Beacon3 bol pravdepodobne tienенý a tak bola zmenená jeho pozícia → „merana9poZm“, čo ukazuje ako veľmi dôležité sú prípravy, rozostavenie beaconov a premeranie charakteristík beaconov, v tomto prípade je tu meranie pred zmenou ponechané len pre demonštráciu zmeny týchto

bodov. Meranie č. 10 sa nevydarilo, keďže zachytený bol iba jeden beacon a preto sa logicky naša pozícia rovná umiestneniu beaconu (resp. nemáme relevantný výsledok). Všetky relevantné výsledky teda majú presnosť do 5m. čo je vo svete podmienka vysokej presnosti.



Obrázok 6 Test vytvoreného lokalizačného systému

6.6 Možnosti ďalšieho vylepšenia

Vylepšenia tohto systému by mohli nastať v týchto rôznych bodoch:

- Beacons. Testovania boli uskutočnené zakúpenými beaconmi, ktoré sa v testoch ukazovali ako najlepšie, avšak kolísanie a nestabilita signálu, bola na pomerne vysokej úrovni, preto by presnosti výsledkov mohlo veľmi pomôcť vytvorenie beaconu, ktorý bude mať lepšie priestorové vlastnosti a vysielačnú anténu viac vzdialenú od zvyšku DPS.
- Zmena trilaterácie na Gauss-Newtonovu iteračnú metódu, alebo prejdienie na signálové mapy. Pri týchto metódach sa predĺži čas inštalácie, ale je tu potenciál zlepšenia presnosti výpočtu finálnej pozície.
- Kombinácia s ďalšími lokalizačnými metódami (napr. UWB) a tým vytvorenie mohutnejšieho a presnejšieho systému, ktorý bude odolnejší voči chybám.
- Prepočet z 2D priestoru do 3D priestoru, čo by ale malo výkonnostný dopad na prepočet na serveri a teda jeho kapacitu naraz monitorovaných zariadení.
- Implementácia sektorov, podľa ktorých by následne bolo možné rozdeliť beacons do lokácií (na rôzne poschodia, budovy, atď.) pre zjednodušenie lokalizácie zariadení, monitorovania, doplnkových funkcionalít.

7 Záver

Zadaním diplomovej práce bolo preštudovať potrebné protokoly na vytvorenie systému lokalizácie vo vnútri budov pre zariadenia so systémom Android a vytvoriť funkčné riešenie pre tieto potreby. Na to bolo potrebné osvojiť si nielen terminológiu operačného systému Android, ale aj štandardy Bluetooth a jeho energeticky veľmi úsporný protokol Bluetooth Low Energy, ktorý je implementovaný tak v beaconoch, pomocou ktorých budeme umiestnenie v priestore počítat', tak i v zariadeniach Android od verzie 4.3, čo značí viac ako 75% aktívnych zariadení.

V štandardoch Bluetooth Low Energy sme taktiež museli prejsť celou štruktúrou propagačných paketov, ktoré beacons vysielajú s periódou 100 ms a aj skenovacími paketmi, ktoré obsahujú ďalšie dôležité dáta, najmä pre konfiguráciu týchto beaconov.

Taktiež sme navrhli schému riešenia aj samotné riešenie, ktoré bude vyplývať zo zachytávania viacerých beaconov, následného vypočítavania približnej polohy a odosielania z Android zariadenia na server, kde sa tieto informácie budú spracovávať a zbierať.

Pri známých nepresnostiach a rušeníach pri prenosoch signálov bolo potrebné vykonávať optimalizácie, ktoré zahŕňajú priemerovanie s viacerými predošlými nameranými výsledkami, taktiež sme pri skenovaní využili vhodné vyhladzovacie funkcie ako napr. Kalmanov filter. Trilaterácia prebehla pomocou modifikovanej trilaterácie, ktorá sa pre svoju jednoduchosť, pomernú presnosť výsledkov a najmä jednoduchosť inštalácie beaconov v monitorovaných priestoroch uprednostňovanou metódou.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] KARIMI, Hassan A. *Indoor wayfinding and navigation*. Boca Raton: CRC Press, Taylor, 2015, xiv, 252 strán. ISBN 14-822-3084-4.
- [2] ACHARYA, Rajat. *Understanding satellite navigation*. ISBN 9780127999494.
- [3] Alex Varshavsky [online]. 2007 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://sysweb.cs.toronto.edu/publication_files/0000/0017/varshavsky2007gsm.pdf
- [4] *Apple iBeacon standard* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://support.apple.com/en-us/HT202880>
- [5] Andy Ward, Alan Jones, Andy Hopper. A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, October 1997, pp. 42-47.
- [6] KLEEMAN, Lindsay. Understanding and Applying Kalman Filtering [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://biorobotics.ri.cmu.edu/papers/sbp_papers/integrated3/kleeman_kalman_basics.pdf
- [7] SCHILLER, Jochen H. *Mobile communications*. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley, 2003. ISBN 0321123816.
- [8] Bluetooth. *GSM Favorites* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.gsmfavorites.com/documents/bluetooth/introduction/>
- [9] *Bluetooth* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>
- [10] TOWNSEND, Kevin, Robert DAVIDSON, AKIBA. a Carles CUFÍ. *Getting started with Bluetooth low energy: tools and techniques for low-power networking* [online]. Revised First Edition. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2014, xii, 164 strán [cit. 2015-12-14]. ISBN 978-149-1949-511.
- [11] Beacon specification. Kontakt.io [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201628101-What-is-a-beacon->

- [12] The Hitchhikers Guide to iBeacon Hardware: A Comprehensive Report by Aislelabs (2015). Aislelabs[online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.aislelabs.com/reports/beacon-guide/>
- [13] Transmission power, Range and RSSI. *Kontakt.io* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201621521-Transmission-power-settings>
- [14] Advertising packet structure. *Kontakt.io* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201492492-Advertising-packet-structure>
- [15] Scan response packet structure. *Kontakt.io* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201492522-Scan-response-packet-structure>
- [16] CELENG, M. *Bezpečnostní aplikace pro Android*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Hajný, Ph.D..
- [17] Dalvik and ART. *Android devices* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <https://source.android.com/devices/tech/dalvik/index.html>
- [18] Dashboards. Android developers [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://developer.android.com/about/dashboards/index.html>
- [19] Prepared statements and stored procedures. *PHP* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://php.net/manual/en/pdo.prepared-statements.php>

Zoznam skratiek a symbolov

A-GPS – Assisted Global Positioning System

API - Application programming interface

ARM - Advanced RISC Machines

ART – Android Runtime

BLE – Bluetooth Low Energy

BR – Basic rate

BT – Bluetooth

BTS – Base transceiver station

CDMA - Code-Division Multiple Access

DPS – Doska plošných spojov

EDR – Enhanced data rate

GPS – Global Positioning System

GSM - Global System of Mobile Communications

IOT – Internet Of Things

ISM – Industrial, Science, Medical

LAN – Local Area Network

LOS – Line of sight (priama viditeľnosť)

PAN – Personal Area Network

PDO – trieda prepojujúca databázu a webservis v PHP

PHP - Hypertext Preprocessor (Serverový skriptovací jazyk)

RF – Rádiové frekvencie

RSSI – Received signal strength indication

RTLS – Real time location system (Systém lokalizácie v reálnom čase)

SIG – Special Interest Group

UMTS - Universal Mobile Telecommunication Service

UUID - Universally unique identifier

UWB – Ultrawideband (technológia)

Wi-Fi – Wireless Fidelity