

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informatiky a kvantitativních metod

Indoor navigace pomocí iBeaconů
Diplomová práce

Autor: Bc. Lukáš Masařík
Studijní obor: ai2-p

Vedoucí práce: doc. Ing. Filip Malý, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 14.11.2016

Bc. Lukáš Masařík

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Filipu Malému, Ph.D., za metodické vedení práce, cenné rady, hodnotné připomínky a zapůjčení iBeaconů.

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem a implementací lokalizační aplikace umožňující zobrazení pozice mobilního zařízení v uživatelsky definovatelné mapě v reálném čase. Úvod práce je věnován historii lokalizačních technologií od počátku po současnost. Popisuje zdroje signálů a navigační techniky umožňující lokalizaci jak ve venkovních prostorech, tak i v uzavřených objektech. Dále je popisován standard technologie Bluetooth, pomocí kterého komunikují zařízení zvaná iBeacons fungující jako majáky vysílající sebepopisující datové zprávy. Hlavní část práce je věnována návrhu a tvorbě aplikace pro operační systém Android schopnou zachytit vysílání iBeaconů, vypočítat přibližnou pozici mobilního zařízení a okamžitě ji uživateli zobrazit. Závěr práce popisuje kvalitu výsledného řešení s naměřenými výsledky a zhodnocení dosažených cílů.

Annotation

Title: Indoor navigation using iBeacons

This diploma thesis deals with the design and implementation of the localization application allowing to display real time position of the mobile device in user defined map. The introduction of the thesis is dedicated to the history of localization technologies from the beginning to the present. It describes the signal sources and navigation techniques allowing localization both outdoors and indoors. As next is described standard of the Bluetooth technology, by which devices called iBeacons communicate by functioning as beacons broadcasting selfdescribed data messages. Main part of the thesis is dedicated to the desing and creation of the application for the Android operating system, capable to capture iBeacons's broadcast, calculate estimated position of the mobile device and immediately show it to the user. The conclusion of the thesis describes the quality of the resulting solution with measured results and evaluation of achieved goals.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Navigační systémy.....	2
2.1	Historie navigace.....	2
2.2	Družicové navigační technologie.....	3
2.2.1	TRANSIT.....	4
2.2.2	Global Positioning System (GPS).....	4
2.2.3	GLONASS.....	5
2.2.4	GALILEO.....	6
2.2.5	Compass.....	7
2.3	Mobilní síť.....	8
2.4	IEEE 802.11 WLAN.....	9
2.5	Indoor navigace.....	10
2.5.1	Využití indoor navigace.....	11
2.5.2	Problémy k řešení.....	12
2.5.3	Požadavky na řešení.....	13
3	Navigační metody.....	15
3.1	Navigační signály a senzory.....	15
3.1.1	Akcelerometry.....	15
3.1.2	Rotace.....	16
3.1.3	Ultrazvuk.....	17
3.1.4	Infračervené světlo.....	18
3.1.5	Barometry.....	18
3.1.6	RFID.....	19
3.1.7	Rádiové vlny.....	19
3.1.7.1	Pásmo rádiového přenosu.....	21
3.1.7.2	RSSI.....	22

3.2	Metody ke zjištění pozice.....	23
3.2.1	Nejbližší stanice.....	23
3.2.2	Trilaterace.....	24
3.2.3	Triangulace.....	26
3.2.4	Fingerprint.....	27
4	Technologie iBeacon.....	29
4.1	Technologie Bluetooth.....	29
4.1.1	Bluetooth Low Energy.....	30
4.2	Zařízení iBeacon.....	31
4.2.1	Vlastnosti.....	31
4.2.2	Formát zprávy.....	32
5	Návrh aplikace.....	34
5.1	Funkční požadavky.....	34
5.1.1	Dimenze prostoru.....	34
5.1.2	Mobilní platforma.....	34
5.1.3	Spotřeba energie a paměti.....	35
5.1.4	Centralizované vs. decentralizované řešení.....	35
5.1.5	Lokalizace.....	36
5.1.6	Výpočet vzdáleností.....	36
5.1.7	Nahrávání vlastní mapy.....	36
5.2	Výběr technologií.....	37
5.2.1	Operační systém Android.....	37
6	Implementace.....	40
6.1	Cílové Android API.....	40
6.2	Oprávnění.....	40
6.3	Knihovny.....	41
6.4	Struktura aplikace.....	42
6.4.1	Rozdělení balíčků.....	42

6.4.2	Reprezentace mapy.....	45
6.4.3	Obrazovky.....	48
6.4.4	Lokalizace.....	50
6.4.4.1	Určování vzdáleností.....	50
6.4.4.2	Určování pozice.....	52
7	Testování.....	53
7.1	Použitá zařízení.....	53
7.1.1	iBeacony.....	53
7.1.2	Přijímač.....	53
7.2	Ověření vzdáleností.....	53
7.3	Měření přesné polohy.....	57
8	Shrnutí výsledků.....	60
8.1	Pokrytí funkčních požadavků.....	60
8.2	Přesnost algoritmu.....	60
9	Závěr.....	62
9.1	Možné zlepšení aplikace.....	62
10	Seznam použité literatury.....	63
11	Přílohy.....	68

Seznam obrázků

Obr. 1: Sextant.....	3
Obr. 2: Struktura mobilní sítě.....	8
Obr. 3: Princip akceleračních senzorů.....	16
Obr. 4: Princip gyroskopu.....	17
Obr. 5: Spektrum elektromagnetického záření.....	20
Obr. 6: Metoda trilaterace.....	24
Obr. 7: Soustava kružnic bez průniku.....	25
Obr. 8: Triangulace.....	27
Obr. 9: Estimote iBeacony.....	31
Obr. 10: Struktura iBeacon paketu.....	32
Obr. 11: Podíl prodeje chytrých telefonů podle operačního systému (2Q/2016).....	37
Obr. 12: Diagram modelových tříd.....	46
Obr. 13: Diagram propojení aktivit a fragmentů.....	48
Obr. 14: Graf vypočítané vzdálenosti 2 metry od iBeaconu.....	54
Obr. 15: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (2 metry)..	54
Obr. 16: Graf vypočítané vzdálenosti 5 metrů od iBeaconu.....	55
Obr. 17: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (5 metrů)..	55
Obr. 18: Graf vypočítané vzdálenosti 8 metrů od iBeaconu.....	56
Obr. 19: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (8 metrů)..	56
Obr. 20: Testovaný Bod A.....	57
Obr. 21: Testovaný Bod B.....	57
Obr. 22: Graf odchylky měření pozice v místě bodu A.....	58
Obr. 23: Graf odchylky měření pozice v místě bodu A.....	58
Obr. 24: Náhled výběru map.....	69
Obr. 25: Náhled zobrazení mapy.....	69
Obr. 26: Náhled lokalizace.....	69
Obr. 27: Náhled vzdáleností.....	69
Obr. 28: Náhled importu mapy.....	70
Obr. 29: Náhled menu.....	70

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení elektromagnetických vln podle vlnové délky.....	21
Tabulka 2: Zastoupení API levelu v zařízeních se systémem Android (7.11.2016)..	39
Tabulka 3: Přehled výsledků měření vzdálenosti od iBeaconu.....	57
Tabulka 4: Přehled výsledků měření pozice v konkrétních bodech.....	59

Seznam vzorců

Vzorec 1: Tlak vzduchu ve standardním počasí.....	18
Vzorec 2: Vztah vlnové délky, frekvence a rychlosti šíření.....	20
Vzorec 3: Výpočet potenciálního RSSI na základě výkonu vysílače.....	22
Vzorec 4: Ztráta signálu při rozdílném natočení antén.....	22
Vzorec 5: Soustava lineárních rovnic k výpočtu průniku kružnic.....	24
Vzorec 6: Výpočet RSSI z referenčního signálu a vzdálenosti.....	25
Vzorec 7: Výpočet vzdálenosti pomocí RSSI.....	26

1 Úvod

Je to již více než 40 let, kdy ve Spojených státech začal vývoj globálního polohovacího systému (GPS). Kvůli jeho potenciálu se tento zpočátku armádní projekt začal počátkem 90. let rozšiřovat i do civilní sféry a dnes slouží pro navigační a lokalizační potřeby obyvatel po celé zemi.

Avšak družice, které tento systém využívá, jsou ve vzdálenosti přibližně 20000 km nad zemským povrchem. Z tohoto důvodu přichází na zemský povrch velmi malý signál, který je v případě překážek mezi družicí a přijímacím zařízením zeslaben natolik, že dochází i k jeho ztrátě. Takovými překážkami mohou být velice špatné počasí, zalesněné prostory, nebo nejčastěji zastavěné oblasti. A právě budovy a jiné uzavřené objekty způsobují kompletní ztrátu signálu. Chceme-li využít lokalizaci uvnitř těchto objektů, musíme se poohlédnout po jiné technologii schopnou realizovat tyto potřeby [1, 2]. Jednou z mnoha takových technologií jsou zařízení zvaná iBeacony. Jedná se o protokol vyvinutý společností Apple Inc.¹, který definuje formát datové zprávy (paketu), která je zasílána prostřednictvím technologie Bluetooth Low Energy. [3].

Tato práce je zaměřena na problematiku indoor lokalizace. Jsou zde popsány problémy, na které lze v této oblasti narazit, dále navigační technologie, kterými lze tyto problémy řešit. Bližší pohled je věnován technologii iBeacon a Bluetooth Smart. Součástí práce je i návrh a implementace mobilní aplikace pro operační systém Android, která slouží jako ukázka využití této technologie při lokalizaci v uzavřených objektech.

¹ <http://www.apple.com/>

2 Navigační systémy

V dnešním technologickém světě narazíme na celou řadu navigačních systémů. Jsou nedílnou součástí života mnoha lidí na zemi, ať už se jedná o satelitní navigaci v automobilech, přes mapy využívající GPS v mobilních telefonech, až po prosté ukazatele směrů na ulicích či v budovách. V následující kapitole jsou popsány technologie z hlediska historie a technologie využívané v současnosti.

2.1 Historie navigace

Počátky navigace sahají ještě do doby před naším letopočtem. Již dávní mořeplavci (okolo 3500 př. n. l.) byli nuceni při svých cestách využívat k orientaci okolní krajinu (ostrovy). Později, kdy již plavby nebyly jen pouhou denní záležitostí, sloužila k orientaci noční obloha (zejména poloha měsíce a hvězd). Za první větší průlom se dá považovat doba přibližně 150 př. n. l., kdy jeden z největších antických astronomů Hipparchos rozdělil celou Zemi na poledníky a rovnoběžky. V devátém století přispěli Arabové do navigační historie vynálezem kamalu – destičky s provázkem pro měření zeměpisné šířky. Používal se pro navigaci při cestách pouští. Tento vynález se posléze dostal do Indie a Číny.

Ještě před kamalem byl v Číně vynalezen patrně nejznámější navigační prostředek - kompas. První zmínky o kompasu sahají dokonce až do doby 200 př. n. l., avšak do Evropy se magnetický kompas dostal až někdy kolem roku 1300. Sloužil zejména mořeplavcům při jejich plavbách napříč všemi oceány. Kvůli nedostatkům magnetického kompasu (citlivost na okolní vlivy či magnetická deklinace²) byl vyvinut jeho nástupce gyrokompas.

V 15. století se začaly objevovat první přístroje měřící úhly na obloze nebo výšky viditelných hvězd. O další století později byly již k dispozici rozsáhlé námořní mapy s velice konkrétními hranicemi přímořských oblastí. Od 17. století se používaly přístroje využívající zrcadla k pozorování více objektů současně. To umožnilo pozorovat úhlovou vzdálenost.

² Magnetická deklinace je úhlový rozdíl mezi směry k zeměpisnému a magnetickému severnímu pólu Země. Liší se v závislosti na poloze na Zemi. Kvůli tomuto rozdílu magnetický kompas neukazuje správně zeměpisný severní pól.

V 18. století byl vynalezen sextant, který se stal až do poloviny 20. let hlavní pomůckou při určování zeměpisné polohy. V principu se jednalo o výpočet rozdílu vypočtené astronomické polohy slunce na místě předpokládané polohy a určení korekce polohy k místu skutečného měření.



Obr. 1: Sextant.

Zdroj: <http://ntm.cz/data/info/nove-prirustky/prirustky/prirustky-foto/sextant.jpg>

Dalším pomocníkem při určování pozice se stal námořní chronometr. Ten díky vysoké přesnosti dokázal určit čas s přesností na sekundy a spolu s rychlostí, jakou se loď pohybovala, pomáhal určit zeměpisnou délku.

Konec 19. století se může považovat za dobu objevení rádiových vln a počátek radionavigace. Ve spolupráci s chronometry se stalo určování zeměpisné délky daleko přesnější. Po druhé světové válce, s rozvojem elektroniky a elektrotechniky, se začaly rozvíjet moderní navigační techniky. V roce 1957 vyslal Sovětský svaz na oběžnou dráhu první družici Sputnik 1 a položil tak základ družicové navigaci, kterou využíváme dodnes [4, 5, 6].

2.2 Družicové navigační technologie

V éře moderní navigace zaujímají nejvyšší příčky družicové navigační systémy. Činnost některých byla již ukončena, jiné představují hlavní způsoby lokalizace. Navigace funguje pomocí družic rozmístěných na oběžné dráze v různém počtu a sklonu. Vysílají rádiový signál, ve kterém přenášejí informace, ze kterých lze spočítat polohu. Takovými informacemi mohou být přesný čas na družici (tzv.

dálkoměrná metoda, využívaná např. systémy GPS, GLONASS či GALILEO), nebo jen prostý signál, z něhož lze pomocí speciálních antén zjistit úhly družic (metoda úhломěrná, metoda interferometrická) a pomocí nich vypočítat pozici [7].

2.2.1 TRANSIT

Tento družicový polohovací systém byl původně určen pro námořnictvo USA. Sloužil pro lokalizaci lodí a ponorek, později i pro letadla a hydrografický a geodetický výzkum. Poprvé byl uveden v činnost v roce 1964 pod názvem NAVSAT. Pro civilní účely sloužil od roku 1967. Jeho přesnost byla zprvu na nízké stovky metrů, s postupem vývoje se dokázalo dosáhnout přesnosti na desítky metrů. Jednalo se o pasivní systém, kdy komunikace probíhala pouze ze strany družice k přijímači. Jeho činnost byla ukončena v roce 1996. V Sovětském svazu vznikl počátkem 70. let velmi podobný systém Tsikada [7].

2.2.2 Global Positioning System (GPS)

Dnes nejpoužívanější družicový civilní lokalizační systém byl stejně jako jeho předchůdce TRANSIT vyvíjen pro vojenské účely v USA. První funkční satelit byl vypuštěn roku 1978. O rok později byl původní návrh obsahující 18 družic rozšířen na 24. Od roku 1980 byly družice doplněny o senzory pro detekci jaderných výbuchů. V roce 1983, kdy ruský stíhač ve vzdušném prostoru SSSR sestřelil civilní dopravní letadlo s 269 lidmi na palubě, oznámil tehdejší americký prezident Ronald Regan civilní využití GPS po jeho dokončení. Plné operační schopnosti bylo dosaženo na konci roku 1994 a od roku 1996 byl GPS předán vládnímu výboru IGEB³ ke koordinaci. Úkolem IGEB je řízení vývoje GPS, jeho směřování v souladu s národní bezpečností a zajištění jeho dostupnosti pro celosvětové mírové, vědecké a komerční využití.

GPS nabízí dvě základní služby – standardní službu navigace (SPS⁴) pro civilní užití a přesnou službu navigace (PPS⁵) jako vojenskou službu. SPS je k dispozici všem uživatelům, kteří mají GPS přijímač, zatímco PPS slouží uživatelům s licenci od americké vlády. Přesnost SPS byla záměrně narušována, aby nedocházelo

3 Interagency GPS Executive Board

4 SPS – Standard Positioning Service

5 PPS – Precision Positioning Service

ke zneužití nepřátelskými silami (tzv. selektivní dostupnost). Od září roku 2005 byly na oběžnou dráhu vyneseny družice s dalšími navigačními signály jak pro PPS, tak SPS. Po této aplikaci bylo dosaženo horizontální přesnosti pro SPS asi 3,8 m, u PPS asi 1,2 m.

Současná podoba GPS sestává ze tří segmentů:

- **Kosmický segment** - pracuje s nominální konstelací 24 družic na drahách v 6 rovinách, ve výšce cca 20 tisíc km, sklonem drah 55° a oběžnou dobou 11 hodin 58 minut. Maximální počet současně aktivních družic je stanoven na 36. Jsou vybaveny například atomovými hodinami, vysílačem, procesory a raketovými motory.
- **Řídící segment** – monitoruje funkci družic, zejména stav jejich atomových hodin. Zajišťuje nejrůznější provozní opatření jako jsou správa a údržba stávajících družic, stahování vysloužilých družic z oběžné dráhy a příprava nových, včetně jejich uvádění do provozního režimu. Hlavní centrála se nachází na letecké základně Colorado Springs v Coloradu.
- **Uživatelský segment** – zahrnuje všechny přijímače na zemi.

Princip funkčnosti GPS je založen na vyslání paketu s přesným časem družice (t) přes elektromagnetický signál, který je zachycen přijímací stanicí (v čase $t + \text{prodleva}$ při putování signálu). Z rozdílu obou časů a známé rychlosti šíření signálu dostáváme tzv. pseudovzdálenost, která je zatížena mnoha chybami ovlivněnými útlumem signálu při jeho cestě na povrch. Při obdrženém signálu ze tří družic dokáže přijímací zařízení spočítat velice rychle svoji polohu pomocí metody trilaterace (tato metoda bude podrobněji vysvětlena v další části práce). Signál ze čtvrté družice slouží pro kontrolu výpočtu [1, 6, 7].

2.2.3 GLONASS

Velmi podobný systému GPS je i ruský GLONASS. Jeho vývoj započal již v roce 1970 na základě vydaného dokumentu Ministerstvem obrany SSSR. První testovací družice byla vypuštěna až o 12 let později. Své plné schopnosti dosáhl v roce 1995,

avšak provázela jej řada problémů. V roce 2002 bylo v provozu jen 8 družic, což činilo systém prakticky nepoužitelným. Za spolupráce Ruska s Indií se nakonec podařilo systém znovu plně zprovoznit v roce 2008 a o 3 roky později již pokrýval celou Zemi.

Podobně jako GPS je rozdělen do tří segmentů. V kosmickém je v provozu 24 družic ve vzdálenosti 19 tisíc km nad zemským povrchem. Nachází se ve 3 rovinách pod úhlem $64,8^\circ$ a jejich doba oběhu je zhruba 11 h 15 m. Díky identickému opakování rozmístění družic kolem Země každých 8 dní a vhodné konstelaci rozmístění je zajištěna viditelnost minimálně šesti a maximálně jedenácti družic kdekoli na zemském povrchu. Nedostatkem tohoto systému byla krátká životnost družic na rozdíl od systému GPS, kde družice dalece přesluhují svoji životnost.

Řídící segment je kompletně umístěn na území bývalých států SSSR. Hlavní řídicí centrum se nachází v Krasnoznamencku poblíž Moskvy. Zde se zpracovávají zprávy z ostatních telemetrických a monitorovacích stanic a probíhají zde korekce hodin a přípravy aktualizací zpráv, které jsou přes telemetrické stanice odesílány zpět na družice [6, 7].

2.2.4 GALILEO

Tento systém, spravovaný Evropskou unií (přesněji Evropskou komisí jako jejím reprezentantem), zatím není plně v provozu a stále probíhá jeho nasazení a testování. První družice byla vyslána do vesmíru v roce 2005. Jeho spuštění je v současné době plánováno na rok 2018. Na rozdíl od systémů GPS a GLONASS je tento systém vyvíjen primárně pro civilní účely. Systém by měl jeho uživatelům poskytnout přesnost lepší než jeden metr.

Kosmický segment počítá ve svém plném nasazení se 30 družicemi (27 v provozu + 3 záložní) ve výšce 23 tisíc km a sklonem 56° . Družice jsou vybaveny dvěma typy hodin – vodíkovými (atomové, sloužící jako primární) a záložními rubidiovými.

Řídící centra systému budou rozmístěna po celém světě. Hlavní řídicí centra, která se v budoucnu budou schopna synchronizovat a vykonávat navzájem své funkce, se nacházejí v německém Oberpfaffenhofenu a italském Fucinu [6, 7, 8].

Bude poskytovat celkem 5 služeb:

- **Základní služba** (Open Service) – základní signál poskytovaný zdarma.
- **Komerční služba** (Commercial Service) – oproti základní službě bude využívat další 2 signály. Ty budou chráněny kódováním a přístup k nim bude řízen na přijímací stanici pomocí přístupového klíče uděleného budoucím správcem.
- **Veřejně regulovaná služba** (Public Regulated Service) – kontrolovaný přístup pro určené uživatele. Autorizace bude deklarována státními orgány EU především pro bezpečnostní složky států.
- **Služba se zajištěnou bezpečností** (Safety of Life) – bude sloužit k integritě pro kritické aplikace. Primárně se jedná o zlepšení základní služby rychlým varováním v případě poruch.
- **Tísňová služba** (Search and Rescue) – nouzová lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS/SARSAT⁶ s možností oboustranné komunikace.

2.2.5 Compass

Jako poslední z velkých družicových polohovacích systémů stojí za zmínku čínský Compass. Ten navazuje na svého předchůdce systém BeiDou, který je pouze regionálním systémem. Compass je plánován coby globální systém. Jeho vývoj začal již v 90. letech (jednalo se právě o systém BeiDou) a první družice se dostala na oběžnou dráhu roku 2000. Pro vojenské účely byl plně funkční v roce 2003 a o rok později i pro civilní sféru. Stále se však jednalo pouze o regionální řešení systému BeiDou.

Compass podobně jako GALILEO není v plném provozu. V konečné podobě se počítá s 35 družicemi, 27 z nich bude na oběžné dráze ve výšce asi 21 tisíc km při inklinaci 56° a 3 ve výšce 36 tisíc km a inklinací 50°. Obsahovat bude dva režimy. Bezplatná služba bude sloužit běžným uživatelům a bude dosahovat přesnosti

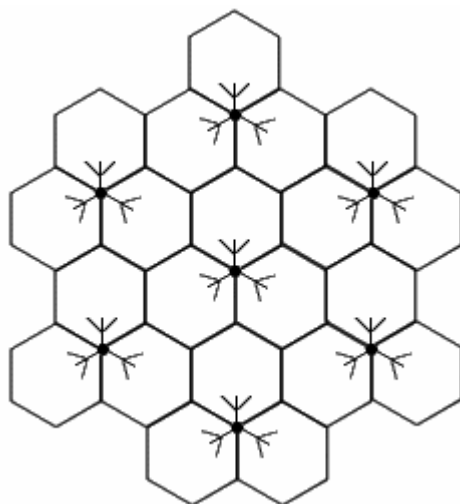
⁶ Mezinárodní družicový systém pro službu pátrání a záchrany.

zhruba deseti metrů. Koncesovaná služba bude řádově přesnější a bude sloužit vojenským a integritním účelům [6, 7].

2.3 Mobilní síť

V 80. letech došlo v Evropě k rychlému růstu analogových celulárních systémů. Každá země si však vyvíjela svůj systém a ten tak byl omezen pouze na území daného státu. To vedlo v roce 1982 k vytvoření standardizační skupiny GSM (Group Spécial Mobile), která měla za úkol vytvořit nový systém kompatibilní v celé Evropě. Tato skupina navrhla digitální technologii pro přenos hovorů a signalizace a v roce 1993 existovalo již 36 sítí ve 22 zemích [9]. Tato technologie přijala název GSM, avšak význam této zkratky je interpretován jako Global System for Mobile Communication. GSM síť slouží primárně pro přenos hovoru a krátkého obsahu (SMS). Jejich nástupce, síť 3. generace UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), je zaměřen na vylepšení zasílání multimediální obsahu [10].

Stejně jako v případě družicových systémů i mobilní síť využívá k přenosu dat rádiové vlny. Struktura sítě se však na rozdíl od družicových systémů nenachází ve vesmíru, nýbrž na povrchu Země. Jedná se o celulární síť, kdy je požadovaný prostor pokryt vysílacími stanicemi a uživatel je vždy připojen pouze k nejbližší z nich, jak je zobrazeno na Obr. 2.



Obr. 2: Struktura mobilní sítě.

Zdroj: převzato z [1].

Skládá se ze tří hlavních subsystémů:

- **Subsystém základových stanic** (Base Station Subsystem) – komunikují s mobilními stanicemi a pokrývají buňky sítě. Několika základovým stanicím je přiřazena řídicí základová stanice (Base Station Controller), která se stará o přidělování a uvolňování kanálů pro komunikaci.
- **Síťový spojovací subsystém** (Network Switching Subsystem) – obsahuje především ústřednu, která kromě klasických funkcí telefonní ústředny spravuje i identifikační databáze.
- **Operační subsystém** (Operation Support Subsystem) – zabezpečuje provoz předchozích dvou subsystémů. Obsluhuje blok dohledového centra řešící administrativní úlohy, a dále bloky centra řízení sítě, provozního centra a servisního centra.

Díky této struktuře se dá mobilní síť využít k lokalizaci. Nejjednodušším a také nejméně přesným způsobem, jak docílit zjištění pozice, je považování své aktuální pozice za pozici stanice, ke které je přijímač připojen. Vše potřebné k tomu GSM síť poskytuje, neboť v signálu jsou předávány i identifikační údaje zachycené stanice. Odchylna od skutečné pozice závisí na hustotě buněk sítě. Buňka by dle standardu GSM neměla mít větší poloměr než 35 metrů. Dalšími způsoby, jak určit polohu pomocí mobilní sítě, jsou zjištění vzdáleností či úhlů z okolních stanic. Jejich údaje lze z přijímacího zařízení také získat, ačkoli je vždy připojena právě jedna [1, 10].

2.4 IEEE 802.11 WLAN

Počátky této technologie sahají do roku 1985, kdy americký telekomunikační úřad FCC uvolnil část rádiového pásma o kmitočtu 2,4 GHz pro civilní účely a bez poplatku. V roce 1980 založil institut IEEE⁷ rodinu standardů IEEE 802, které sloužily ke specifikaci lokálních i metropolitních sítí. První bezdrátový standard nesl označení 802.11 a byl vydán v roce 1997. Využíval zmíněného rádiového pásma a jeho propustnost byla 2 Mbit/s⁸. Postupem času docházelo k vydávání

⁷ Institute of Electrical and Electronics Engineers

⁸ Tehdejší ethernetové sítě pracovali s propustností 10 Mbit/s.

nových standardů pro 802.11. Ty se lišily především v propustnosti, ale také v užívaném rádiovém pásmu. Po pásmu 2,4 GHz se začalo používat i pásmo 3,7, 5 a 60 GHz. V současnosti nejrychlejší standard nese označení IEEE 802.11ad s propustností až 7 Gbit/s [11, 12].

Bezdrátové sítě mohou sloužit navigačním účelům užitím stejného principu jako mobilní sítě. Hustota sítě závisí především na koncentraci obyvatel, protože se dnes Wi-Fi⁹ stanice nacházejí téměř v každé domácnosti a veřejných budovách. Pomocí antény s Wi-Fi modulem má přijímací zařízení přehled o všech stanicích, které jsou v jeho dosahu. Tyto informace, společně s informacemi o poloze stanic, již postačují k lokalizačním účelům. Společnost Google¹⁰ již nyní ve svém projektu Google Street View Project¹¹ provádí kromě sběru fotografických snímků i sběr GPS pozic a Wi-Fi signálů. Taktéž spustí-li uživatel při běhu aplikace Google Maps svůj Wi-Fi přijímač, provádí sběr údajů o Wi-Fi sítích pro Google [11].

Dosah Wi-Fi sítí je běžně udáván v desítkách metrů. V neobydlených oblastech, kde nelze žádný signál zachytit, by nebylo možné užít této lokalizační technologie. Ačkoli nebyly Wi-Fi sítě vytvořeny k účelům navigace, ale primárně k datovému přenosu, jejich schopnost vysílat rádiový signál do svého okolí společně s umístěním v budovách z nich dělá výborný a dnes běžně používaný prostředek pro řešení indoor navigace.

2.5 Indoor navigace

Pojem indoor navigace označuje takovou navigaci, která probíhá uvnitř uzavřených objektů, kde není přímá viditelnost oblohy či okolí, jako jsou budovy či rozsáhlejší stavby nebo areály. Pro snazší označení takových prostor bude toto pojmenování použito napříč celou prací.

Dosud zmíněné navigační systémy slouží k poměrně dobré navigaci ve venkovních prostorech, kde se přesnost pohybuje mezi jednotky metrů (družicové systémy) až desítky metrů (GSM). Indoor lokalizace však s sebou přináší mnohem přísnější

9 Označení Wi-Fi (Wireless Fidelity) je obchodní značka pro bezdrátové sítě WLAN.

10 <https://www.google.cz/intl/cs/about/>

11 <https://www.google.com/streetview/>

nároky na přesnost. Nacházíme-li se v klasické kancelářské budově, je znalost polohy s odchylkou 50 metrů téměř nepoužitelná, A proto tyto metody nejsou s výjimkou Wi-Fi sítí dostačující. V otevřeném prostoru se nenachází tolik překážek jako v areálech a budovách, které by blokovaly senzory při sběru dat potřebným k lokalizaci.

2.5.1 Využití indoor navigace

Důvody, proč chceme používat poziční systém v uzavřených prostorách, jsou velice blízké těm, které již řešíme běžnou lokalizací. Pokud nám satelitní navigace pomáhá úspěšně zdolat větší vzdálenosti při cestování dopravními prostředky poskytnutím správného směru cesty, stejnou funkci můžeme požadovat i od indoor navigace.

Dobrym příkladem jsou obchodní domy. V nich se nachází desítky obchodů s nejrůznějším sortimentem zboží. Nejjednodušším typem navigace v takovém prostředí jsou ukazatele směrů s cílem. Ty jsou rozmístěny na stěnách, dlažbě či stropech. V pokročilejším případě jde i o interaktivní tabule, kde si návštěvník může najít cestu k požadovanému zboží. Tyto značky a tabule však nemohou být rozmístěny na každém kroku a nacházejí se zpravidla na strategických místech, jakou jsou východy a křižovatky. Pokud bychom měli k dispozici službu, která nás dokáže správně nasměrovat z každého místa, ve kterém se nacházíme, kamkoli jinam, ušetřila by nám spoustu času i sil. Některé obchodní domy jsou však záměrně konstruovány tak, aby zákazník při hledání požadovaného typu (např. oděvy) musel mezi jednotlivými obchody s oblečením projít kolem obchodů s odlišným typem zboží s cílem podnítit jeho zájem k nákupu něčeho, pro co si vlastně vůbec nepřišel.

Kromě komerční sféry se uplatnění indoor lokalizace dá nalézt i v dopravě, jedná-li se zejména o obrovské letištní terminály. Ty obsahují spoustu míst (odbavovací hala, brána k letadlu a další.), ke kterým musí účastník letu absolvovat cestu a to ve značně hustém prostředí. Pokud dojde někdy i k malému zpoždění, následky mohou být pro onoho účastníka obrovské jak ekonomicky, tak i časově. Zároveň by lokalizační prostředky mohly sloužit personálu letiště k lepší koordinaci a zajištění

bezpečnosti. To se ostatně týká všech míst, kde se koncentruje větší množství osob, na které musí bezpečnostní složky objektu dohlížet.

Posledním příkladem v této podkapitole je budova nemocnice. Ta obsahuje spoustu kanceláří, sálů, lůžek, výtahů, schodišť a sociálních zařízení. Jedná se o objekt, ve kterém může být velice složitá orientace. Stejně jako v nákupních domech i zde je nejsnazším způsobem navigace pomocí cedulí a šipek. I s nimi je však časově náročné najít požadovaný úsek. Navíc se jedná o prostředí, kde mohou o lidském životě rozhodovat vteřiny a tak je přinejmenším žádoucí znát pozici relevantních osob.

2.5.2 Problémy k řešení

Ať už se rozhodneme pro jakékoliv řešení, neobejdeme se při řešení úlohy bez vhodné struktury a topologie. Strukturu lze ve většině případů¹² rozdělit na 3 hlavní složky – vysílací zařízení, přijímací zařízení a zmapované prostředí.

- **Vysílací stanice** – v závislosti na topologii mohou být rozmístěny po požadovaném prostoru, nebo cestovat se subjektem určeným k lokalizaci. Produkuje nějaký druh signálu (rádiové vlny, infračervené záření, ultrazvuk, video záznam a další).
- **Přijímací zařízení** – obsahují senzory, čidla nebo antény. Signál je zpracován a vyhodnocen, nebo odeslán na příslušná centrální místa. V místech, kde nelze signál zachytit, není možné zjistit polohu nebo jen velmi hrubě (např. místo, ve kterém došlo ke ztrátě signálu apod.).
- **Mapa objektu** – vždy se jedná o nějaký druh souřadnicového systému. Vysílací stanice musejí být v této mapě identifikovatelné pro výpočet požadované pozice přijímacího zařízení.

Je-li pokryt prostor vysílači a signál je zachytáván senzory, následuje otázka lokalizační topologie. Podle [11, 13] rozlišujeme 4 hlavní topologie:

¹² Existují lokalizační techniky, při kterých je užito pouze vlastních senzorů (např. krokoměr) a známého prostředí.

- 1) Senzory rozmístěné v okolí snímají signál vysílače, který se pohybuje. Signály jsou sbírány a vyhodnoceny nadřazeným systémem.
- 2) Přijímačem signálu je mobilní jednotka, která monitoruje okolní vysílače ve známých lokacích. Má schopnost z nasbíraných údajů sama spočítat svojí polohu.
- 3) Třetí topologie je podobná druhé. Přijímací jednotka však signály nevyhodnocuje v polohu, ale odesílá je centrální stanici, která obsahuje databázi vysílačů a provádí lokalizaci.
- 4) Poslední topologie rozvíjí předchozí, kdy je konečná poloha zasílána z centrální stanice zpět přijímací stanici, která tak zná údaje o své pozici.

Obecným problémem indoor navigace jsou překážky, které se v požadovaném objektu nacházejí. V téměř každé větší budově se nachází velký počet zdí, dveří, oken, podlah. Překážkou jsou i samotní lidé nacházející se v objektu. To značně komplikuje situaci, kdy potřebujeme zajistit dosažitelnost signálu k přijímacím zařízením.

2.5.3 Požadavky na řešení

Abychom mohli zvolit vhodný způsob řešení indoor navigace, je potřeba zvážit určité faktory, které jednotlivá řešení přinášejí. Protože existuje více metod, jak tuto problematiku řešit, jejich odlišnosti nám pomáhají s výběrem té správné technologie a způsobu užití. Podle [13] evidujeme 5 hlavních měřítek:

- A) **Přesnost** – patrně nejdůležitější ze všech měřítek, ale rozhodně ne jediné. Jedná se o průměrnou euklidovskou vzdálenost mezi zjištěnou (odhadovanou) vzdáleností a skutečnou vzdáleností, která je daným řešením poskytována. Čím větší přesnost řešení poskytuje, tím lepší systém je. Avšak obvykle se tento parametr negativně projeví v dalších měřítkách. Proto je potřeba zvážit kompromisní řešení.
- B) **Složitost** – může se jednat o hardwarovou složitost, softwarovou, nebo o jiné provozní faktory. Při počítání složitých algoritmů, kterými počítáme

polohu, může být vhodnější centralizované řešení, kdy nadřazená jednotka s vyšším výkonem je schopna efektivněji řešit takovou úlohu oproti jednotlivým mobilním stanicím. Naopak jednodušší struktury mohou být počítány přímo na přijímacích stanicích lokalizované jednotky. Složitost ovlivňuje nejen přesnost ale i čas, v jakém jsme schopni výsledky zpracovat a spolehlivě doručit.

- C) **Spolehlivost** – systém s vysokou spolehlivostí dokáže zajistit svou funkcionalitu i při výpadku několika signálů či jejich zdrojů. Kvůli překážkám, které se v objektech nacházejí, dochází nečastěji ke ztrátě signálů a to může mít přímý dopad na chod celého systému. Systém, který umí pracovat s nekompletními informacemi (např. při výpadku zdroje signálu), může hrát pro zákazníka důležitou roli.
- D) **Škálovatelnost** – neboli rozšiřitelnost celého systému. Prostory, které pokrýváme, se mohou rozrůst a to může mít dopad na výsledné měření pozice. Výkon se může razantně snížit se zvýšením vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Systém by měl být schopen rozšířit svoji funkčnost na dvou frontách: geografické a hustotní. Geografická fronta znamená pokrytí celého měřeného prostoru. Hustotou se rozumí počet lokalizací pokrytých jednotek na určitém prostoru a za určitý čas. S větším počtem vysílačů v oblasti roste i počet signálů, s větším počtem přijímačů zase větší počet požadavků na výpočet polohy. Počítá-li systém ve svém schématu pouze s 2D lokalizací, 3D varianta může být velice těžko dosažitelná.
- E) **Cena** – může záviset na všech předchozích metrikách. Zahrnuje v sobě peníze, čas, prostor, energii, a jiné. Čas závisí na instalaci a udržování systému. Požadavek na počet vysílačů může ovlivnit cenu nejen financí, které jsme schopni investovat do řešení, ale i prostor, který budou stanice zabírat. Některé technologie mají takřka neomezenou životnost (např. pasivní RFID), zatímco jiné vydrží pouze několik hodin bez dobíjení energie.

3 Navigační metody

V předchozí kapitole byly zmíněny vysílací stanice, které produkují určitý druh signálu, pomocí kterého probíhá samotná lokalizace. V této kapitole budou popsány možné druhy těchto signálů. Dále zde budou popsány metody, pomocí kterých se ze zmíněných signálů vypočítává poloha přijímacího zařízení. Ke zpracování bylo čerpáno především ze zdrojů [1, 14, 15].

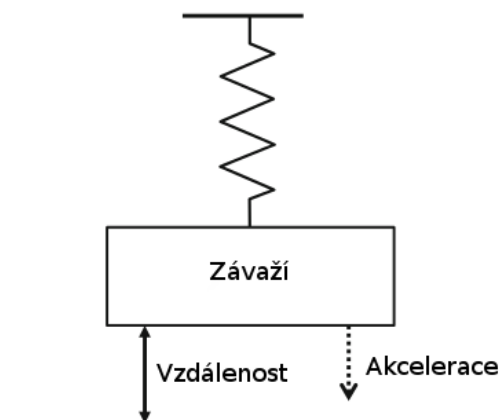
3.1 Navigační signály a senzory

Vysílací stanice produkují signál, který je zachycen přijímacími stanicemi. Lidé od počátku používají k příjmu signálů své smysly a díky nim se orientují. Ne každý signál lze však lidským tělem zachytit. Stejně tak ne každý signál umí zdolat překážky nacházející se ve zmapovaném prostoru. To ovlivňuje množství vysílačů či senzorů, kterými jsme nuceni vybavit požadovaný prostor k lokalizaci a to má zase přímý dopad na cenu takového řešení. Volba signálu závisí také na možnostech, které máme jako potenciální zákazník pro indoor navigaci. Již nyní je v praxi použita povětšinou kombinace různých signálů.

3.1.1 Akcelerometry

Akcelerace je hodnota změny rychlosti měřené jednotky s ohledem na její vlastní setrvační kostru. Z pohledu mobilního zařízení se jedná o zajímavou veličinu, neboť může být měřena přímo v něm. Je generována translačními (posuvnými) a rotačními pohyby tělesa. Jedná se o přesnou, robustní a prakticky využitelnou metodu k monitorování pohybu objektů a lidí. Mechanismus reaguje na frekvenci a intenzitu pohybu. Hlavní princip měření akcelerace spočívá ve sledování dopadu zrychlení na závaží zavěšené na pružině (znázorněno na Obr. 3). Toto závaží při pohybu mění svoji polohu, dokud se pružina nezastaví. Nyní stačí ke zjištění akcelerace změřit posun závaží. Obecně se však akcelerometry musejí vypořádat se dvěma hlavními problémy. První spočívá v zemské gravitaci, která je v měření zahrnuta. Aby byl tento nedostatek odstraněn, je nutné použít další senzory, které by snímaly orientaci akcelerometru vzhledem k Zemi a bylo tak možné z konečného výsledku odečíst zemskou akceleraci. Druhý problém spočívá

v měření akcelerace pouze ve směru, ve kterém je zavěšeno závaží, protože jiné směry nemusejí být vůbec zaznamenané.



Obr. 3: Princip akceleračních senzorů.

Zdroj: převzato z [14].

Dnešní akcelerometry jsou označovány jako mikroelektromechanické systémy (MEMS). Pracují na stejném principu popsaném výše, jejich komponenty jsou však velice malé. Měření pohybu v nich probíhá pozorováním změny kapacity kondenzátoru. V jednom zařízení se obvykle nacházejí tři takovéto akcelerometry zabalené v jeden pro měření akcelerace ve třech nezávislých osách. Jedná se o malou a levnou součástku s dobrým rozsahem měření, která je součástí téměř každého smartphonu¹³.

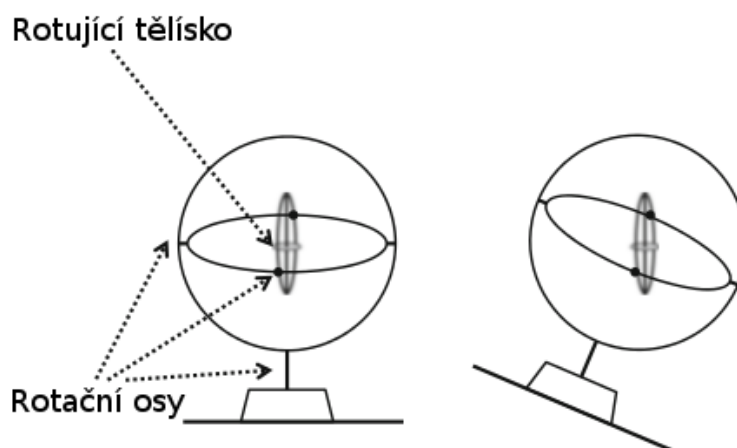
Ačkoli se nejedná přímo o akcelerometr, dalším známým prostředkem využívajícím k měření vzdálenosti pohyb je krokoměř. Jedná se o přenosné elektrické či elektromechanické zařízení zaznamenávající každý krok člověka detekcí pohybu jeho těla. V případě navigace se jedná o velice prosté řešení, avšak náchylné k chybám plynoucím z odlišnosti velikosti i chůze každého jedince nebo rozličností terénu. Závislý je pak také na předem zadaném parametru délky kroku jeho majitele.

3.1.2 Rotace

U akcelerometrů byl zmíněn problém s nepřesností způsobenou rotací Země, kdy je zapotřebí dalšího senzoru. Takovým senzorem může být gyroskop. Základní

¹³ Chytrý telefon disponující operačním systémem a aplikačním rozhraním.

myšlenka gyroskopu je založena na fyzikálním zákonu zachování momentu hybnosti. Jedná se o rychle rotující tělísko (setrvačnick) usilující o zachování polohy osy své rotace. Kolem něj se nachází tři otáčející se kruhy reagující na aktuální natočení vzhledem ke svému okolí. Tato rotace točící se konstrukce v porovnání se základnou může být změřena a poskytuje robustní metodu v detekci rotace.



Obr. 4: Princip gyroskopu.

Zdroj: převzato z [14].

3.1.3 Ultrazvuk

Z hlediska indoor navigace se zvuková a ultrazvuková zařízení stala důležitým typem senzoru. Je to díky tomu, že okolní hluk lze zachytit mikrofonom, což může stačit k odlišení prostředí a tedy i pozice. Ultrazvukové vlny bývají často použity v pozičních systémech díky jejich vítaným vlastnostem: lidé je typicky neslyší a lze je snadno zachytit díky jejich pomalejší rychlosti šíření. To má však za následek kratší dosah, což jeho vhodnost použití omezuje rozsahově na místnost. Mimo ni je signál velice slabý. Z těchto vlastností vyplývá, že jeho použití je vhodné k rozlišení míst z hlediska lidského vnímání.

Senzory pracují na principu, který lze snadno vysvětlit. Mikrofon zachytává vibrace vyvolané zvukem a ty převádí na elektrický signál. Například kondenzátorový mikrofon obsahuje tenkou vodivou membránu, která je zvukovými vibracemi rozpořhována, což způsobuje nabití kondenzátoru. Ten následně slouží ke generování elektrického signálu z okolních zvuků.

Jedním ze systému, který využíval ultrazvuku při řešení indoor lokalizace, nesl název Active Bat. Vyznačoval se nízkou energickou náročností a dosahoval přesnosti v řádu centimetrů. Kromě ultrazvuku používal i rádiové vlny, pomocí kterých přijal hledaný čip pokyn k vyslání ultrazvukového pulsu. Po jeho vyslání byl signál zachycen okolními senzory. Následně pokud byl signál zachycen alespoň třemi stanicemi, metodou multi-laterace¹⁴ byla zjištěna jeho poloha [18].

3.1.4 Infračervené světlo

S pomocí infračerveného světla fungoval jeden z prvních indoor lokalizačních systému, který nesl název Active Badge System. Ten vysílá periodicky každých 15 vteřin světelný signál, který byl zachycován okolními senzory. Ty byly zapojeny v síti a výsledky odesílaly centrální stanici. Vysílače i senzory mohly být velice malé a signál dosahoval až šestimetrové hranice. Kvůli odrazům od okolních objektů však signály nemohly poskytovat informace o přímém směru a v malých místnostech jejich použití nepřinášelo požadované výsledky. Stejně tak se tento signál nemohl přenášet napříč místnostmi kvůli neprostupnosti zdmi. Lokalizace tímto způsobem nepřinášela špatné výsledky s výjimkou míst s přímým slunečním světlem. Byla však závislá na přímé viditelnosti [16].

3.1.5 Barometry

Barometr je senzor, který je schopen měřit tlak vzduchu. Ten závisí na počasí a nadmořské výšce. Pomocí tohoto senzoru lze vypočítat obě veličiny. Se známými povětrnostními podmínkami lze zjistit tlak a naopak.

Následující vzorec udává vztah mezi tlakem vzduchu a výškou ve standardním počasí a nulové nadmořské výšce:

$$p(h) = 1013,25 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 h}{288,15 m}\right)^{5,255} \text{ hPa} \quad \text{vzorec (1)}$$

Barometr bývá součástí moderních chytrých telefonů a lze jej tak využít k upřesnění lokace v kombinaci s jinými dostupnými senzory.

¹⁴ Jedná se o navigační techniku zjištění pozice na základě znalosti vzdáleností bodů se známými souřadnicemi.

3.1.6 RFID

Tato zkratka označuje identifikaci na rádiové frekvenci, anglicky Radio Frequency Identification. RFID systémy se skládají ze dvou komponent. Těmi jsou RFID čtečka (vysílač) a RFID čip. Čtečky (angl. RFID readers) jsou rozmístěny na strategických místech a vysílají do okolí elektromagnetické pulsy. Ty však mají velmi omezený dosah, pohybující se přibližně mezi 1-2 metry [15]. RFID čipy jsou malé a levné elektrické komponenty, často schopny pouze uložit a odesílat číselnou hodnotu, která slouží k identifikaci.

Rozlišujeme dva druhy RFID:

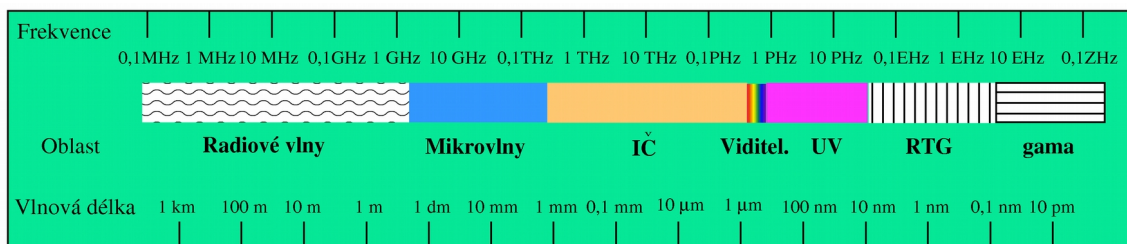
- **Pasivní** – nepotřebují dodatečný přívod proudu. Čipy jsou poháněny RFID čtečkami pomocí indukce. Přijímanou energii využijí k nabití kondenzátoru a odešlou odpověď.
- **Aktivní** – čipy mají vlastní přívod proudu a mohou být použity flexibilněji. Kromě čísel jsou schopny odesílat i další data. Jejich cena je vyšší než u pasivních čipů.

Kvůli malé vysílací vzdálenosti mohou být použity jen velmi omezeně. Čtečky lze však strategicky rozmístit v klíčových prostorech, např. ke dveřím, a rozdělit tak snímaný prostor do jednotlivých zón. Následně pomocí nadřazeného systému, který eviduje jednotlivé vysílače, jsme schopni tuto technologii využít k lokalizaci či identifikaci [17].

3.1.7 Rádiové vlny

V současnosti se jedná o nejrozšířenější a nejpoužívanější zdroj signálu sloužící nejen k navigaci, ale také k přenosu zvukových, obrazových a dalších informací. Je to zejména prostupností tohoto signálu, který je schopen pronikat překážkami při své cestě. Používají jej satelitní navigační systémy, mobilní i datové sítě.

Rádiové vlny je část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od jednoho milimetru až po tisíce kilometrů [19]. Z celého spektra jsme lidským okem schopni zachytit pouze jeho malou část, jak je znázorněno na Obr. 5.



Obr. 5: Spektrum elektromagnetického záření.

Zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/ElmgSpektrum.png>

Jsou většinou vysílány anténami, ve kterých střídavý proud způsobuje zrychlený pohyb elektronů. Stejně jako každé jiné vlnění je charakterizováno třemi důležitými veličinami:

- **Frekvence (f)** – jedná se o počet kmitů, které zdroj kmitů vykoná za jednu sekundu. Jednou je hertz (Hz).
- **Rychlost vlnění (c)** – rychlost, jakou se šíří rozruch zdroje k dalším bodům prostředí. Jednotkou je metr za sekundu (m/s).
- **Vlnová délka (λ)** – vzdálenost dvou sousedních maxim nebo minim. Jednotkou je metr (m).

Mezi těmito veličinami pak platí následující vztah:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{vzorec (2)}$$

Elektromagnetické vlny, mezi které patří i rádiové vlny, se mohou šířit nejen v hmotném prostředí, ale i ve vakuu. Ve druhém případě je jejich rychlost rovna rychlosti světla, která činí 300 000 km/s. Při práci s rádiovými vlnami je nutné vzít v úvahu jeho následující vlastnosti [20]:

- **Odraz** – narazí-li signál na překážku, odrazí se od ní a změní svůj směr podle zákona odrazu.
- **Absorpce** – neboli pohlcování, kdy se část energie vlnění mění na teplo, čímž vznikají ztráty a vlnění se zeslabí. V uzavřených prostorách dochází k většímu útlumu signálu způsobeným absorpcí, než mimo ně. Míra

pohlcení závisí na materiálu. Kupříkladu sklo má větší absorpční schopnosti rádiových vln než zdi. Také lidé sami ovlivňují útlum signálu, neboť jej pohlcuje voda obsažena v lidském těle [11].

- **Ohyb** – prochází-li vlnění kolem překážek, dostává se částečně i do prostoru za nimi. Tato vlastnost se projevuje hlavně u malých překážek a především větších vlnových délek. Rádiové vlny mají malou vlnovou délku, a proto se šíří téměř přímočaře.
- **Interference** – dospějí-li do určitého bodu dvě vlnění, skládají se a vytvoří jediné výsledné vlnění. To může vést jak k zesílení signálu, tak i k jeho zeslabení či úplnému vyrušení, což vede k poruchám jeho příjmu.

3.1.7.1 Pásma rádiového přenosu

Pro rádiový přenos lze využít vlny o frekvencích mnohem vyšších, než je frekvence napájení většiny průmyslových zařízení a domácích spotřebičů¹⁵. Ještě v polovině padesátých let minulého století byly rádiové vlny využívány především pro šíření televizního a rozhlasového signálu. Dnes propojují miliardy technických přístrojů, mobilních telefonů, počítačů apod. Vzhledem k vysokému počtu šíření signálů bylo potřeba rádiový přenos organizovat a legislativně upravit. Regulační výkonné orgány ve smyslu této legislativy vydávají provozovatelům licence, přidělují jim frekvence a vyhražují pásma přenosu [19]. V následující tabulce jsou rozděleny rádiové vlny a mikrovlny podle frekvence.

Označení vln	Zkratka	Rozsah frekvence	Vlnová délka
Velmi dlouhé	VLF	3kHz - 30kHz	10km - 100km
Dlouhé	LF	30kHz - 300kHz	1km - 10km
Střední	MF	300kHz - 3MHz	100m - 1km
Krátké	HF	3MHz - 30MHz	10m - 100m
Velmi krátké	VHF	30MHz - 300MHz	1m - 10m
Decimetrové	UHF	300MHz - 3GHz	10cm - 1m
Centimetrové	SHF	3GHz - 30GHz	1cm - 10cm
Milimetrové	EHF	30GHz - 300GHz	1mm - 1cm

Tabulka 1: Rozdělení elektromagnetických vln podle vlnové délky.

¹⁵ Frekvence přibližně 50 – 60 Hz.

Z hlediska navigace je nejdůležitější pásmo UHF (angl. Ultra High Frequency). Na tomto pásmu probíhá vysílání GPS, GSM, některé televizní kanály, digitální televize, mikrovlnné trouby, Wi-Fi, Bluetooth a další [11, 19, 21, 22].

3.1.7.2 RSSI

Tato veličina označuje sílu přijatého rádiového signálu (angl. Received Signal Strength Indicator). Jako měrnou jednotku používá *dBm*, což je zkratka pro sílu signálu v decibelech na jeden miliwatt. K jejímu výpočtu se používá následující formule:

$$RSSI(dBm) = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{1mW}\right) \quad \text{vzorec (3)}$$

Jednotka *P* zde značí výkon vysílací stanice (v jednotkách *mW*). Signál však při své cestě slabne, neboť s sebou přináší omezení rádiových vln. Podle [15] byla empiricky zjištěna průměrná ztráta 3 dBm při průchodu signálu skrze zeď. Kromě překážek při cestě signálu ovlivňuje hodnotu RSSI také polarizace antény. K získání co nejpřesnější hodnoty rádiového signálu by měla mít anténa na přijímacím zařízení stejnou orientaci jako na vysílajícím.

Ztráta (*L*) při vychýlené orientaci antény může být vyjádřena následujícím vzorcem:

$$L = 20 \cdot \log(\cos \theta) \quad \text{vzorec (4)}$$

kde θ označuje úhel mezi dvěma anténami [15]. S narůstající vzdáleností se také tato veličina stává čím dál více nespolehlivou. Proto je extrémně náročné vyvinout přesný graf mezi RSSI a vzdáleností, který by mohl být univerzálně použit ve všech případech. Vždy bude záviset na konkrétním prostředí a objektech, které se v něm nacházejí.

Za zmínku ještě stojí podobná veličina jako RSSI, pro kterou se používá zkratka SNR (angl. Signal to Noise Ratio) a vyjadřuje poměr dosaženého signálu k okolnímu rušení signálu (nechtěné signály) [11, 13, 14, 15, 23].

3.2 Metody ke zjištění pozice

Existuje velký počet technologií a systémů, které pomáhají ke zjištění přesného místa, kde se požadovaný subjekt nachází. Avšak algoritmů a metod, které nám konkrétní pozici dokáží zjistit, mnoho není. V této podkapitole budou představeny ty nejpodstatnější. Společný problém, který tyto metody provází, je založen na zjištění přibližné vzdálenosti od přístupových bodů (vysílacích stanic) z kolekce přijatých signálů. Signály však mohou být ovlivněny okolním prostředím či přímo chybami při měření.

3.2.1 Nejbližší stanice

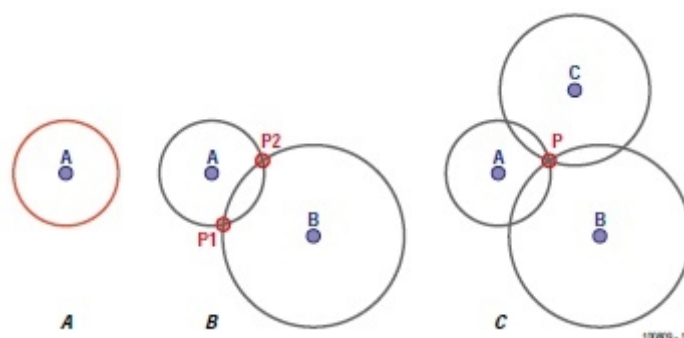
Metody založené na zjištění nejbližší vysílací stanice¹⁶ patří k nejjednodušším a nejrychlejším. V principu se jedná o pokrytí prostoru vysílacími stanicemi, kdy známe přesné souřadnice každé z nich. Následně porovnáváme příchozí signály. Souřadnice stanice, jejíž signál dokážeme zachytit nejintenzivněji, se považují za souřadnice lokalizovaného přijímače. Z toho důvodu tyto metody fungují i v případě, kdy zachytíme signál pouze z jediné stanice. Jako zdroj signálu lze využít řadu signálů, jako jsou infračervené záření, RFID nebo RSSI. Přesnost těchto metod závisí na hustotě stanic v požadovaném prostoru.

Příkladem takové metody je buněčná síť, jakou využívá mobilní síť GSM, jak bylo znázorněno na Obr. 2. Vysílací stanice nemusejí poskytovat pouze vlastní souřadnicovou pozici, ale podle návrhu systému může každý vysílač pokrývat určitou část prostoru (buňku sítě). Detekujeme-li signál jedné ze stanic (případně nejsilněji přijímáme signál určité stanice), jako pozice je nám nadřazeným systémem vrácena celá výseč prostoru, který tato stanice pokrývá. Z toho důvodu tyto metody přímo ovlivňuje hustota celé sítě. Tyto metody mohou být dále zpřesňovány. Například pokud v požadovaném prostoru monitorujeme signál více než jedné stanice, nemusíme svoji pozici označit za shodnou s prostorem, který pokrývá stanice s nejsilnějším signálem. Místo toho se můžeme pokusit o intersekcí, nebo-li průniku všech buněk, které monitorují stanice, jejichž signál se nám podařilo zachytit [11, 13, 14].

¹⁶ Název odvozen z anglického výrazu Proximity methods.

3.2.2 Trilaterace

Trilaterace je metoda zjištění přesné souřadnice na základě znalosti vzdáleností z více přístupových bodů se známými souřadnicemi. Pro 2D souřadnice je potřeba znát alespoň 3 takové vzdálenosti. Pro trojrozměrné souřadnice je zapotřebí čtvrté vzdálenosti. Princip této metody je přitom velice prostý, jak můžeme vidět na Obr. 6. Známe-li souřadnice jedné vysílací stanice a vzdálenost, v jaké se od ní nacházíme, můžeme říci, že se nacházíme někde na kružnici tvořené kolem této stanice s poloměrem rovným zjištěné vzdálenosti. Tato pozice však může být chybná až o dvojnásobek změřené vzdálenosti, protože nevíme, kde přesně se na kružnici nacházíme (A). Přidáme-li vzdálenost ze druhé stanice, průnikem dvou vzniklých kružnic dostaneme už mnohem přesnější výsledek, který by měl tvořit dva konkrétní body. Ani to však k určení pozice nestačí, nechceme-li náhodně jednu z nalezených souřadnic zvolit (B). Zbývá tedy nalézt vzdálenost od třetí stanice, díky které nalezneme jediný bod, který definuje naši polohu (C).



Obr. 6: Metoda trilaterace.

Zdroj: <http://circuitcellar.com/wp-content/uploads/2014/03/Trans-EL-Valens-Feb11.jpg>

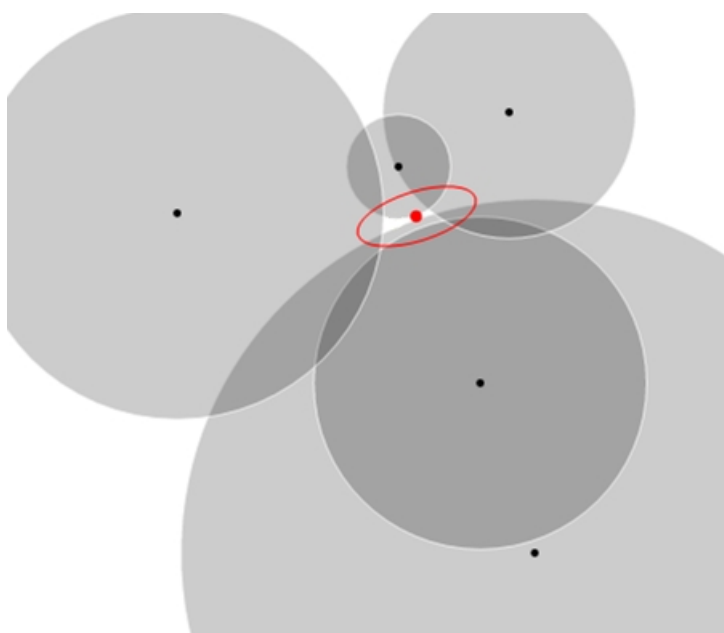
Ke spočítání přesné pozice poslouží následující soustava rovnic:

$$\begin{aligned}d_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\d_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\d_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2\end{aligned}\quad \text{vzorec (5)}$$

kde d_1 , d_2 a d_3 jsou vzdálenosti 3 přístupových bodů a x_1 , y_1 , x_2 , y_2 , x_3 , y_3 jsou souřadnice těchto stanic v kartézské soustavě.

V praktickém případě však narážíme na problém, kdy tato soustava rovnic není lineární, jak je znázorněno na Obr. 7. Může to být z důvodu útlumu signálu nebo

algoritmem, pomocí kterého zjišťujeme z přijatého signálu vzdálenost. Nacházíme-li se například 3 metry od konkrétního vysílacího bodu, námi použité metody mohou vrátit mírně odlišné hodnoty od skutečnosti, například 2,8 metru. V takových případech hrozí, že se kružnice vzdáleností vůbec neprotnou a nebude moci být zjištěn nejen konkrétní bod, ale ani konkrétní oblast. Výpočet je proto nutné vhodně upravit, například přidáním hodnoty udávající ztrátu signálu v našem konkrétním prostředí, nebo využití Taylorova polynomu k aproximaci středu průniků těchto kružnic.



Obr. 7: Soustava kružnic bez průniku.

Zdroj: převzato z [24].

Z Obr. 7 je patrné, že zjištění vzdálenosti z více bodů pomáhá k přesnějšímu určení pozice [11, 13, 14, 15, 17, 24, 25, 26].

Zjistit vzdálenost vysílače a přijímače lze více způsoby. Jedním z nich je výpočet pomocí RSSI. Pomocí přijatého rádiového signálu lze využít následující formule k výpočtu přibližné vzdálenosti:

$$RSSI = A - 10n \cdot \log_{10}(d) \quad \text{vzorec (6)}$$

kde A označuje referenční hodnotu, která obsahuje hodnotu RSSI ve vzdálenosti 1 metr od vysílače, n značí konstantu útlumu signálu v prostředí a d značí

vzdálenost od vysílací stanice v metrech. Úpravou rovnice lze tedy vypočítat přibližnou vzdálenost, známe-li kromě přijatého RSSI i referenční hodnotu a útlum prostředí.

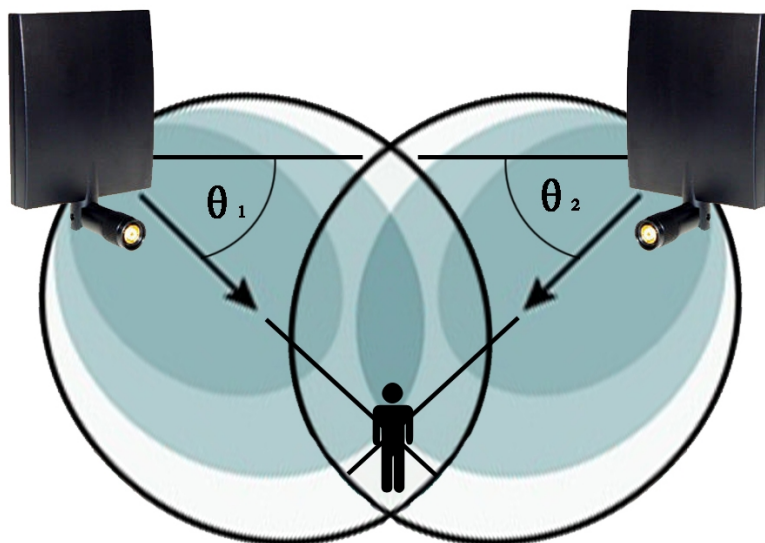
$$d = 10^{\left(\frac{A - \text{RSSI}}{10n}\right)} \quad \text{vzorec (7)}$$

Tento vzorec však nepracuje univerzálně na každém místě a za všech podmínek, protože je závislý na konstantě označující útlum v prostředí [11, 13, 15, 23].

Kromě výpočtu trilaterace pomocí soustavy rovnic existují i další techniky. Často užívanými metodami jsou Time of Arrival (TOA), která pracuje se známými časy vyslání a příjmu signálu při známé rychlosti jeho šíření a obdobná metoda Time Difference of Arrival (TDOA), která využívá časového rozdílu, ve kterém signál dorazí na více měřících stanic. Obě metody vyžadují přesnou synchronizaci přijímačů i vysílačů [11, 13, 14, 15].

3.2.3 Triangulace

Další poměrně přesnou technikou, jak zjistit konkrétní pozici mobilní stanice, je metoda triangulace. Opět využíváme signálů z vysílacích stanic, ze kterých však nepočítáme vzdálenosti, jako v případě trilaterace, ale s pomocí známých úhlů, pod kterým signály zachytává přijímač, jsme schopni určit průnik těchto signálů (znázorněno na Obr. 8). Tato metoda má velkou výhodu v tom, že k výpočtu 2D pozice stačí přijímat signály jen ze dvou stanic. U 3D lokalizace je zapotřebí dalšího vysílače. Všechny další přijaté signály mohou sloužit k přesnějšímu určení pozice. Ovšem i u této techniky se nevyhneme určitým nevýhodám. Aby bylo možné zjistit úhly, pod kterými přijímač obdrží signály, je zapotřebí speciálních antén. Ty mohou být jak na straně vysílačů, tak i přijímačů [11, 13, 14, 26].



Obr. 8: Triangulace.

Zdroj: převzato z [11].

3.2.4 Fingerprint

Poslední zmíněná metoda se podstatně liší od těch předchozích. Metoda otisků (podle angl. fingerprint) je založena na rozpoznávání předem připravených vzorů. Obvykle se skládá ze dvou fází. V první (offline fáze nebo také fáze sběru otisků) probíhá tvorba mapy. Podle přesnosti, jaké chceme dosahovat, provádíme na určitých místech měření přijatých signálů z více vysílačů. Dostáváme tak seznam přesných lokací, kdy je každé lokaci přiřazeno pole přibližných signálů ze stanic, které jsou v její blízkosti. Protože i během vytváření těchto otisků podléhají signály rušivým vlivům okolí nebo i samotného aktéra měření, je dobré provést pro každý otisk měření z více směrů. Ve druhé fázi (tzv. online fáze nebo také run-time fáze) probíhá samotné určení pozice přijímače. Ten zachytí okolní signály a ty následně porovnává s uloženými otisky. Databáze otisků může být jak na přijímací stanici, tak může být uložena na centrálním místě, ke kterému je přijímací stanice připojena. K určení nejbližšího otisku se používá euklidovská vzdálenost. Mezi naměřenými hodnotami signálů a hodnotami otisků je počítán rozdíl. Pozice otisku s nejmenším rozdílem vzdáleností je následně vybrána jako pozice přijímače, proto je přesnost této metoda závislá na hustotě otisků ve snímaném prostoru.

Tato metoda dosahuje velice dobrých výsledků. Navíc se oproti předchozím metodám liší v nepotřebě znát souřadnice vysílacích stanic. Souřadnice jsou vedeny pouze u dostupných otisků. Nevýhodou se stává náročné vytvoření mapy a její úpravy. Přidáme-li například novou vysílací stanici, nebo nějakou jinou nahradíme, je nutné provést přepočítání všech otisků, které jsou touto změnou ovlivněny, což může být při vysoké hustotě otisků velmi náročný proces [11, 13, 14, 17].

4 Technologie iBeacon

Termín iBeacon poprvé veřejně zazněl na konferenci pořádané společností Apple Inc. v roce 2013. Jedná se o protokol využívající služeb nízkoenergetického Bluetooth standardu k vysílání paketů. Zařízení využívající této technologie rozesílají pomocí Bluetooth malé datové pakety, ve kterých poskytují své identifikační údaje. S jejich pomocí lze sestavit indoor lokalizační systém. Název iBeacon označuje kromě protokolu také zařízení společnosti Apple Inc., která tento protokol využívá. Byl však adoptován pro všechna zařízení, která jsou schopna vysílat své identifikační údaje pomocí protokolu Bluetooth Low Energy. Takovým zařízením se říká také jen Beacons (podle angl. maják). V této kapitole bude rozebrána konfigurace a přenos dat těchto zařízení, které budou označovány souhrnně jako Beacons. Dále zde bude popis technologie Bluetooth, kterou Beacons využívají [27, 28].

4.1 Technologie Bluetooth

Počátky Bluetooth sahají do roku 1994 a postarala se o ně švédská firma Ericsson¹⁷ během své studie o náhradě kabelů mezi mobilním telefonem a jeho periferiemi. O čtyři roky později vznikla skupina SIG¹⁸, která udržuje tento standard a specifikuje nové verze. Členem této skupiny je dá se říci každá firma, která má co do činění s Bluetooth a přímo se tak podílí na jeho vývoji.

Jedná se o globální bezdrátový standard, který propojuje elektronická zařízení v určité vzdálenosti. Celá technologie Bluetooth je definována standardem IEEE 802.15.1. Nejvíce převládajícími implementacemi specifikace jsou Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) jako verze 2.0/2.1 a Bluetooth Low Energy (LE) jako verze 4.0/4.1/4.2. Obě tyto implementace slouží k jinému účelu a využívají jiných čipových sad. Obecně však Bluetooth využívá k přenosu dat rádiové pásmo na frekvenci 2,4 GHz, tedy stejné jako například Wi-Fi nebo mikrovlnné trouby. Pokud spolu chtějí dvě zařízení navzájem komunikovat, využívají k tomu tzv. párování, které mezi zařízeními vytvoří malou síť, ve které

¹⁷ <https://www.ericsson.com/>

¹⁸ Bluetooth Special Interest Group

může být zapojeno celkem až 8 přístrojů. Specifikace 4.2 je zároveň poslední nasazenou specifikací. Ve vývoji je již specifikace Bluetooth 5.0, která si oproti poslední dostupné verzi slibuje větší dosah a vyšší datovou propustnost [29, 30, 31].

4.1.1 Bluetooth Low Energy

Jak už název této verze napovídá, jedná se o verzi s výrazně nižší spotřebou, než bylo zvykem u předchozích. Pro tuto specifikaci se používá také označení Bluetooth Smart, Bluetooth 4.0+ nebo jen zkráceně Bluetooth LE. Tato verze nemá v úmyslu nahradit předchozí verzi 2.1, protože oproti ní nabízí mnohem menší datové pakety. Jedná se o zcela odlišné použití technologie Bluetooth využívané zejména velmi malými přístroji, které mohou fungovat na knoflíkové baterii v řádu měsíců či i několika málo let. Mezi typické příklady takových přístrojů patří zdravotní přístroje monitorující srdeční činnost, chytré hodinky, sluchátka a jiné mobilní periferie nebo také různá vybavení tzv. chytrého domu (ovládání dveří, světel, zásuvek apod.). Bluetooth LE zařízení bývají dvojího typu:

- **Centrální** – zařízení tohoto typu má obvykle více výpočetní síly i výkonu. Většinou se jedná o mobilní telefon či tablet.
- **Periferní** – malé, energeticky málo náročné zařízení, které se může připojit k centrálnímu zařízení. Takové zařízení je např. iBeacon.

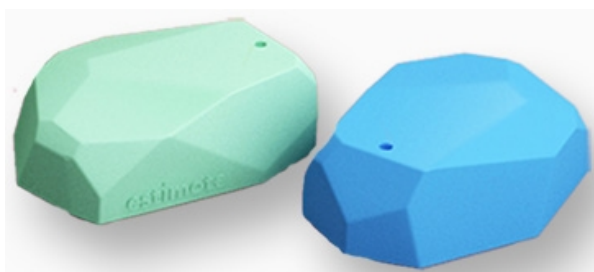
Aby spolu mohly dva přístroje komunikovat skrze Bluetooth, musejí podporovat stejný profil. Profilů je celá řada a specifikují zejména jaký druh dat je mezi zařízeními vyměňován. Komunikace každého periferního zařízení musí probíhat pomocí profilu Generic Acces Profile (GAP). Periferní zařízení tímto profilem vysílá datové pakety do svého okolí (tzv. broadcasting) v pravidelném časovém intervalu.

Pokud dojde ke spárování centrálního a periferního zařízení, druhé jmenované přestane vysílat pakety do svého okolí všem zařízením a to až do chvíle, dokud bude stále spárované s centrálním zařízením.

Jakmile dojde ke spárování centrálního a periferního zařízení, výměna dat probíhá pomocí profilu Generic Attribute Profile (GATT). Toto spojení je exkluzivní. Znamená to, že v daný čas může být k perifernímu zařízení připojeno jen jedno centrální. Vývojáři zařízení komunikující skrze Bluetooth LE mohou ve svých řešeních využít již existující profily na bázi GATT, nebo vyvinout zcela nové profily splňující formát GATT [28, 30, 32].

4.2 Zařízení iBeacon

Jak bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, s iBeacony přišla jako první společnost Apple Inc. Dnes existuje mnoho firem zabývajících se řešením indoor navigace, které vyrábějí vlastní Beacons. Ty se mezi sebou liší výdrží, velikostí, výkonem, ale také formátem datového paketu. V mnohém se však nechaly inspirovat právě standardem iBeaconu společnosti Apple Inc. Ten specifikuje hardwarové požadavky a také poskytuje vlastní profil Apple iBeacon™ profile. Mezi přední výrobce iBeaconů lze v současné době zařadit společnosti Estimote Inc.¹⁹, Kontakt.io²⁰ a Gimbal Inc²¹. V této podkapitole bylo čerpáno především ze zdrojů [28, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40].



Obr. 9: Estimote iBeacony.

Zdroj: <http://www.creative-techno.fr/wp-content/uploads/2014/09/estimote-beacons.jpg>

4.2.1 Vlastnosti

Ačkoli se jednotlivá řešení Beaconů liší dle výrobce, určité vybavení mají všechny Beacons společné. Zaměříme-li se na hardware, každý Beacon obsahuje mikrokontrolér s Bluetooth LE čipem a baterií. Baterie se ve většině případů

¹⁹ <http://estimote.com/>

²⁰ <https://kontakt.io/>

²¹ <http://www.gimbal.com/>

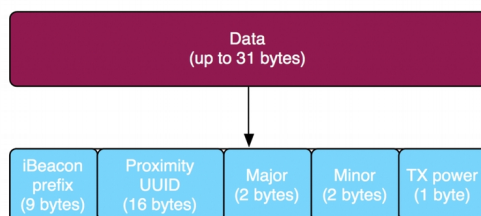
používají lithiové knoflíkové, ale lze narazit i na alkalické tužkové, které mají větší kapacitu, ale zároveň také rozměry. Dále nalezneme v každém iBeaconu firmware, který obsahuje programový kód k operacím s hardwarem. Firmware také kontroluje dvě hlavní vlastnosti iBeaconu:

- **Síla vysílání** – angl. Broadcasting power, označuje velikost rádiového signálu, jakou iBeacon vysílá své pakety. Tento atribut přímo ovlivňuje dosah datových zpráv a také životnost baterie.
- **Interval vysílání** – angl. Advertising interval, definuje periodicitu vysílání datových paketů. Apple iBeacon standard definuje nejnižší interval 100 ms. Čím nižší je interval vysílání, tím rychlejší je spotřeba baterie.

4.2.2 Formát zprávy

Bluetooth LE dosahuje nízké energetické náročnosti také na úkor velikosti datových paketů. Beacons tudíž nemají schopnost odesílat více údajů, než pár číselných hodnot. Ty využívají ke sdělení vlastních identifikačních údajů. Účel těmto údajům musí přidat nadřazený systém propojený s přijímačem těchto paketů. Ve smyslu indoor navigace se většinou pomocí těchto identifikačních údajů vyhledá poloha Beaconu, který vyslal daný paket a díky tomu může být zjišťována skutečná poloha přijímače.

Kromě nezbytných údajů, jako jsou přístupová adresa, MAC adresa, velikost datové části či CRC součet, je v paketu obsažena datová část o velikosti až 31 bytů, ve které se nacházejí údaje sloužící k identifikaci iBeaconu. Na Obr. 10 je zobrazena struktura datové části paketu definovaná standardem Apple iBeacon.



Obr. 10: Struktura iBeacon paketu.

Zdroj: <http://www.warski.org/blog/wp-content/uploads/2014/01/bluetooth-le-ibeacon-packet2.png>

- **iBeacon prefix** – obsahuje příznaky definující druh paketu, zda-li je vysílán do okolí všem zařízením, nebo je součástí existujícího připojení. Dále se zde nachází délka zbylé části paketu a identifikační číslo výrobce.
- **UUID** – hodnota tohoto řetězce se používá k označení větší skupiny souvisejících iBeaconů. Může se jednat například o sdružení Beaconů v rámci celé firmy.
- **Major** – číslo označující menší skupinu Beaconů než UUID. V analogickém příkladu jako UUID se může jednat o Beacons umístěné v konkrétní pobočce firmy.
- **Minor** – číslo identifikující konkrétní Beacon.
- **TX power** – tato hodnota udává sílu přijatého signálu (RSSI) ve vzdálenosti 1 metr od Beaconu. Jedná se o kalibrační hodnotu definovanou výrobcem. Poskytne-li firmware nastavení síly vysílání Beaconu (broadcasting power), bývá obvykle pro různé hodnoty nastavena jiná kalibrační hodnota.

5 Návrh aplikace

Technologie iBeaconů poskytuje údaje, které lze aplikačně zpracovat a vytvořit tak komplexní řešení indoor navigace. V této kapitole bude popsán návrh prototypu takové aplikace, která si dává za cíl především poskytnout co největší přesnost lokalizace v požadovaném prostoru a také možnost upravovat a přidávat vlastní konfigurace mapových podkladů k rozšíření působnosti aplikace na více než jeden konkrétní objekt.

5.1 Funkční požadavky

Aplikace by pro své praktické využití měla splňovat cíle, které jsou popsány této podkapitole.

5.1.1 Dimenze prostoru

Základní atribut, kterému je potřeba přizpůsobit celou strukturu aplikace, se týká rozlišení dimenze prostoru, který bude pokryt řešením indoor navigace. Pokud bychom chtěli rozlišovat jednotlivá podlaží, musíme mít k dispozici dostatek Beaconů i vhodnou reprezentaci snímaného prostoru. Vyvinutá aplikace se zabývá lokalizací ve dvojrozměrném prostoru.

5.1.2 Mobilní platforma

Další podstatný požadavek se týká zařízení, pomocí kterého budou signály Beaconů zachytávány. Aby bylo zajištěno dobré dostupnosti pro co nejširší spektrum uživatelů, je potřeba vyhnout se speciálnímu hardwaru, které by uživatel musel vlastnit, aby se s jeho pomocí dokázal navigovat. Místo toho je lepším řešením využít již existujících přístrojů s Bluetooth LE čipy. Ty jsou obsaženy ve většině chytrých telefonů, které jsou dnes k dostání a podporovány hlavními operačními platformami Android²², iOS²³, Windows Phone²⁴ a BlackBerry OS²⁵. Bluetooth SIG predikuje, že v roce 2018 bude více než 90 procent všech chytrých telefonů

22 <http://www.android.com/>

23 <http://www.apple.com/ios>

24 <http://www.microsoft.com/windowsphone/>

25 <http://www.blackberry.com/>

s Bluetooth podporovat verzi LE [30]. Aplikace určená k lokalizaci by tedy měla být dostupná alespoň pro jeden z hlavních operačních systémů dnešních smartphonů.

5.1.3 Spotřeba energie a paměti

Ke správné funkcionalitě bude zapotřebí, aby mobilní zařízení mělo povolené a spuštěné Bluetooth rozhraní. To přináší vyšší spotřebu baterie a proto je potřeba s tímto zdrojem zacházet opatrně. Zároveň pokud aplikace provádí sken iBeaconů, měl by probíhat pouze po dobu, během které uživatel požaduje lokalizaci. Mohlo by se stát, že by uživatel považoval aplikaci za ukončenou, ale na pozadí by přitom stále probíhal sken a zvyšoval tak spotřebu nejen baterie, ale i výpočetních zdrojů telefonu a zpomaloval jeho činnost. Aplikace by měla brát v potaz skutečnost, kdy uživatel o lokalizaci přímo stojí a podle toho skenovat okolní Beacons.

5.1.4 Centralizované vs. decentralizované řešení

Rozhodneme-li se pro centralizované řešení, mobilní telefon bude sloužit ke sběru paketů z iBeaconů. Musí být však propojen s centrálním serverem, který v sobě bude obsahovat databázi iBeaconů se souřadnicemi jejich fyzické pozice. Zároveň může tento server sloužit k výpočtu konečné pozice, ve které se přijímací telefon nachází. Toto řešení je výhodné z hlediska centrálního úložiště Beaconů i zmapovaných prostor. Zároveň by rychlost výpočtu pozice závisela na schopnostech serveru a telefony s nižším výpočetním výkonem by tak nebyly ovlivněny složitostí výpočtu pozice. Na druhou stranu by bylo nutné zajistit konektivitu k takovému serveru skrze síťové připojení. Pokud by připojení nebylo k dispozici, chod aplikace by mohl být zcela znemožněn, pokud by se nezajistilo pravidelné kopírování databáze v časových intervalech, ve kterých by zařízení bylo se serverem ve spojení. Druhou možností je využít decentralizované řešení. Mobilní telefon by ze sesbíraných paketů sám vyhodnocoval svoji pozici. K tomu potřebuje reprezentaci Beaconů a jejich souřadnic. Zároveň by veškeré výpočty probíhaly přímo na samotném telefonu a byly by tak přímo závislé na jeho výpočetní síle. Obě tyto vlastnosti mohou být značnou nevýhodou. Existují však i výhody. Zejména není potřeba do řešení zahrnout server, jeho konfiguraci, implementaci a potřebu udržovat jej v chodu. Další výhodou je nezávislost na síťovém připojení ke správné funkci aplikace. V navržené aplikaci je použito

decentralizovaného řešení pro jeho výhody absence dodatečné konektivity k centrálnímu serveru.

5.1.5 Lokalizace

Smyslem celé aplikace je praktické ověření použitelnosti iBeaconů při hledání konkrétního místa, ve kterém se aktuálně nacházíme. K tomu je potřeba zvolit odpovídající reprezentaci zmapovaného prostředí i snímaných Beaconů. Aplikace by se měla snažit o co nejpřesnější vyhledání pozice a to pokud možno v reálném čase. Tím by bylo zajištěno její praktické užití. Cílem by měla být schopnost rozeznat pozici alespoň na úrovni jednotlivých místností. To by mělo případnému uživateli aplikace ulehčit orientaci v neznámém prostředí. Tento požadavek je však relativní, neboť místnosti se mohou značně lišit svými rozměry. Také je rozdíl, zda-li se nacházíme v obývaném bytě, kancelářské budově či výrobní hale. Koncová pozice by měla být také na mobilním telefonu v jasné formě zobrazena na přibližné ilustraci mapovaného prostoru.

5.1.6 Výpočet vzdáleností

Tuto funkci, označovanou jako Ranging, nabízí ve svém lokalizačním frameworku operační systém iOS. Pomocí tohoto frameworku zařízení také detekuje vstup a výstup do oblasti, ve které je zachycen signál z iBeaconu (tzv. Monitoring). Rozlišuje 4 zóny (tzv. Proximity zones): immediate (označuje vzdálenost pár centimetrů od iBeaconu), near (vzdálenost 1-3 metry od iBeaconu), far (slabší signál, vzdálenost více než pár metrů) a unknown (velmi slabý signál, ze kterého není možné získat přesnější vzdálenost) [34].

Navržená aplikace by měla být schopna uživateli zobrazit pozici Beaconů na mapě reprezentující pokrytý prostor a při zapnutém skenování také přibližné vzdálenosti k těmto Beaconům. Podobně jako přesná lokalizace i tato funkce má uživateli pomoci ve snazší orientaci v neznámém prostředí.

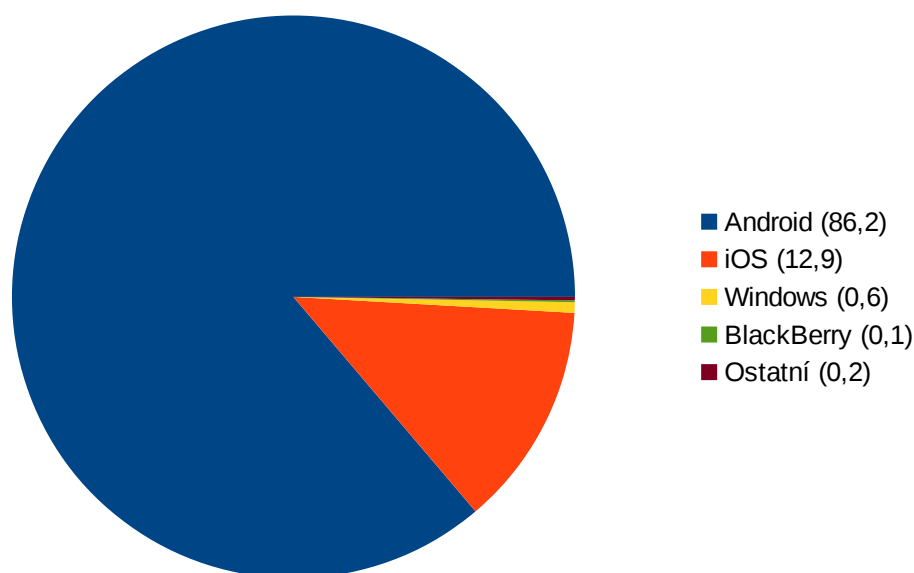
5.1.7 Nahrávání vlastní mapy

V prvotních plánech měla aplikace plnit lokalizaci pro jeden konkrétní byt. Toto rozhodnutí bylo později přehodnoceno použití aplikace by mělo být více

univerzální. Aplikace by tedy měla obsahovat potřebné rozhraní, pomocí kterého by uživatel vytvořil vlastní mapu objektu s jeho vlastními iBeacony. To by mělo být na použití co nejsnazší a mělo by také usnadnit sdílení map mezi uživateli aplikace. Protože aplikace nenabídne centralizované řešení, její uživatelé budou kompletně závislí na mapách, které se budou nacházet přímo v jejich aplikaci.

5.2 Výběr technologií

Jedním z požadavků na aplikaci je její chod na některé z používaných operačních platforem. Na Obr. 11 je znázorněn graf prodeje chytrých telefonů s operačními systémy ve druhém kvartálu roku 2016.



Obr. 11: Podíl prodeje chytrých telefonů podle operačního systému (2Q/2016).

Zdroj: převzato z [41].

Protože operační systém Android mnohonásobně převyšuje své konkurenty v současné prodejnosti, byl vybrán jako cílová platforma lokalizační aplikace [41].

5.2.1 Operační systém Android

Android je operační systém, za jehož vývojem stojí konsorcium Open Handset Alliance²⁶ sdružující přední technologické a mobilní společnosti (aktuálně 84 členů). O založení tohoto konsorcia se postarala v roce 2007 společnost Google Inc., jejíž tým do té doby vyvinul platformu založenou na linuxovém jádře. Nejedná se

²⁶ <http://www.openhandsetalliance.com/>

o operační systém pouze pro telefony. Dnes pomocí něj přistupujeme k zařízením jako jsou mobilní telefon, tablet, televize, automobilová navigace či hodinky (zařízení označována jako wearables, tedy nositelná elektronika).

První verze byla vydána v září roku 2008 pod názvem Android 1.0 a byla založena na linuxovém jádře 2.6.25. Od té doby urazil Android velký kus cesty a poslední oficiálně vydaná verze je Android 7.0 s označením Nougat.

Je vyvíjen jako open-source pod licencí Apache 2.0, což vedlo k jeho rychlému šíření a popularitě. Firmy vyrábějící zařízení jej mohou v souladu s licencí upravovat přesně na míru svým výrobkům. Zároveň nespécifikuje hardware, jaký musí zařízení obsahovat. Je tedy nezávislý na použitých chipsetech, velikostí displejů či dostupných senzorech. Aplikace, které jsou pro tento systém vyvíjeny, se musejí sami postarat o kompatibilitu mezi různými zařízeními a ověření dostupnosti senzorů [42, 43, 44].

Android kromě samotného operačního systému poskytuje také vývojový kit pro podporu vývoje aplikací²⁷. Ten obsahuje vývojové prostředí Android Studio pro implementaci aplikací v jazyce Java. Dále obsahuje potřebné knihovny pro vývoj aplikací a emulátor prostředí.

Různá zařízení mohou běžet na různých verzích systému Android. Každá nová verze obvykle přidává funkcionality, které nebyly dostupné v předchozích verzích. Proto každá verze Androidu specifikuje tzv. API level, jehož číselná hodnota označuje verzi API frameworku. Ten zajišťuje komunikaci uživatelských aplikací se systémem Android [45].

Při vývoji aplikace je nutno specifikovat následující API levely:

- **minimální verze** (minSdkVersion) – označuje minimální verzi API, na které je aplikaci možné nainstalovat. Pokud hodnota není specifikována, považuje se za minimální API level 1.

²⁷ Android SDK (<https://developer.android.com/studio/index.html>).

- **cílová verze** (targetSdkVersion) – označuje verzi, pro kterou byla aplikace primárně vytvořena.
- **maximální verze** (maxSdkVersion) – označuje maximální verzi API, na které je možné aplikaci nainstalovat. Její použití však není doporučováno. Pokud není hodnota zadána, za maximální verzi se považuje targetSdkVersion.

V následující tabulce je zobrazeno rozdělení verzí systému Android z hlediska aktuálního provozu. Verze s nižším procentuálním zastoupením než 1 % nejsou uvedeny [45].

Verze	Název	API level	Zastoupení
2.2	Froyo	8	0,1%
2.3.3 – 2.3.7	Gingerbread	10	1,3%
4.0.3 – 4.0.4	Ice Cream/Sandwich	15	1,3%
4.1.x	Jelly Bean	16	4,9%
4.2.x		17	6,8%
4.3		18	2,0%
4.4	Kitkat	19	25,2%
5.0	Lollipop	21	11,3%
5.1		22	22,8%
6.0	Marshmallow	23	24,0%
7.0	Nougat	24	0,3%

Tabulka 2: Zastoupení API levelu v zařízeních se systémem Android (7.11.2016).

K distribuci aplikací je využívána služba Google Play, která je nástupcem Android Marketu.

6 Implementace

Aplikace, která byla vytvořena na podporu indoor navigace, dostala název Indoor Lokalizator a je implementována v programovacím jazyce Java²⁸ pro cílovou platformu Android. V této kapitole bude rozebrán rozsah funkčnosti celé aplikace, její struktura, popis jednotlivých tříd a implementace klíčových metod pro zajištění lokalizace.

6.1 Cílové Android API

V předchozí kapitole byly zmíněny API verze frameworku, díky kterému aplikace fungují na dané verzi Androidu. Z tabulky č. 2 lze vyčíst, že téměř tři čtvrtiny všech zařízení se systémem Android využívají některou z verzí 4.4 (25,2%), 5,1 (22,8%) a 6.0 (24,0%). API level 24 bylo vydáno teprve v srpnu roku 2016 a je zatím použito jen na 0,3% všech přístrojů. Z těchto důvodů aplikace cílí (a tedy lze spustit nanejvýše) na API 23, které je využito v systému Android 6.0 Marshmallow.

Jako minimální API byl zvolen level 19 a to ze dvou hlavních důvodů. Prvním zcela zásadním důvodem je podpora systému Android pro Bluetooth Low Energy, bez kterého by nemohlo probíhat snímání iBeaconů. Podpora pro Bluetooth LE je sice již od API levelu 18, nicméně druhým důvodem, proč byl zvolen API level 19, bylo již v době počátku implementace nízké zastoupení API levelu 18 mezi Android verzemi (aktuálně 2,0%) [45]. Třetím důvodem bylo testování vyvíjeného řešení na mobilním telefonu s Android verzí 4.4, tedy API level 19.

6.2 Oprávnění

Aby byla ochráněna integrita systému a také soukromí uživatele, Android spouští aplikace s omezeným přístupem ke svým funkcím. Pokud chce aplikace využít zdroje nebo informace, které jsou tímto přístupem omezeny, musí si zažádat o její povolení. V závislosti na typu omezené služby uděluje systém oprávnění automaticky, nebo o povolení požádá uživatele aplikace. Od verze 6.0, tedy API level 23, jsou určitá povolení deklarována jako riziková a souhlas k jejich použití musí uživatel udělit za běhu aplikace.

²⁸ <http://www.oracle.com/technetwork/java/>

Indoor Lokalizator požaduje následující oprávnění:

BLUETOOTH

Toto oprávnění je povinné, chceme-li se k zařízením skrze Bluetooth připojit nebo jen provádět jejich sken. Vzhledem ke skutečnosti, že aplikace skenuje okolní iBeacony, je toto oprávnění nezbytně nutné.

BLUETOOTH_ADMIN

Pomocí tohoto oprávnění může aplikace provádět spuštění Bluetooth. Bez něj by byla závislá na již běžícím Bluetooth, které by bylo nutné uvést do provozu ručně. Aplikace však provádí zapnutí Bluetooth pouze s vědomím uživatele, který přímo iniciuje zahájení skenu. Pokud je Bluetooth vypnuté a uživatel chce zahájit snímání iBeaconů stisknutím odpovídajícího tlačítka, aplikace se uživatele dotáže na spuštění Bluetooth a podle výsledného rozhodnutí pokračuje ve svém chodu.

ACCESS_COARSE_LOCATION

Následující oprávnění slouží k přístupu k přibližné poloze. V aplikaci se původně nenacházelo, avšak jeho použití je nezbytně nutné k provozu aplikace na verzi 6.0. Protože se jedná o rizikové oprávnění, uživatel je při zahájení skenu dotázán na povolení tohoto oprávnění.

READ_EXTERNAL_STORAGE

Poslední oprávnění je také z kategorie rizikových, proto jeho povolení musí být uděleno při běhu aplikace. Toto oprávnění je v aplikaci z důvodu nahrávání uživatelské mapy, která by se měla nacházet v úložišti telefonu či tabletu.

6.3 Knihovny

Pro přehlednost budou v následující podkapitole jména všech knihoven zvýrazněny kurzívou. V Indoor Lokalizatoru se nacházejí podpůrné knihovny pro správný běh aplikace na všech požadovaných zařízeních a také pro drobné kusy kódu, jako například knihovna *commons-io* a *commons-math3*.

Klíčovou roli při řešení lokalizace však hraje knihovna *Trilateration* od Scotta Wiedmanna [24]. Jak už název napovídá, díky této knihovně jsou naměřené

vzdálenosti z jednotlivých iBeaconů spolu s jejich souřadnicemi použity k výpočtu konkrétní souřadnice, která definují přibližnou pozici přijímacího telefonu. Knihovna je poskytována pod licenci MIT, která dovoluje její použití v softwaru proprietárním i licencovaném GPL.

I pro práci s iBeacony bylo zváženo použití knihovny, která by usnadnila zachytávání paketů, jejich analýzu a následnou manipulaci s výsledky v podobě modelových tříd Beaconů. K tomuto účelu měla sloužit knihovna *AltBeacon*²⁹, která poskytuje i výpočet vzdálenosti podle naměřených hodnot RSSI. Naměřené výsledky však nebyly dostatečně přesné, což společně s nevyhovující manipulací s pakety iBeaconů vedlo ke konečnému nepoužití zmíněné knihovny. Tato činnost je tak v plné režii Indoor Lokalizatoru.

6.4 Struktura aplikace

V této podkapitole bude podrobně rozebrán zdrojový kód aplikace s výběrem jeho podstatných částí. Pro větší přehlednost budou balíčky objevující se v textu zvýrazněny tučným písmem (**activities**), třídy a rozhraní kurzívou (*MainActivity*) a části zdrojového kódu odlišným stylem písma.

6.4.1 Rozdělení balíčků

V aplikaci se nachází celkem 30 tříd přehledně umístěných do 10 balíčků s jasně vymezenou působností. To značně usnadnilo její vývoj a orientaci ve zdrojovém kódu. Všechny balíčky obsahující třídy a rozhraní se nacházejí v centrálním balíčku **cz.uhk.fim.indoorlokalizator**. Z důvodu přehlednosti budou tedy vnořené balíčky uváděny relativní cestou k tomuto výchozímu balíčku.

activities

V tomto balíčku se nacházejí všechny aktivity, které se starají o vykreslení uživatelského rozhraní. Celkem se v aplikaci nacházejí 4 aktivity a sice *MainActivity*, *MapInsertionActivity*, *SettingsActivity* a *AboutActivity*. Funkce jednotlivých obrazovek bude popsána později.

²⁹ <http://altbeacon.org/>

fragments

Pro možnost skládat uživatelské rozhraní z více komponent obsahuje aplikace celkem 7 fragmentů. Jedná se o *AboutFragment*, *LocalizationFragment*, *MapInsertionFragment*, *MapsFragment*, *RangingFragment*, *ScanningFragment* a *SettingsFragment*.

adapters

Zde se nacházejí adaptéry, které poskytují seznam prvků, které jsou k dispozici uživateli k zobrazení. V aplikaci se nacházejí dva takové adaptéry. *BeaconsAdapter*, který slouží zobrazení Beaconů ve vybrané mapě a *MapsAdapter*, který je naplněn všemi dostupnými mapami území.

services

Obsahuje služby, které provádějí určitou činnost na pozadí aplikace, zatímco uživatel má stále k dispozici prvky z uživatelského rozhraní. Indoor Lokalizátor nabízí dvě takové služby. Jak *LocalizationService*, tak *RangingService* jsou potomky abstraktní třídy *ScanningService*.

model

Jak napovídá název balíčku, nacházejí se zde třídy reprezentující objekty, se kterými je manipulováno během chodu celé aplikace. Nachází se zde třída *Map* reprezentující prostor, ve kterém probíhá lokalizace. Tato třída obsahuje referenci na třídu *Platform*, která reprezentuje vzhled a velikost pokrytého prostoru. Další třídou v tomto balíčku je třída *Beacon*, která v aplikaci reprezentuje snímané iBeacony. Kromě identifikačních údajů, které jsou obsaženy v paketech přijatého Bluetooth LE, obsahuje tato třída i fyzické souřadnice Beaconu a kolekci naměřených RSSI signálů. Poslední třídou, kterou lze v balíčku nalézt, je třída *MapManager*. Pokud se v aplikaci nachází více map, uživatel má možnost mezi nimi vybírat. Vybraná mapa je pak používána ve více obrazovkách v rámci celé aplikace. Kvůli problému při předávání mapy mezi více fragmenty byla vytvořena třída *MapManager*, která využívá návrhového vzoru Singleton³⁰ a obsahuje kompletní

30 Návrhový vzor Singleton zajišťuje běh jediné instance dané třídy v rámci celé aplikace.

údaje o vybrané mapě. Díky tomuto návrhovému vzoru je možné k mapě přistoupit z více míst v rámci aplikace a okamžitě se dotázat na požadované mapové údaje.

views

Zde se nachází jediná třída *ZoomableImageView*. Tato třída dědí od třídy *ImageView* z balíčku **android.widget.ImageView** a jak její název napovídá, přidává funkcionalitu umožňující manipulaci s obrázkem v uživatelském rozhraní. Díky této třídě je možné grafický podklad ke zmapovanému objektu, ve kterém probíhá lokalizace, zvětšovat a posouvat, což uživateli poskytuje snadnější orientaci.

core

Tento balíček v sobě obsahuje další tři, které spolu se službami a modelem tvoří základ celé aplikace.

- **dblayer** – zde se nachází rozhraní *DatabaseManager*, které definuje základní databázové operace prováděné v aplikaci na definovaném schématu. To je implementováno třídou *SQLiteManager*, která se stará o připojení a manipulaci s daty nad databází SQLite³¹.
- **scanners** – v tomto balíčku se nachází jednoduché rozhraní *Scanner*, které definuje operace pro spuštění a ukončení skenu. To je implementováno třídou *BleScanner*, která kromě zahájení a ukončení skenu zpracovává přijaté pakety z iBeaconů.
- **positions** – nejdůležitější výpočty v celé aplikaci probíhají v tomto balíčku. Nachází se zde rozhraní *LocalizationManager*, které definuje metody k získání vzdálenosti z iBeaconu a pozice z kolekce Beaconů. Díky této abstrakci mohlo být využito více druhů algoritmů pro získání těchto hodnot. Po řadě neúspěšných pokusů zůstala jediná implementace ve třídě *TrilaterationManager*.

³¹ <https://sqlite.org/>

utils

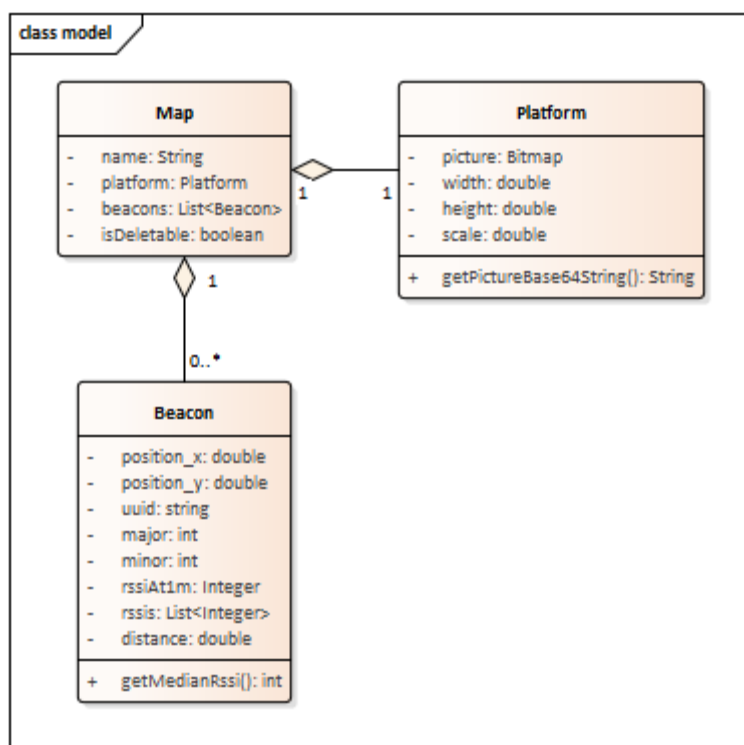
Poslední balíček nabízí pomocné třídy, většinou se statickými metodami, určené k drobnějším úlohám. Takovými třídami jsou *DrawingUtils*, která se stará o vykreslení prvků na plátno (Canvas³²). Na něj jsou vykreslovány jednotlivé Beacons nebo pozice uživatele v závislosti na aktuální manipulaci s aplikací. Druhou pomocnou třídou je *JsonUtils*, jejíž cílem je konverze JSON dokumentu do objektu *Map* a obráceně. Poslední třídou v tomto balíčku je *FileChooser*. Tato třída přistupuje k externímu úložišti na zařízení a nabízí uživateli výběr JSON souboru.

6.4.2 Re prezentace mapy

Před začátkem implementace bylo nutné vymyslet způsob, jakým by byla celá mapa a údaje o ní reprezentována. Aby bylo možné provádět lokalizaci, musela být známa skutečná velikost prostoru. Dále bylo nutné v dané mapě znázornit pozici všech dostupných Beaconů.

Aby uživatel mohl svoji pozici zobrazit na displeji zařízení, připadaly v úvahu dvě možné varianty, jak zobrazit kompletní mapový podklad. První zvažovanou možností bylo sestavení mapy definováním soustavy úseček, které by reprezentovaly jednotlivé místnosti. Druhou možností, která byla nakonec i zvolena, bylo reprezentovat půdorys pomocí Bitmapy. Její struktura je složena z pixelů, avšak díky znalosti měřítka mezi velikostí obrázku a skutečnou velikostí prostoru je možné s ní bez problému pracovat. Na Obr. 12 je zobrazen UML diagram znázorňující tři modelové třídy reprezentující monitorovaný prostor.

32 <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/awt/Canvas.html>



Obr. 12: Diagram modelových tříd.

Zdroj: vlastní, Enterprise Architect.

Tyto modelové třídy reprezentují zmapovaný prostor při běhu aplikace. Aby však bylo umožněno vytváření vlastních map, které by pokrývaly libovolný prostor definovaný uživatelem, bylo nutné vymyslet rozhraní, pomocí kterého by probíhala konverze definované mapy do objektové podoby.

Rozhraní použité v Indoor Lokalizatoru využívá formát JSON dokumentu³³. Tento standardizovaný formát umožňuje popis objektů v přehledné formě dobře čitelné jak lidmi, tak stroji. Výborně slouží k popsání požadovaného prostoru, neboť pomocí něj lze zaznamenat potřebné atributy typu `String` i `double` a také kolekce `Beaconů`, které jsou složeny opět z těchto datových typů. Problém však nastává, chceme-li reprezentovat půdorys reprezentovaný pro potřeby aplikace `Bitmapou`. Tento problém je vyřešen zakódováním obrázku do posloupnosti tisknutelných znaků pomocí schématu `Base64`³⁴. Výsledný JSON soubor tímto značně navyšuje svoji velikost, neboť převod takového půdorysu na řetězec vyústí v desetitisíce znaků. Možnost definování celé mapy do jediného textového souboru

³³ www.json.org/

³⁴ <https://www.base64decode.org/>

však značně převyšuje tuto nevýhodu. Na následující ukázce je zobrazen příklad JSON dokumentu s mapou, kterou je možné do aplikace přidat.

```
{
  "name" : "Byt na Lužné",
  "width" : 10.56,
  "height" : 14.61,
  "beacons" : [
    {
      "UUID" : "B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D",
      "major" : 51297,
      "minor" : 20906,
      "position_x" : 1.75,
      "position_y" : 6.04
    },
    {
      "UUID" : "B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D",
      "major" : 39018,
      "minor" : 45191,
      "position_x" : 5.69,
      "position_y" : 11.95
    },
    {
      "UUID" : "B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D",
      "major" : 34766,
      "minor" : 61347,
      "position_x" : 6.34,
      "position_y" : 3.2
    }
  ],
  "image" : "Base64 String"
}
```

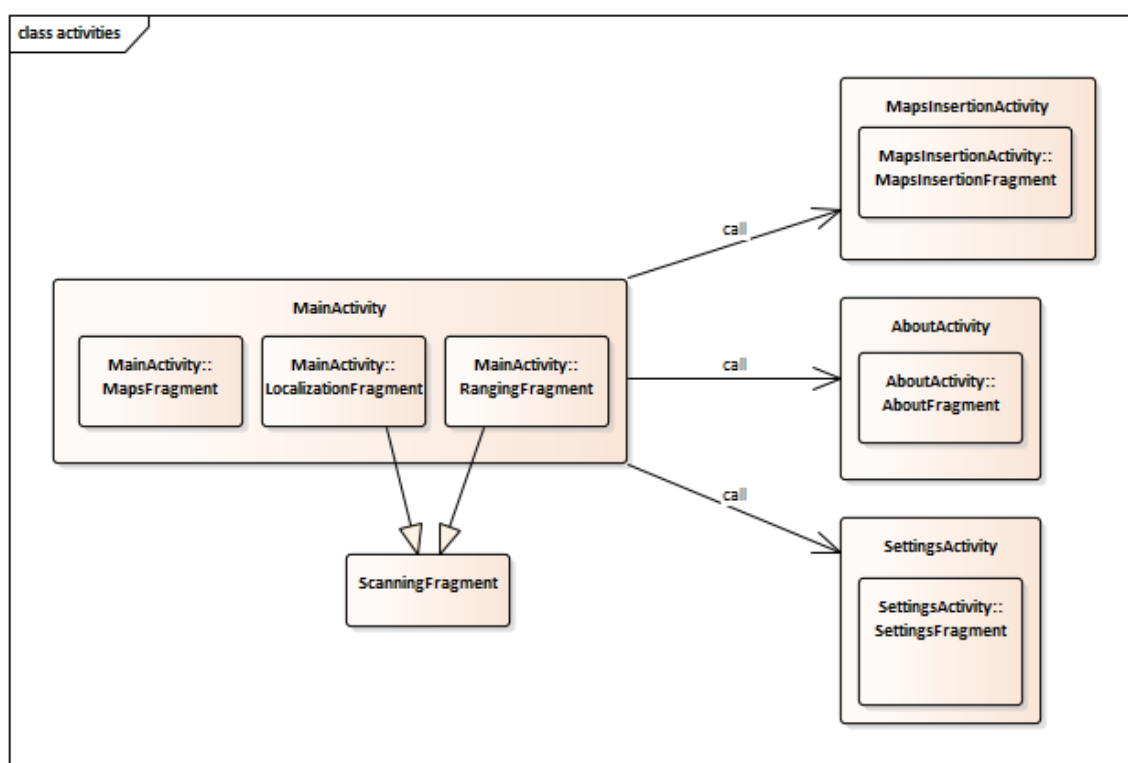
Ukázka zobrazuje povinné atributy, které musí JSON dokument obsahovat.

Jak již bylo řečeno dříve, uživatel může do aplikace nahrávat své vlastní mapy, dodrží-li stanovený formát. V základu se v aplikaci nachází pouze jediná mapa bytu, ve kterém probíhalo testování veškeré funkčnosti. Tuto mapu (zobrazenou na příkladu výše s výjimkou řetězce definujícího zakódovaný obrázek) jako jedinou nelze z aplikace odstranit. Všechny ostatní, které se uživatel rozhodne importovat, lze kdykoli později smazat.

Mapy jsou do aplikace načítány ze dvou míst. Prvním místem je soubor umístěný v **resources**, což je místo uvnitř adresářové struktury aplikace se statickým

obsahem jako jsou obrázky, definice layoutu, lokalizačních textů nebo použitých barev. Druhým místem je již dříve zmíněna databáze SQLite. Protože JSON dokument je reprezentován řetězcem znaků a v aplikaci byla implementována konverze modelových objektů do podoby JSON dokumentu, databázové schéma se skládá pouze z jedné tabulky s jediným sloupcem. Mapa je tak uložena formou řetězce obsahujícího JSON dokument. Toto řešení není sémanticky ideální a jistě by se dalo zvážit minimálně použití ORM frameworku či jiného druhu databáze. Snadné provedení databázových operací však nakonec rozhodlo ve volbě tohoto řešení.

6.4.3 Obrazovky



Obr. 13: Diagram propojení aktivit a fragmentů.

Zdroj: vlastní, Enterprise Architect.

V aplikaci se nachází celkem 6 obrazovek. Výchozím místem celé aplikace je *MainActivity*, která nabízí tři různě obsahové fragmenty, mezi kterými uživatel přepíná. Z *MainActivity* může uživatel pomocí postranního menu spouštět další aktivity, kterými jsou *MapInsertionActivity*, starající se o nahrání uživatelské mapy, *SettingsActivity*, ve které se nachází nastavení aplikace, a *AboutActivity*

s informacemi o aplikaci. Na Obr. 13 je zobrazen diagram znázorňující propojení těchto aktivit s jejich fragmenty.

Po spuštění aplikace se uživatel ocitne uvnitř *MainActivity*, která zobrazuje *MapsFragment*. Jedná se o seznam dostupných map, které uživatel může zvolit. Kromě samotného výběru mapy má uživatel možnost zobrazit náhled mapy. Jedná-li se o mapu načtenou z databáze, aplikace nabízí volbu jejího smazání. Mapa, která se v aplikaci nachází od počátku načtená z **resources**, smazána být nemůže. Po zvolení konkrétní mapy je tato mapa uložena do třídy *MapManager*, která se stará o přenos vybrané mapy mezi jednotlivými fragmenty napříč celou aplikací. Náhledy k této a dalším obrazovkám jsou k dispozici v příloze č. 1.

Další fragment, na který se může uživatel přesunout z *MainActivity*, je *LocalizationFragment*. Ten obsahuje základní funkci celé aplikace. Uživateli je k dispozici panel s ovládáním spuštění a ukončení skenu Bluetooth LE zařízení. Dále je k dispozici posuvný panel (slider), který označuje vteřinový interval (5 – 20 sekund), po jakém probíhá výpočet polohy uživatele z nasnímaných iBeaconů. Posledním prvkem je obrázek zobrazující mapový podklad s umístěnými iBeacony a v případě nalezení polohy také bod, který ji označuje.

Posledním fragmentem v *MainActivity* je *RangingFragment*. V tomto fragmentu je pomocí *BeaconsAdapter* zobrazen seznam všech Beaconů pro zvolenou mapu. K dispozici je náhled s mapovým podkladem a zvýrazněnou pozicí zvoleného Beaconu. Kromě tohoto seznamu se zde nacházejí stejné skenové prvky jako u lokalizačního fragmentu, tedy tlačítko k ovládání skenu a posuvník s časovým intervalem (2-10 vteřin) k vyhodnocení iBeacon paketů. Z naměřených hodnot je vypočítávána vzdálenost k jednotlivým Beaconům a přehledně uživateli zobrazena.

Pomocí postranního menu může uživatel spustit aktivitu s importováním uživatelské mapy (*MapInsertionActivity*). Vzhled této části aplikace je řízen fragmentem *MapInsertionFragment*. Uživateli je zobrazeno tlačítko k výběru souboru z externího úložiště. Splňuje-li vybraný soubor formát JSON dokumentu, ve kterém jsou nezbytné informace k sestavení mapy, uživateli je zobrazeno tlačítko k uložení mapy do databáze. V opačném případě je uživatel varován. Ve

fragmentu se dále nachází pravidla pro tvorbu vlastní mapy včetně dialogového okna s ukázkovým JSON dokumentem.

V aplikaci se nachází také část s nastavením, o kterou se stará *SettingsActivity* a *SettingsFragment*. V něm uživatel může změnit barvu zobrazení Beaconů na mapách a barvu vykreslené pozice. Tato možnost je k dispozici zejména z důvodu, aby nedocházelo ke splynutí iBeaconů či vykreslené pozice s obrázkem půdorysu.

Poslední obrazovkou je *AboutActivity* s informacemi o aplikaci zobrazenými v *AboutFragment*.

6.4.4 Lokalizace

Klíčovou funkcí Indoor Lokalizatoru je výpočet vzdáleností od jednotlivých iBeaconů a s jejich pomocí určit polohu uživatele. Základem pro tyto dvě schopnosti aplikace je *ScanningFragent*. Jedná se o abstraktní třídu, která obsahuje společné prvky pro fragmenty *LocalizationFragment* a *RangingFragment*, jako jsou ovládání skenu a nastavení intervalu, po kterém se vyhodnocují naměřené výsledky. Druhou základní jednotkou těchto dvou funkcionalit je služba *ScanningService*, která podobně jako *ScanningFragment* obstarává společné činnosti pro *LocalizationService* a *RangingService*. V této abstraktní třídě je při uživatelsky vyvolaném skenování vytvořeno nové vlákno, které ovládá spuštění skenu, odpočítává uživatelsky nastavenou dobu měření a po uplynutí této doby spouští proceduru v závislosti na kontextu, zda-li se jedná o určení vzdáleností k iBeaconům nebo výpočet pozice.

6.4.4.1 Určování vzdáleností

Po výběru mapy v úvodní obrazovce může uživatel využít hledání vzdáleností k jednotlivým iBeaconům. V obrazovce prezentované *RangingFragmentem* je zobrazen seznam Beaconů pro danou mapu. Po výběrů kteréhokoli z nich je uživateli zobrazen náhled mapy se zakreslenou pozicí iBeaconu. Po spuštění skenu je zahájena služba *RangingService*, která zahájí snímání Bluetooth LE zařízení. V tento moment, pokud jsou iBeacony v dosahu, přicházejí iBeacon pakety, které jsou analyzovány. Pokud se jedná o paket z iBeaconu, který je ve vybrané mapě, je

odpovídajícímu Beaconu přidána nová hodnota RSSI z naměřeného paketu do kolekce s ostatními dříve naměřenými hodnotami. Po uplynutí intervalu, který uživatel stanovil pro průběh skenu, jsou naměřené údaje vyhodnocovány. Každý Beacon nyní obsahuje kolekci naměřených RSSI i referenční hodnotu RSSI ve vzdálenosti 1 metr od něj.

Pokud by byla vzdálenost vypočítávána jen z jediné naměřené hodnoty RSSI pro každý iBeacon, znamenalo by to sice častější možnost výpočtu vzdálenosti, ale na úkor její přesnosti, protože síla RSSI může být ovlivněna okolními vlivy. K eliminaci extrémních hodnot RSSI jsou všechny naměřené hodnoty RSSI v časovém intervalu sesbírány do kolekce. Z nich lze vypočítat průměrnou hodnotu RSSI, která však úplně neřeší eliminaci extrémních hodnot. Lze tedy naměřené výsledky seřadit podle intenzity a provést odstranění krajních hodnot. Pro dosažení co nejlepšího výsledku je pro Indoor Lokalizator počítán medián z naměřených RSSI.

Posledním krokem je výpočet vzdálenosti k iBeaconu při znalosti RSSI vypočítaného jako medián z kolekce všech naměřených RSSI a znalosti referenčního signálu. K výpočtu je užit vzorec (7), který byl popsán v teoretické části práce. Jako konstanta, označující útlum signálu v prostředí, byla zvolena hodnota **3,7**. Tato hodnota během testování dosahovala nejpřesnějších výsledků a je tak napevno dosazena v aplikaci pro výpočet vzdálenosti. V následující ukázce je zobrazena metoda, pomocí které výpočet vzdálenosti probíhá.

```
private double distanceInMeters(int rssi, int txPower) {
    double attenuation = 3.7;
    int ration = txPower - rssi;
    double distance = Math.pow(10d, (double) ration / ((double) 10 *
        attenuation));
    return distance;
}
```

Jednotlivým Beaconům je vypočtena přibližná vzdálenost k přijímači v metrech a služba *RangingService* odesílá oznámení *RangingFragmentu*, který vyvolá aktualizaci seznamu iBeaconů a ke každému zobrazí hodnotu vypočítané vzdálenosti. Pokud by k určitému iBeaconu nedorazil žádný paket, hodnota jeho vzdálenosti nemůže být vypočítána.

6.4.4.2 Určování pozice

Tato služba je velice podobná předchozí. Pozici lze určit, známe-li vzdálenosti z alespoň tří různých iBeaconů. *LocalizationFragment*, který také obsahuje ovládání skenu, vyvolá spuštění *LocalizationService*, která stejně jako *RangingService* ovládá nové vlákno a analyzuje příchozí Bluetooth LE pakety, neboť také dědí od *ScanningService*.

V momentě, kdy uplyne uživatelem stanovený interval měření, jsou vyhodnocovány naměřené výsledky. Beacons vypočítají z kolekce naměřených RSSI medián, pomocí kterého je vypočítána vzdálenost. Pokud nebylo k dispozici dostatek vzdáleností k výpočtu polohy (minimum jsou 3 vzdálenosti), všechny naměřené RSSI hodnoty k Beaconům jsou vymazány a probíhá nové měření opět po dobu stanoveného intervalu. Pokud by nastala situace, kdy by 5x po sobě nebylo možné polohu zjistit, uživatel je na tuto skutečnost upozorněn.

Pokud však známe vzdálenosti alespoň ke třem iBeaconům, je vypočítán bod uživatelské polohy pomocí knihovny *Trilateration*, řešící soustavu nelineárních rovnic. Výsledný bod je z *LocalizationService* odeslán broadcastem do *LocalizationFragmentu*, který pomocí třídy *DrawingUtils* provede zakreslení pozice do Bitmapy.

7 Testování

Předmětem testování bylo ověření přesnosti použitého řešení. V následující kapitole budou uvedeny použité přístroje, pomocí nichž testování probíhalo a výsledky testů zkoumající přesný výpočet vzdáleností i finální pozice.

7.1 Použitá zařízení

Při měření ověřující funkcionalitu aplikace Indoor Lokalizator byla použita zařízení uvedená v této podkapitole.

7.1.1 iBeacony

Základem celé lokalizace jsou iBeacony. Fakulta informatiky a managementu Univerzity Hradec Králové zapůjčila k vývoji aplikace 3 ks Estimote iBeaconů. Při plném výkonu jsou schopny odesílat své signály v intervalu 100 ms do vzdálenosti až 50 metrů. Při měření výsledků byly využity na maximální výkon.

7.1.2 Přijímač

K testování naměřených výsledků byl použit mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini s operačním systémem Android 4.4 KitKat (API level 19). K ověření funkčnosti celé aplikace bylo prováděno testování i na mobilním telefonu Huawei P8 Lite (Android 6.0, API level 23) a emulátoru mobilních telefonů Nexus 5X (Android 5.1, API level 22) a Nexus 6 (Android 6.0, API level 23).

Testovací měření probíhalo v malém bytě o rozměrech přibližně 14,5 krát 10,5 metru s cihlovými zdmi.

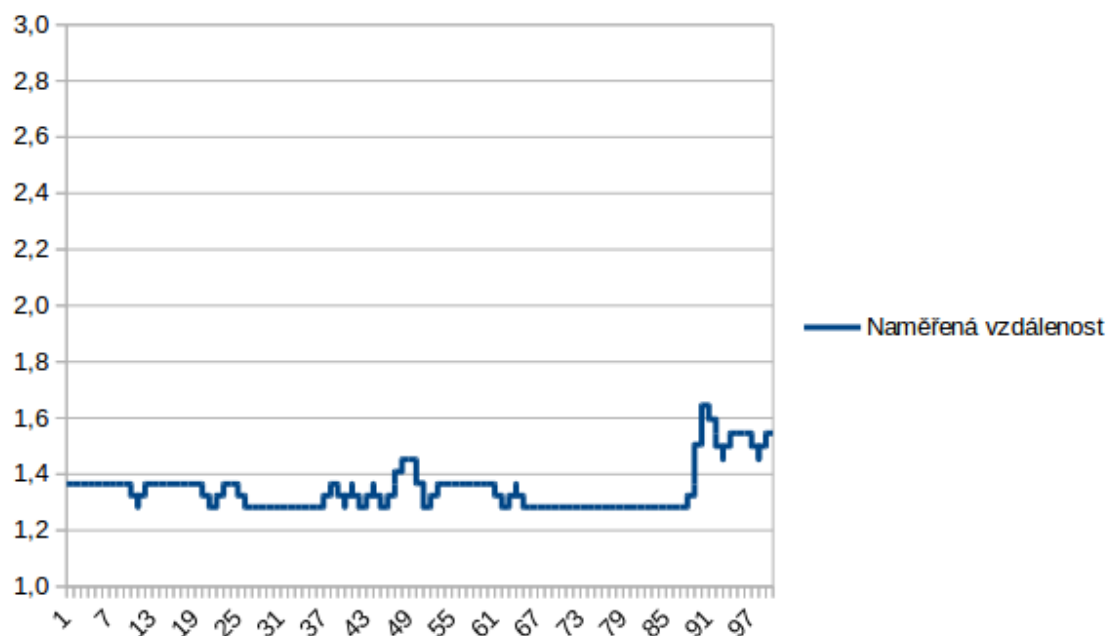
7.2 Ověření vzdáleností

Zda-li je algoritmus pro přepočítání naměřených RSSI ve vzdálenosti dostatečně přesný bylo prověřováno na iBeaconu postupně ve vzdálenosti 2, 5 a 8 metrů. Pro každou z těchto vzdáleností bylo provedeno 100 měření a výsledky zaznamenané v grafech.

Vzdálenost 2 metry od iBeaconu

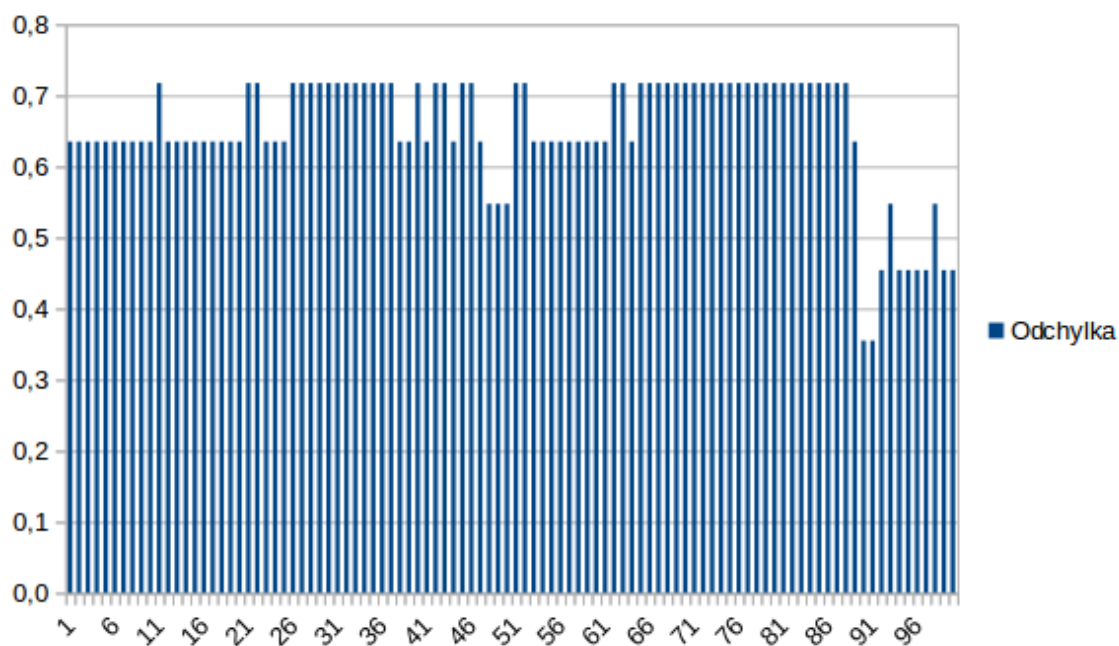
Průměrná naměřená vzdálenost činila **1,3481** metrů.

Průměrná odchylka od skutečné vzdálenosti činila **0,6519** metrů.



Obr. 14: Graf vypočítané vzdálenosti 2 metry od iBeaconu.

Zdroj: vlastní.



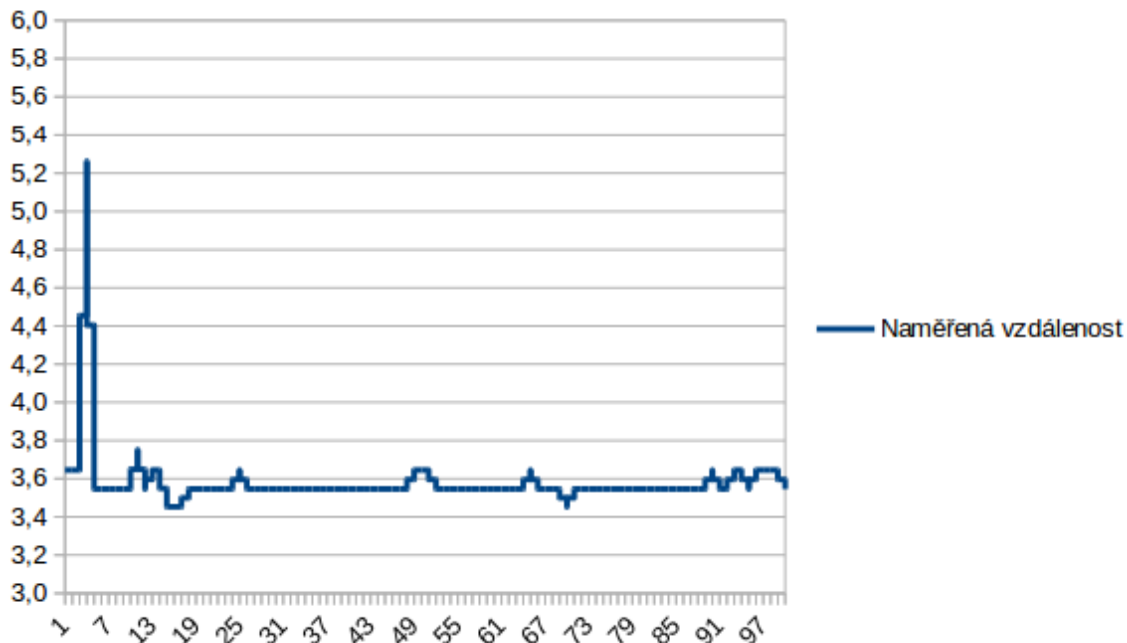
Obr. 15: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (2 metry).

Zdroj: vlastní.

Vzdálenost 5 metrů od iBeaconu

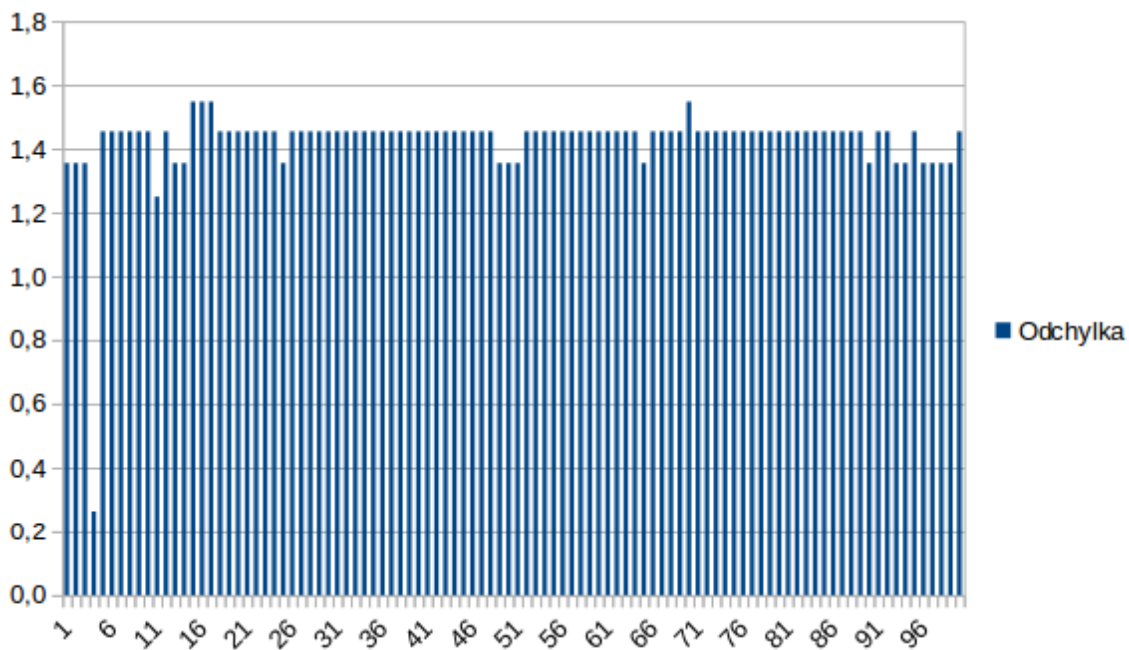
Průměrná naměřená vzdálenost činila **3,5783** metrů.

Průměrná odchylka od skutečné vzdálenosti činila **1,4270** metrů.



Obr. 16: Graf vypočítané vzdálenosti 5 metrů od iBeaconu.

Zdroj: vlastní.



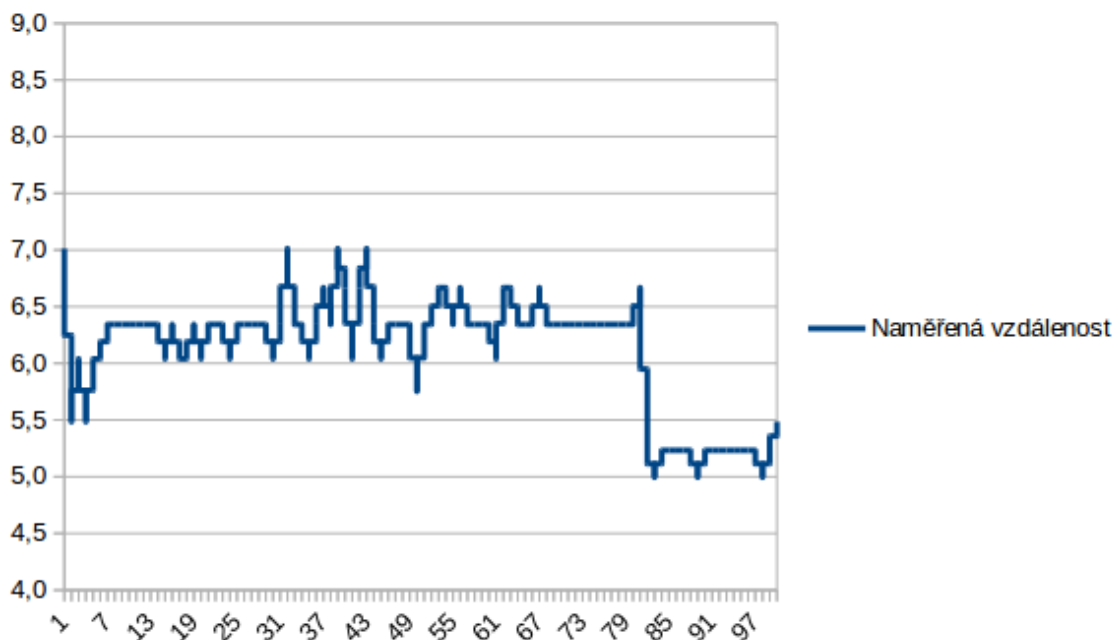
Obr. 17: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (5 metrů).

Zdroj: vlastní.

Vzdálenost 8 metrů od iBeaconu

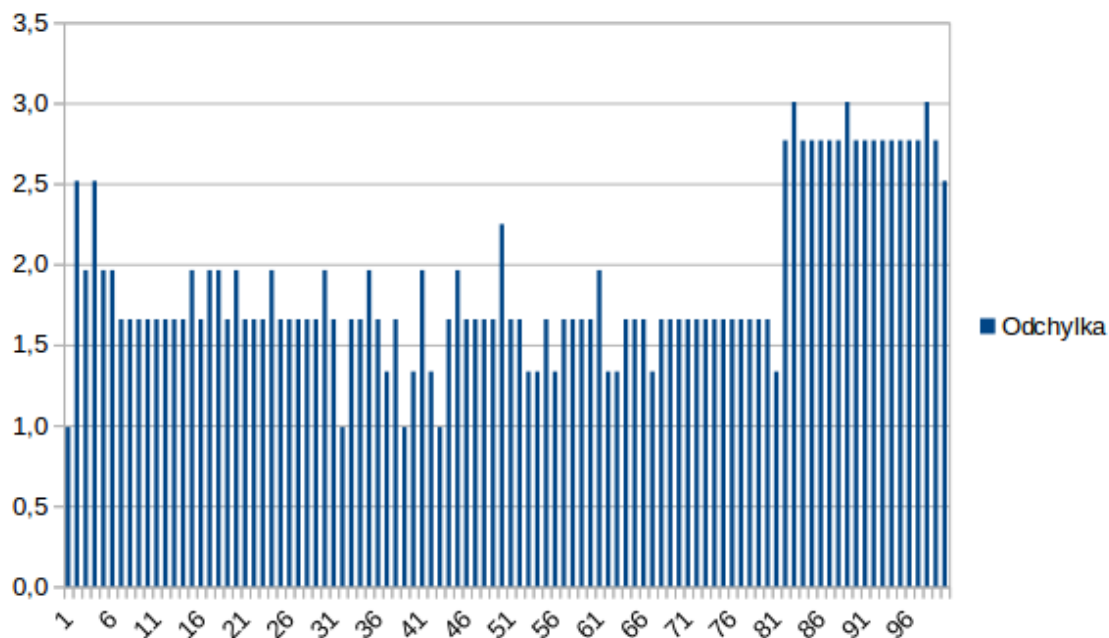
Průměrná naměřená vzdálenost činila **6,1239** metrů.

Průměrná odchylka od skutečné vzdálenosti činila **1,8761** metrů.



Obr. 18: Graf vypočítané vzdálenosti 8 metrů od iBeaconu.

Zdroj: vlastní.



Obr. 19: Graf odchylky naměřené vzdálenosti od skutečné vzdálenosti (8 metrů).

Zdroj: vlastní.

Následující tabulka sumarizuje naměřené výsledky.

Vzdálenost od iBeaconu	Průměrná vzdálenost	Průměrná odchylka
2 m	1,3481 m	0,6519 m
5 m	3,5783 m	1,4270 m
8 m	6,1239 m	1,8761 m

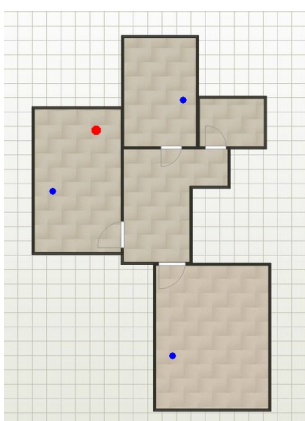
Tabulka 3: Přehled výsledků měření vzdálenosti od iBeaconu.

Z naměřených výsledků jsou patrné dva závěry:

- Algoritmus pro přepočítání RSSI na vzdálenost ve všech případech měření vypočítává nižší vzdálenost, než ve skutečnosti byla.
- Odchylka skutečné vzdálenosti roste přímo úměrně se vzdáleností. Při vzdalování se od iBeaconu tedy klesá spolehlivost algoritmu pro výpočet vzdálenosti.

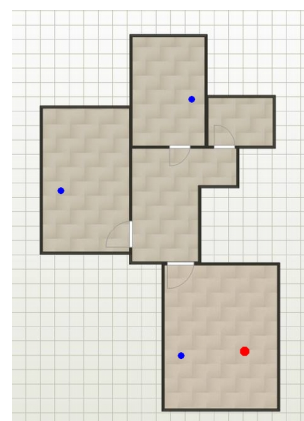
7.3 Měření přesné polohy

Další testování bylo prováděno na přesnost vypočítané cílové pozice a její odchylky od skutečné. I v tomto případě bylo provedeno 100 testových měření. Na Obr. 21 a 22 jsou graficky znázorněna testovaná místa. Pro snazší prezentování výsledků byla tato místa pojmenována jako Bod A a Bod B a znázorněna červenou barvou. Rozmístěné iBeacony mají barvu modrou.



Obr. 20: Testovaný Bod A.

Zdroj: vlastní.

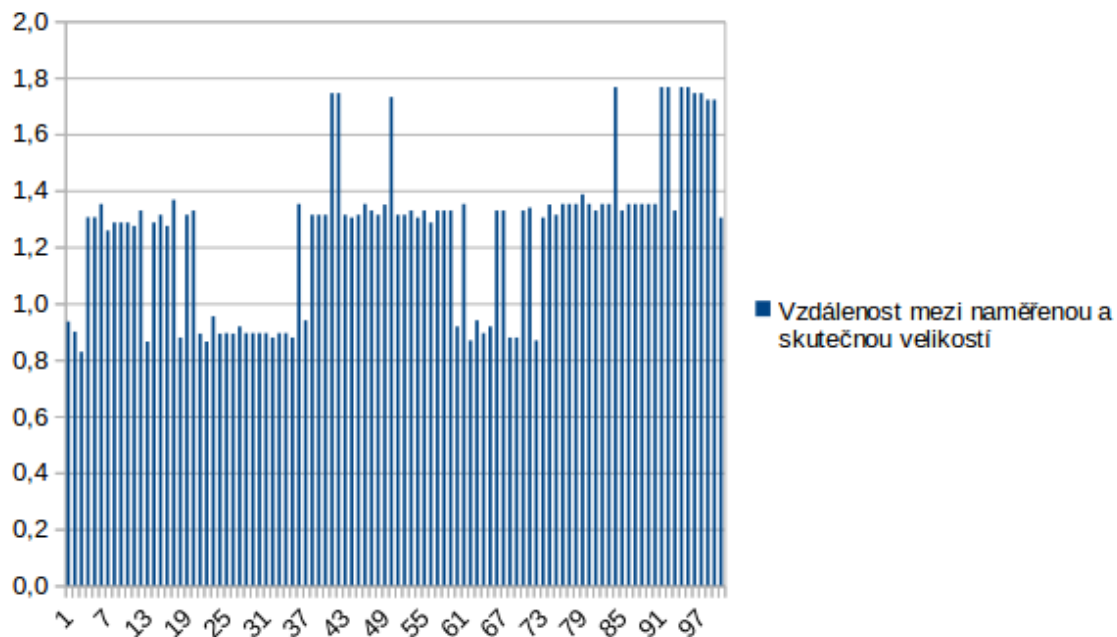


Obr. 21: Testovaný Bod B.

Zdroj: vlastní.

Měření v místě bodu A

Průměrná odchylka od skutečné vzdálenosti činila **1,2506** metrů.

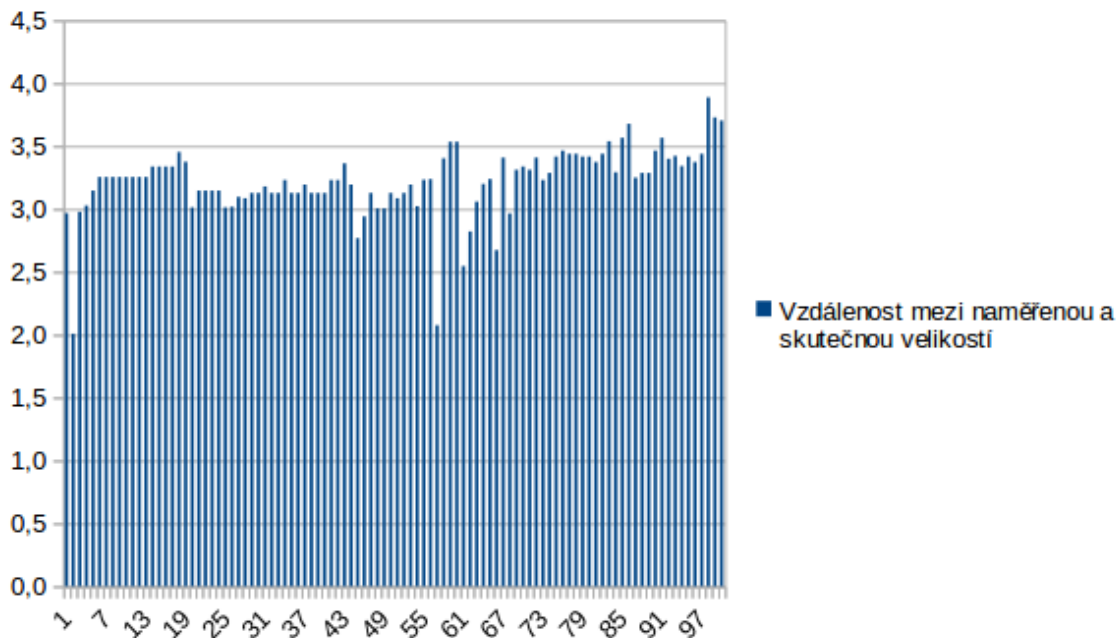


Obr. 22: Graf odchylky měření pozice v místě bodu A.

Zdroj: vlastní.

Měření v místě bodu B

Průměrná odchylka od skutečné vzdálenosti činila **3,2204** metrů.



Obr. 23: Graf odchylky měření pozice v místě bodu A.

Zdroj: vlastní.

Následující tabulka sumarizuje dosažené výsledky.

Pozice	Odchylka
Bod A	1,2506 m
Bod B	3,2204 m

Tabulka 4: Přehled výsledků měření pozice v konkrétních bodech.

Tyto výsledky poskytují nejednoznačný závěr řešení.

- Pro Bod A byly změřeny uspokojivé výsledky. Nízká průměrná odchylka znamenala pohodlnou identifikaci místnosti, ve které se Bod A nachází.
- V případě Bodu B výsledky uspokojivou přesnost nepřinesly. Průměrná odchylka vyšší než 3 v tak malém prostoru znamenala ve většině případů zcela jinou místnost.

8 Shrnutí výsledků

V následující kapitole jsou popsány závěry plynoucí z funkčnosti aplikace Indoor Lokalizator a přesnosti lokalizace, kterou poskytuje.

8.1 Pokrytí funkčních požadavků

Aplikace Indoor Lokalizator dosáhla všech vytyčených cílů.

- Dokáže rozlišovat pozici přijímacího zařízení v dvoudimenzionálním prostoru.
- Cílovou platformou je nejpoužívanější operační systém Android, a to od verze 4.4 až po 6.0.
- Výpočet probíhá přímo na přijímacím přístroji a není nutné využívat připojení k dalším databázovým či výpočetním stanicím.
- Poskytuje dvojí funkcionalitu. Vypočítává pozici koncového zařízení a zobrazuje přibližnou vzdálenost k okolním iBeaconům.
- Uživatel může provést nahrání vlastní mapy, dodrží-li stanovený formát.

8.2 Přesnost algoritmu

Dosažené výsledky z hlediska přesnosti byly velice nestabilní. Testováním byl potvrzen předpoklad, pokud signál při své cestě musí překonat současně více překážek v podobě zdí a jiných bariér, jeho útlum je mnohem větší. . Také s rostoucí vzdáleností od jednotlivých iBeaconů ztrácí algoritmus pro přepočítání RSSI na vzdálenost na přesnosti. Avšak sběrem kolekce RSSI hodnot a následným výpočtem jejich mediánu se podařilo tuto veličinu částečně ustálit, což ihned vedlo k přesnější lokalizaci, kterou Indoor Lokalizator poskytuje. Rušení rádiového signálu v indoor prostředí tedy hraje významnou roli a zvolené řešení přineslo výsledky na hraně uspokojení. V prostoru, ve kterém testování probíhalo, docházelo k největším odchylkám naměřené polohy od skutečné v místech

odvrácených od natočení iBeaconů, v místech s nejvíce bariérami mezi přijímačem a iBeacony, a v místech nejvíce vzdálených od jednotlivých iBeaconů.

V testovaném řešení bylo použito 3 iBeaconů. Přidáním dalších, které by pokrývaly snímaný prostor, by bylo možné dosáhnout mnohem větší přesnosti. Zároveň by aplikace fungovala spolehlivěji při nezachycení signálu některého z nich. Pokud máme k dispozici jen 3 iBeacony, může se vinou krátkého časového intervalu snímán stát nezachycení signálu jednoho z nich. V takovém případě není možné ze dvou vzdáleností přesněji určit polohu přijímače a Indoor Lokalizátor v takovém případě pokračuje ve snímání a hledání pozice od začátku.

9 Závěr

Tato diplomová práce poskytla pohled na navigační technologie, které lze v dnešní době aplikovat k řešení indoor lokalizace. Podrobnějšímu zkoumání byla podrobena technologie iBeacon, pro kterou vznikla prototypová aplikace Indoor Lokalizator pro řešení hledání pozice přijímacího mobilního telefonu. Tato aplikace nabídla řešení lokalizace, které dosahuje v určitých případech odchylky až 4 metrů, je však univerzální a s její pomocí lze pokrýt vlastní prostor iBeacony a využít aplikaci k přibližné navigaci ve zcela novém objektu.

9.1 Možné zlepšení aplikace

Aplikace Indoor Lokalizator dává stále prostor k vylepšení. Tím je především přesnější algoritmus pro přepočítání naměřených RSSI hodnot ve vzdálenost. V jiném prostředí by mohla přesnost mnohem méně odpovídat skutečnosti, protože RSSI je velice náchylná veličina. Ačkoli se zdroje shodují, že je RSSI příliš nestabilní pro řešení indoor lokalizace využitím trilaterace [15, 23, 25], s vhodnějším algoritmem přesně odpovídajícím prostředí lze sestavit řešení na míru, které by mohlo pomoci v mnoha odvětvích.

10 Seznam použité literatury

- [1] JEČNÝ, Tomáš. *Lokalizace v sítích WLAN* [online]. Praha, 2005 [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/Lokalizace_v_s%EDt%EDch_WLANlong.pdf. Semestrální práce. Vedoucí práce doc. Ing Pavel Pechač , Ph.D.
- [2] *GPS: Stránka o satelitní navigaci* [online]. 2000 [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://gps.slansko.cz/>
- [3] Beacons: Everything you need to know. *Pointr* [online]. [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://www.pointrlabs.com/blog/beacons-everything-you-need-to-know/>
- [4] SEIGER, Ladislav. *Navigace - jak to všechno začalo* [online]. [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://www.lode.cz/re.php/re.php?rub=5&ID=1950>
- [5] LOWRIE, William. *Fundamentals of geophysics*. 2nd ed. New York [N.Y.]: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-67596-3.
- [6] VONDRÁK, Jan. Historie navigace – od kvadrantu k GNSS. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie* [online]. 2013, 58(1), 11-20 [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/143254/PokrokyMFA_58-2013-1_2.pdf
- [7] ŠEBESTA, Jiří. *Globální navigační systémy*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012. ISBN 978-80-214-4500-0.
- [8] GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém. *Český Kosmický Portál: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity* [online]. 2015 [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>
- [9] Historie systému GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-gsm.htm>
- [10] PRAVDA, Ivan. *Základy mobilních sítí* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/057.pdf. České vysoké učení technické v Praze.
- [11] HENNINGES, Robin. Current approaches of Wi-Fi positioning. *IEEE Conference publications* [online]. 2012, , 1-8 [cit. 2016-10-26].
- [12] VÁCLAVÍK, Lukáš. Historie Wi-Fi se začala psát před 25 lety. Připomeňte si hlavní milníky. *Cnews.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-10-26]. Dostupné z:

<http://www.cnews.cz/clanky/historie-wi-fi-se-zacala-psat-pred-25-lety-pripomente-si-hlavni-milniky>

- [13] LIU, Hui. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part C: Applications and Reviews* [online]. 2007, **37**(6), 1067-1080 [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/d22f/c46a607dbc16dfc9a32084fdd8b2558da17c.pdf>
- [14] WERNER, Martin. *Indoor Location-Based Services: Prerequisites and Foundations*. Switzerland: Springer International Publishing, 2014. ISBN 978-3-319-10699-1.
- [15] QIAN DONG a Walteneus DARGIE. Evaluation of the reliability of RSSI for indoor localization. In: *2012 International Conference on Wireless Communications in Underground and Confined Areas* [online]. IEEE, 2012, s. 1-6 [cit. 2016-10-31]. DOI: 10.1109/ICWCUCA.2012.6402492. ISBN 978-1-4673-1291-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6402492/>
- [16] WANT, Roy, et al. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 1992, 10.1: 91-102.
- [17] NAVARRO, Eduardo, Benjamin PEUKER a Michael QUAN. *Wi-Fi Localization Using RSSI Fingerprinting* [online]. California Polytechnic State University [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=cpepsp>
- [18] WOODMAN, Oliver J. a Robert K. HARLE. Concurrent scheduling in the active bat location system. *Pervasive Computing and Communications Workshops* [online]. 2010, , 431-437 [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <https://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/www/files/publications/public/ojw28/MainNew.pdf>
- [19] IVÁNEK, Lubomír. *Rozdělení spektra elektromagnetických vln. Frekvenční pásma v rádiovém přenosu* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni_vln/teze/otazka_02.pdf
- [20] KUSALA, Jaroslav. Jak vzniká vlnění. *Radarová encyklopedie* [online]. 2008 [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k11.htm
- [21] VOLMUT, Josef. *Rozdělení radiových vln a jejich šíření* [online]. 2001 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: http://dlabos.wz.cz/en/Rozdeleni_radiovych_vln_a_jejich_sireni.html

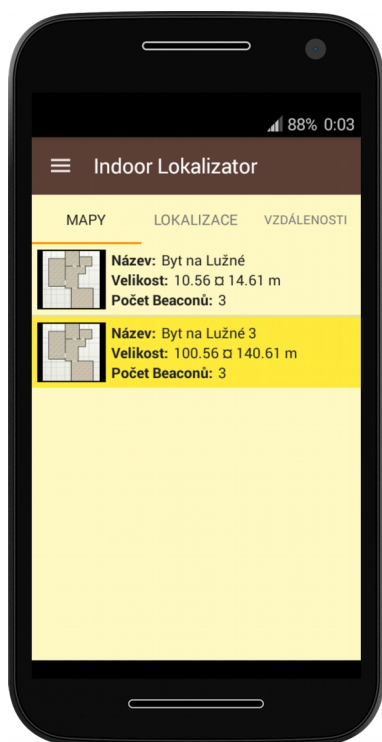
- [22] *Radiové vlny a mikrovlny* [online]. 2009 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%20C5%A0/05%20Optika/04%20Elektromagnetick%C3%A9%20z%C3%A1%20en%C3%AD/03%20R%C3%A1diov%C3%A9%20vlny%20a%20mikrovlny.pdf>
- [23] PARAMESWARAN, Ambili Thottam. Is rssi a reliable parameter in sensor localization algorithms - An experimental study. *Field Failure Data Analysis Workshop (F2DA09)* [online]. 2009 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: http://www.cse.buffalo.edu/srds2009/F2DA/f2da09_RSSI_Paramesaran.pdf
- [24] WIEDEMANN, Scott. Trilateration: Solves a formulation of n-D space trilateration problem using a nonlinear least squares optimizer. *GitHub* [online]. [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <https://github.com/lemmingapex/trilateration>
- [25] SHCHEKOTOV, Maxim. Indoor localization method based on Wi-Fi trilateration technique. *Proceeding of the 16th conference of fruct association* [online]. 2014 [cit. 2016-11-04]. ISSN 2305-7254. Dostupné z: <https://fruct.org/publications/abstract16/files/Shc1.pdf>
- [26] *Triangulate: Triangulating your position* [online]. [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://everything2.com/title/Triangulate>
- [27] *Informace o technologii iBeacon na iPhone, iPadu a iPodu touch. Apple* [online]. 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT202880>
- [28] Understanding the different types of BLE Beacons. *Mbed* [online]. 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <https://developer.mbed.org/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/>
- [29] ČÁNSKÝ, Jiří. *Bluetooth* [online]. 2006 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/Bluetooth_CanskyJ.pdf. Seminární práce. České vysoké technické učení v Praze.
- [30] *Bluetooth technology website* [online]. 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/>
- [31] Bluetooth 5.0: ještě úspornější, rychlejší a s čtyřnásobným dosahem. *Živě.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/bluetooth-50-jeste-uspornejsi-rychlejsi-a-sctyrnasobnym-dosahem/sc-4-a-182830/default.aspx>

- [32] Introduction to Bluetooth Low Energy. *Adafruit* [online]. 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy>
- [33] YANG, Jingjing, Zihui WANG a Xiao ZHANG. An iBeacon-based Indoor Positioning Systems for Hospitals. *International Journal of Smart Home* [online]. 2015, 9(7), 161-168 [cit. 2016-11-07]. ISSN 1975-4094 IJSH. Dostupné z: http://www.sersc.org/journals/IJSH/vol9_no7_2015/16.pdf
- [34] *Beacon Tech Overview: Estimote Developer* [online]. 2014 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://developer.estimote.com/>
- [35] RAJENDRAN, Sreejith K. IBeacon - Indoor Navigation. In: *LinkedIn* [online]. 2014 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/20141103102705-168695351-ibeacon-indoor-navigation>
- [36] Knowledge Center: Support Base. *Kontakt.io* [online]. 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/categories/200833055-Knowledge-Base>
- [37] Beacons: Everything you need to know. *PointR* [online]. 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.pointrlabs.com/blog/beacons-everything-you-need-to-know/>
- [38] *iBeacon Insider: Your Guide to iBeacon Technology* [online]. 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.ibeacon.com/>
- [39] The Hitchhikers Guide to iBeacon Hardware: A Comprehensive Report by Aislelabs (2015). *Aislelabs* [online]. 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.aislelabs.com/reports/beacon-guide/>
- [40] WARSKI, Adam. How do iBeacons work? In: *Blog of Adam Warski* [online]. 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.warski.org/blog/2014/01/how-ibeacons-work/>
- [41] Gartner Says Worldwide Smartphone Sales Grew 3.9 Percent in First Quarter of 2016. *Gartner: Technology Research* [online]. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3323017>
- [42] ŠVEC, Václav. Je to tu. Android 7.0 Nougat oficiálně jako aktualizace pro Nexusy. *Svět Androida* [online]. 2016 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/android-7-0-nougat-finalni-verze-201608>
- [43] KILIÁN, Karel. Historie Androidu v kostce aneb Od verze 1.0 až po Android M. *Svět Androida* [online]. 2015 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/historie-androidu-201506>

- [44] *Android* [online]. 2016 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z:
<https://www.android.com>
- [45] *Android Developers* [online]. 2016 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z:
<https://developer.android.com>

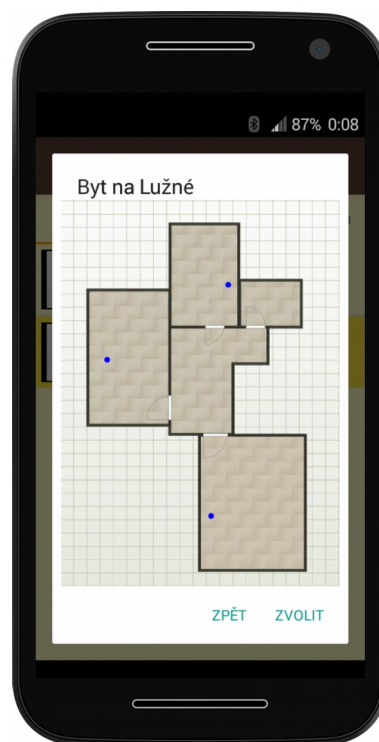
11 Přílohy

- 1) Náhledy obrazovek aplikace Indoor Lokalizator.
- 2) Datový nosič obsahující tyto soubory:
 - zdrojové kódy aplikace Indoor Lokalizator,
 - instalační balíček aplikace Indoor Lokalizator,
 - tabulkový soubor s naměřenými výsledky přesnosti ve formátu ODS,
 - text práce ve formátu PDF.



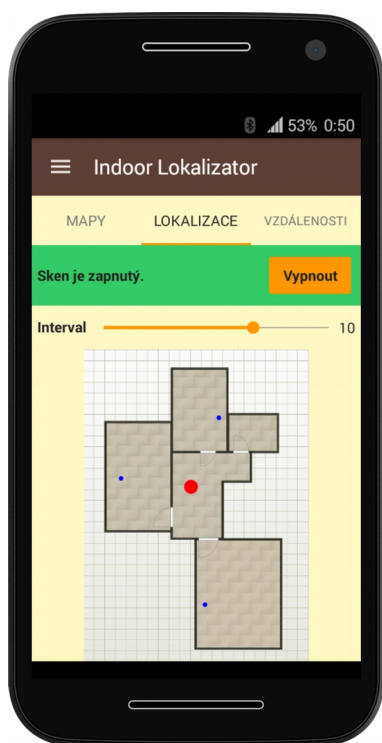
Obr. 24: Náhled výběru map.

Zdroj: vlastní.



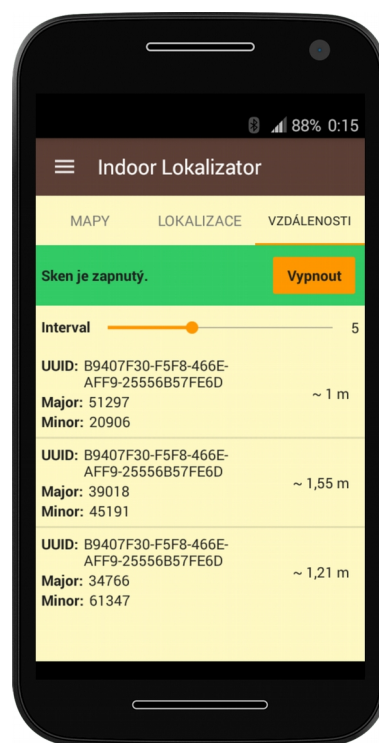
Obr. 25: Náhled zobrazení mapy.

Zdroj: vlastní.



Obr. 26: Náhled lokalizace.

Zdroj: vlastní.



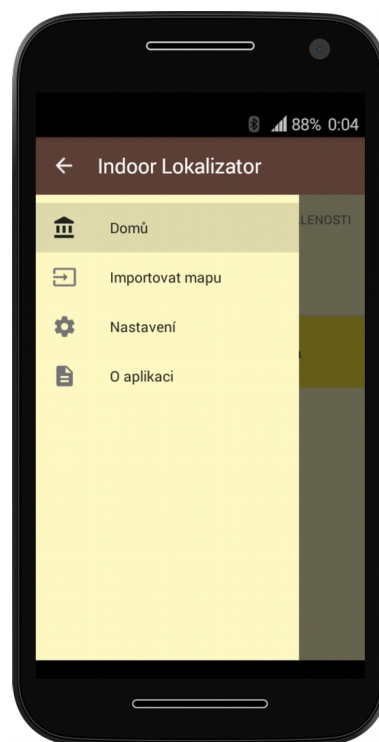
Obr. 27: Náhled vzdáleností.

Zdroj: vlastní.



Obr. 28: Náhled importu mapy.

Zdroj: vlastní.



Obr. 29: Náhled menu.

Zdroj: vlastní.

Podklad pro zadání DIPLOMOVÉ práce studenta

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA	OSOBNÍ ČÍSLO
Masařík Lukáš	Lužná 21, Brno - Komárov	I14771

TÉMA ČESKY:

Indoor navigace pomocí iBeaconů

TÉMA ANGLICKY:

Indoor navigation using iBeacons

VEDOUcí PRÁCE:

doc. Ing. Filip Malý, Ph.D. - KIKM

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cíl:

Popsat problematiku určování polohy uvnitř uzavřených objektů. Vysvětlení známých přístupů lokalizace se zaměřením na technologii využívanou iBeacony. Sestavení prototypu aplikace pro určení polohy na základě dat poskytnutých iBeacony.

Osnova:

1. Úvod
2. Navigační technologie
3. Technologie Bluetooth a technologie iBeacon
4. Návrh aplikace
5. Implementace
6. Závěr
7. Literatura

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

Podpis studenta:



Datum:

14.10.2015

Podpis vedoucího práce:



Datum:

14.10.2015