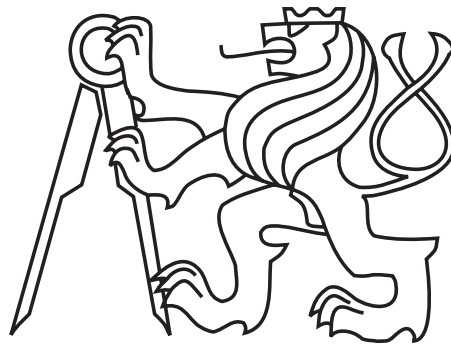


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky
Obor: Provoz a řízení letecké dopravy
Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích



**Indoor navigace pomocí
magnetického pole země
a Wi-Fi sítí**

**Indoor navigation using
the earth's magnetic field
and Wi-Fi networks**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Petr Hušek

Vedoucí práce: Ing. Petr Bureš, Ph.D.

Rok: 2016



K620 Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Petr Hušek

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Indoor navigace pomocí magnetického pole země
a Wi-Fi sítí**

Název tématu (anglicky): Indoor navigation using the earth's magnetic field
and Wi-Fi networks

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- úvodní rešerše technologií indoor navigace
- teoretický rozbor 2 vybraných technik (magnetické pole a wifi sítě)
- návrh a implementace 2 vybraných technik navigace
- praktická měření a zhodnocení realizace
- návrh a implementace fúze implementovaných technik indoor navigace
- praktická měření a zhodnocení realizace fúze

Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: CHUNG, Jaewoo, et al. Indoor location sensing using geo-magnetism. In: Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2011. str. 141-154.
LYMBEROPOULOS, Dimitrios, et al. A realistic evaluation and comparison of indoor location technologies: experiences and lessons learned. In: Proceedings of the 14th International Conference on Information

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bureš, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **25. června 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

.....
doc. Ing. Pavel Hruběš, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky

.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....
Petr Hušek
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 25. června 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....
Bc. Petr Hušek

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Petru Burešovi, Ph.D. za trpělivost během tvoření tohoto díla. Děkuji své rodině a své ženě za podporu.

Bc. Petr Hušek

Název práce:

Indoor navigace pomocí magnetického pole země a Wi-Fi sítí

Autor: Bc. Petr Hušek

Obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Bureš, Ph.D.

Ústav dopravní telematiky, Fakulta dopravní, České vysoké učení
technické v Praze

Abstrakt: Práce popisuje princip lokalizace uvnitř budov. První kapitola rozebírá principy lokalizace za pomoci různých technologií. Další kapitoly se zaměřují na metodu Wi-Fi a magnetického pole, kde jsou obě tyto metody nejprve teoreticky rozebrány, následně je navrhnout postup k určení polohy a nakonec je vše podloženo praktickým měřením s výpočtem polohy. Stejný postup je zvolen i pro fúzi těchto metod. Poslední kapitola představuje současná řešení dvou zahraničních firem.

Klíčová slova: indoor, lokalizace, magnetické pole, Wi-Fi

Title:

Indoor navigation using the earth's magnetic field and Wi-Fi networks

Author: Bc. Petr Hušek

Abstract: The thesis describes the principle of localization inside buildings. The first chapter discusses the principles of localization using various technologies. Following chapters are focused on Wi-Fi and magnetic field principle, where both of these methods are theoretically discussed first, then the procedure of localization is designed, and finally everything is backed up by practical measurements and calculations of the position. The same procedure is chosen for fusion of these methods. The last chapter presents existing solutions of two foreign companies.

Key words: indoor, localization, magnetic field, Wi-Fi

Obsah

Úvod	10
1 Úvodní rešerše technologií indoor navigace	12
1.1 Obecné	12
1.2 Mobilní síť	13
1.2.1 Obecné	13
1.2.2 Struktura systému	14
1.2.3 Princip	15
1.3 Wi-Fi	20
1.3.1 Obecné	20
1.3.2 Princip	20
1.4 Bluetooth	21
1.4.1 Obecné	21
1.4.2 Princip	22
1.5 RFID	23
1.5.1 Obecné	23
1.5.2 Princip	24
1.6 Ultrazvuk	24
1.6.1 Obecné	24
1.6.2 Princip	25
1.7 Kamera	26
1.7.1 Obecné	26

1.7.2	Princip	26
1.8	Infračervené záření	26
1.8.1	Obecné	26
1.8.2	Princip	27
1.9	Inerciální senzory	27
1.9.1	Obecné	27
1.9.2	Princip	29
1.10	Magnetické pole	29
1.10.1	Obecné	29
1.10.2	Princip	30
1.11	Shrnutí	31
2	Teoretický rozbor metod Wi-Fi a magnetického pole	32
2.1	Obecné	32
2.2	Metoda Wi-Fi	32
2.2.1	Model šíření Wi-Fi signálu	33
2.3	Metoda magnetického pole	34
2.3.1	Model magnetického pole	35
3	Návrh a implementace metod Wi-Fi a magnetického pole	36
3.1	Obecné	36
3.2	Fingerprinting	37
3.2.1	Offline fáze	37
3.2.2	Online fáze	37
3.3	Metoda Wi-Fi	38
3.3.1	Offline fáze	38
3.3.2	Online fáze	40
3.4	Metoda magnetického pole	40
3.4.1	Offline fáze	40

3.4.2	Online fáze	42
4	Praktická měření a zhodnocení realizace	43
4.1	Metoda Wi-Fi	43
4.1.1	Offline fáze	43
4.1.2	Online fáze	46
4.2	Metoda magnetického pole	46
4.2.1	Offline fáze	46
4.2.2	Online fáze	47
4.3	Shrnutí	47
5	Návrh a implementace fúze použitých metod	49
5.1	Obecné	49
5.2	Offline fáze	49
5.3	Online fáze	49
6	Praktická měření a zhodnocení realizace fúze	51
6.1	Offline fáze	51
6.2	Online fáze	51
6.3	Shrnutí	52
7	Praktická měření pomocí dvou současných řešení	53
7.1	Obecné	53
7.2	Měření za použití nástroje InfSoft	53
7.2.1	Vytvoření plánu objektu	54
7.2.2	Vyznačení měřených kalibračních tras	57
7.2.3	Naměření tras pomocí mobilní aplikace	57
7.2.4	Kontrola a schválení naměřených dat, publikování na server	58
7.2.5	Zobrazení polohy	58
7.3	Měření za použití nástroje IndoorAtlas	59

7.3.1	Zakreslení měřených tras v plánu a naměření dat	60
7.3.2	Vyznačení a projití testovací trasy	60
7.3.3	Vygenerování mapy, nahrání na server IndoorAtlas	61
7.3.4	Zobrazení polohy	61
7.4	Shrnutí	62
	Závěr	63
	Seznam použitých zdrojů	65
	Seznam použitých zkratk	70
	Přílohy	72
	A Tabulka otisku Wi-Fi vysílačů v offline fázi	73
	B Tabulka otisku magnetického pole v offline fázi	76

Úvod

Ať už se jedná o zjištění naší aktuální polohy v řádu měst nebo konkrétního obchodu v obchodním středisku, ve kterém se nacházíme, vždy chceme vědět, kde se právě nacházíme. Abychom se v dnešním světě neztratili, od pradávna se sněžíme frekvencovanější místa a trasy označovat například cedulemi. Časem se vybudoval systém značených cest a navigačních značek, které cestovateli říkaly, kde se nachází, kudy jde nebo jakým směrem se má dát. Zároveň vznikly mapy území, s vyznačenými cestami a městy, popřípadě i terénem a vegetací. Nevýhodou map bylo, že uživatel musel sám zjistit, kde se na ní nachází, aby věděl, kudy se má vydat. S příchodem techniky a moderních zobrazovacích zařízení, se začali vynalézat řešení, která by nám vykreslila mapu a na ní v podobě bodu vyznačila místo, kde se právě nacházíme. Takovéto řešení by mělo samozřejmě obrovský potenciál mimo jiné i v armádě. Právě proto byl pod Ministerstvem obrany Spojených států amerických vyvinut globální družicový polohovací systém GPS¹. V návaznosti na něj družicový systém vyvíjeli i další zemně, jako třeba Rusko systém GLONASS² nebo evropský Galileo. To co bylo nejprve určeno pouze pro vojenské účely, se později zpřístupnilo i pro civilní sektor a nyní, kdy je již téměř každý moderní mobilní telefon přijímačem vybaven, si život bez družicových polohovacích systémů nedokážeme představit.

To co, dnes považujeme kdekoli pod širým nebem za samozřejmost, má ve městech a obzvláště v budovách ale problém. Signál z těchto družic totiž konstrukcemi stavebních objektů nepronikne. Pokud bychom chtěli tedy zjistit svou polohu uvnitř budovy, nezbývá nám, než přijít s jiným řešením. Postupem času se začali vymýšlet různé možnosti, které se ukázali jako více či méně přesné a spolehlivé. Neexistuje však zatím žádné jednotné řešení, jako je tomu v případě systému GPS. Prostor pro vývoj a výzkum je tu tedy veliký. V této práci se pokusím přiblížit a shrnout jednotlivé existující metody a poté dvě vybrané techniky prakticky vyzkoušet.

V první kapitole se nejprve obecně seznámíme se současnými návrhy a principu, na jakém fungují a jak je možné pomocí nich určit svou polohu. Každé řešení

¹Global Positioning System - Globální polohovací systém

²Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema – Globální družicový navigační systém

bude rozděleno na podkapitoly, ve kterých nejprve popíšeme technologii, kterou využívají, a poté rámcově vysvětlíme princip, na jakém fungují, jeho výhody a nevýhody. V druhé kapitole se pokusíme podrobněji vysvětlit princip lokalizace dvou vybraných technik. Ve třetí kapitole začneme s praktickou částí, kde navrhne postup měření a výpočtu a v kapitole čtvrté se pak pokusíme o fyzické měření a zhodnocení realizace. Pátou kapitolou navrhne možnost sjednocení obou metod, které jsme dříve vyzkoušeli a v další kapitole pak opět provedeme měření a vyhodnocení. V poslední kapitole zkusíme celý proces lokalizace provést pomocí současných existujících řešení, vyvinutých profesionálními firmami. Na závěr naše výsledky a poznatky shrneme a vzájemně porovnáme.

Kapitola 1

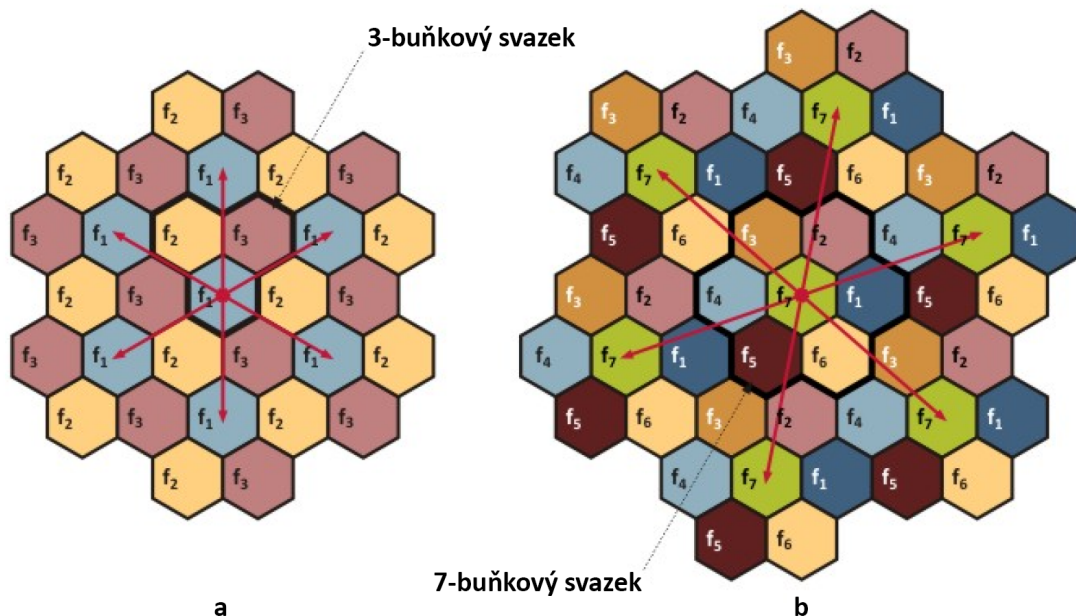
Úvodní rešerše technologií indoor navigace

1.1 Obecné

Jak jsme již zmínili v úvodu, pro navigaci ve vnitřních prostorách není žádné jednoznačně nejlepší řešení. Setkáme se zde hned s několika možnostmi postupu a využití různých principů a technologií. Mezi nejrozšířenější řešení pro určení polohy patří využití následující technologie:

- Mobilní síť,
- Wi-Fi,
- Bluetooth,
- RFID¹,
- Ultrazvuk,
- Kamera,
- Infračervené záření,
- Inerciální senzory,
- Magnetické pole.

¹Radio Frequency Identification – Identifikace na rádiové frekvenci



Obrázek 1.1: Rozdělení obsluhovaného území na buňky [28]

1.2 Mobilní síť

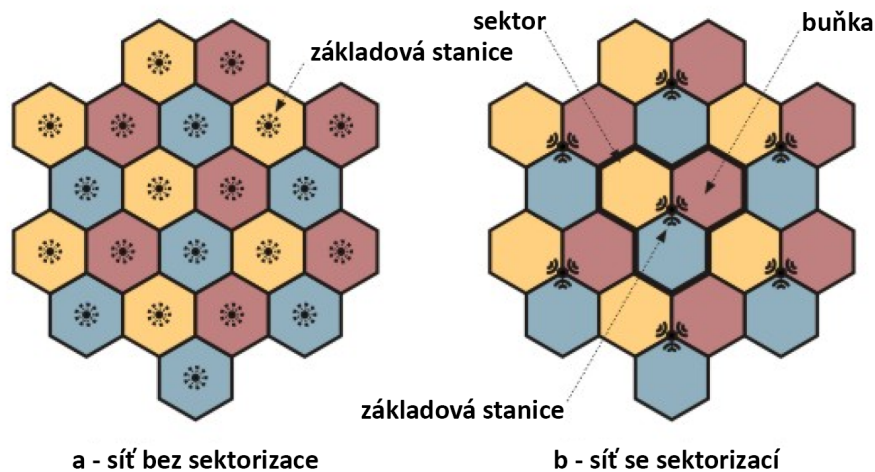
1.2.1 Obecné

Vznikem mobilních telefonů, tedy telefonů, které se dají přenášet a fungují bez propojení kabelem, vzniká i rozšíření sítí, přes které tyto telefony komunikují. V průběhu několika let vzniká jednotný analogový celulární buňkový systém se standardizací GSM², který bude vzájemně kompatibilní napříč Evropou. Vytváří ho konference evropských správ a pošt CEPT v roce 1982 a v roce 1990 je prohlášena oficiálním standardem. [32]

Buňkovým systémem se rozumí systém, při kterém je území, které má být pokryto signálem, rozděleno na dílčí oblasti, takzvané buňky. Každá buňka je obsluhována konkrétní základovou stanicí, která má přidělenou určitou skupinu kanálů, a její velikost závisí na velikosti obsluhovaného území. [28] Základně lze buňky rozdělit podle velikosti následovně:

- Velká buňka – Poloměr je větší než 3 km. Antény se umísťují nad nejvyšší bod okolní zástavby a využívají se především pro rychle se pohybující mobilní stanice, kde není žádoucí častý přechod mezi buňkami.
- Malá buňka – Poloměr menší než 3 km. Antény se umísťují výše než je střední

²Global System for Mobile Communication – Globální systém pro mobilní komunikaci



Obrázek 1.2: Princip sektorizace [28]

výška zástavby a využívají se pro pomaleji se pohybující mobilní stanice, například ve městech.

- Mikrobuňka – Poloměr ve stovkách metrů. Antény se umísťují tak, aby například šířili svůj signál mezi stavbami.
- Pikobuňka – Poloměr v desítkách metrů. Antény jsou umístěny uvnitř budov, kde nelze jinak zajistit pokrytí signálem. [28, 29]

Aby systém fungoval, nesmí být buňky se stejnými kanály vedle sebe. Toho docílíme rozložením podle obrázku 1.1 a . Minimálně tedy můžeme mít tři buňky s rozdílnými kanály. Buněk ale můžeme mít i víc, což je zobrazeno na obrázku 1.1 b. Podle typu antény můžeme zvolit i jejich rozložení. Abychom nemuseli stavět velký počet vysílacích stanic, je možné využít princip sektorizace, kde na jedné konstrukci budou umístěné tři směrové antény, obsluhující tři přilehlé buňky (viz obrázek 1.2 b). [28]

1.2.2 Struktura systému

Struktura systému obsahuje:

- Mobilní uživatelské stanice (mobilní telefon),
- Subsystém základnových stanic,
- Síťový spojovací subsystém,
- Operační a podpůrný subsystém.

Mobilní uživatelská stanice

Mobilní uživatelské stanice (mobilní telefon) je vysílač/přijímač, specifikovaný pomocí unikátního čísla IMEI³. V zařízení je vložena vyjímatelná čipová karta SIM⁴, identifikující uživatele, používajícího toto zařízení.

Subsystém základnových stanic

Subsystém základnových stanic se skládá z několika stanic BTS⁵. To jsou vysílače/přijímače, umístěné tak, aby svým signálem pokryly plochu, kde je možné se k nim pomocí mobilního telefonu připojit. Následně se mezi nimi a mobilním telefonem přenáší požadované informace přes rádiové vlny. Informace jsou následně zpracovány řídicí jednotkou, která může být společná pro více stanic BTS, a odeslány do síťového spojovacího subsystému.

Síťový spojovací subsystém

Síťový spojovací subsystém se skládá z několika zařízení, která uchovávají databáze všech mobilních stanic a informací o nich a dále mezi nimi zprostředkovávají šifrovanou komunikaci.

Operační a podpůrný subsystém

Operační a podpůrný subsystém již pouze plní úlohu správce systému a zajišťuje jeho správný chod a monitoring. [31]

1.2.3 Princip

Možností, jak určit svou polohu pomocí mobilních sítí, je hned několik. Zde si uvedeme ty nejznámější. Fungují na následujících principech:

- Identifikace buňky – CID⁶,
- Síla přijímaného signálu – RSS⁷,

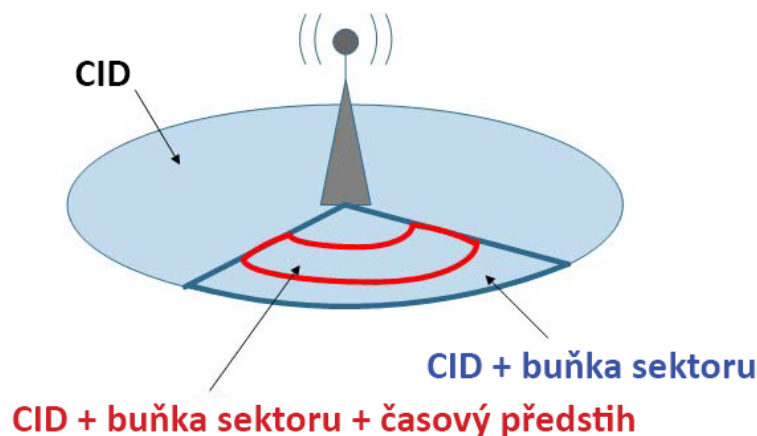
³International Mobile Equipment Identity - Mezinárodní mobilní identita

⁴Subscriber Identification Module – Předplatitelský uživatelský modul

⁵Base Transceiver Station - Systém základnových stanic

⁶Cell Identification

⁷Received Signal Strength



Obrázek 1.3: Princip CID [30]

- Úhel přijímaného signálu – AOA ⁸,
- Čas přijetí signálu – TOA ⁹,
- Rozdíl časů příchodu signálů – TDOA ¹⁰,
- Vícecestné šíření signálu – Multipath/Fingerprinting.

Identifikace buňky – CID

Přibližnou polohu mobilního telefonu v tomto případě můžeme zjistit podle toho, ke které nejbližší BTS stanici je zařízení připojeno. Dále je možné umístění upřesnit pomocí určení konkrétní buňky v sektoru a časového předstihu (viz obrázek 1.3). Vzhledem ke dříve zmiňovaným velikostem buňky je ale poloha značně nepřesná.

Síla přijímaného signálu – RSS

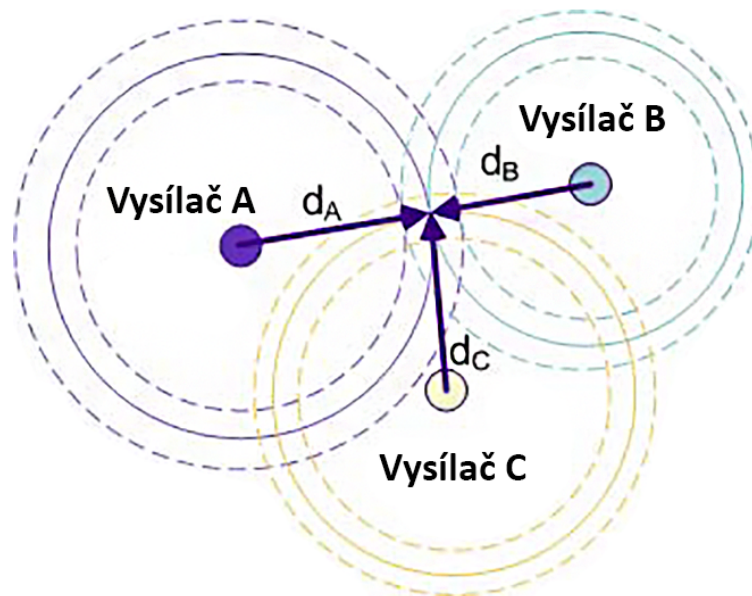
Metoda RSS spočívá v měření síly přijatého signálu v závislosti na čase. Pokud chceme určit svou polohu ve dvojrozměrném prostoru, využijeme metodu triangulace z příjmu signálů ze tří stanic. Tato metoda je vyobrazena na obrázku 1.4, včetně chyby vyznačené přerušovanou čarou. [30, 27]

Abychom byli schopni zjistit ve kterém místě, respektive čase, má být jaká síla signálu, musíme znát výkon vysílače, kabelové ztráty, zisk antény a nejlépe i mo-

⁸Angle Of Arrival

⁹Time Of Arrival

¹⁰Time Difference Of Arrival



Obrázek 1.4: Princip RSS [30]

del ztrát signálu, šířícího se příslušnou cestou, zahrnujícího úroveň útlumu signálu v důsledku účinku šíření ve volném prostoru, odrazu, difrakce a rozptylu. [27]

Jak jsme již zmínili, úskalí této metody spočívá především v nepřímé viditelnosti vysílačů, a tedy zkreslení síly signálu na cestě mezi vysílačem a přijímačem.

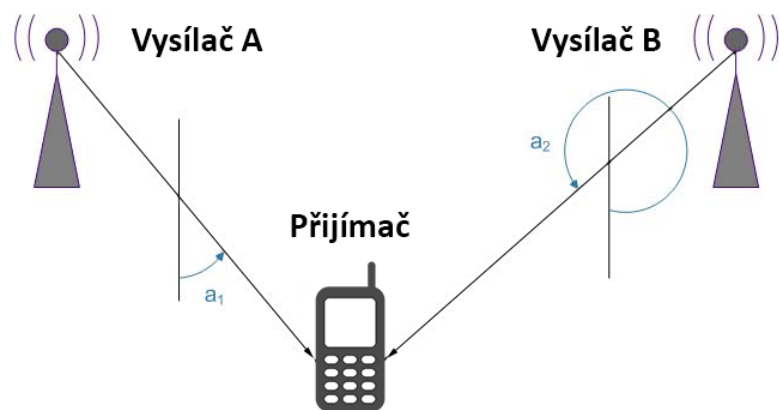
Úhel přijímaného signálu – AOA

Pokud jsme schopni zachytit signál minimálně ze dvou stanic, můžeme svou polohu zjistit za pomoci zjištění, z jakého směru jsme vůči našemu přijímači signál zaznamenali (viz obrázek 1.5). Čím více vysílačů zaznamenáme, tím je i vyšší přesnost. Tento princip funguje, pokud uvažujeme přímé spojení mezi přijímačem a vysílačem a pokud je zařízení vybavené přijímačem, schopným vyhodnotit směr příjmu signálu. V případě odrazu signálu, vícecestného šíření, či jiných chyb, se výsledná poloha od skutečnosti odchyluje. Stejný princip je využit například v letectví pro přístrojovou navigaci. Vysílač s názvem VOR¹¹ zde vysílá signál, pomocí něhož pilot v letadle zjistí svou polohu vůči němu.

Čas přijetí signálu – TOA

Jak již název napovídá, metoda TOA je založena na porovnání času mezi vyslaným a přijatým signálem. K tomu, aby tato metoda fungovala, je zapotřebí, aby vysílač

¹¹VHF Omnidirectional Radio Range - Všesměrový radiomaják velmi krátkých vln



Obrázek 1.5: Princip AOA [30]

i přijímač měli co nejpřesněji seřízené své vnitřní hodiny. Každá i jen nepatrná odchylka v čase způsobí chybu polohy v řádech metrů a více. Pokud jsou hodiny přesně synchronizovány, jsme schopni zjistit svou vzdálenost od vysílače, pomocí následujícího jednoduchého fyzikálního vzorce:

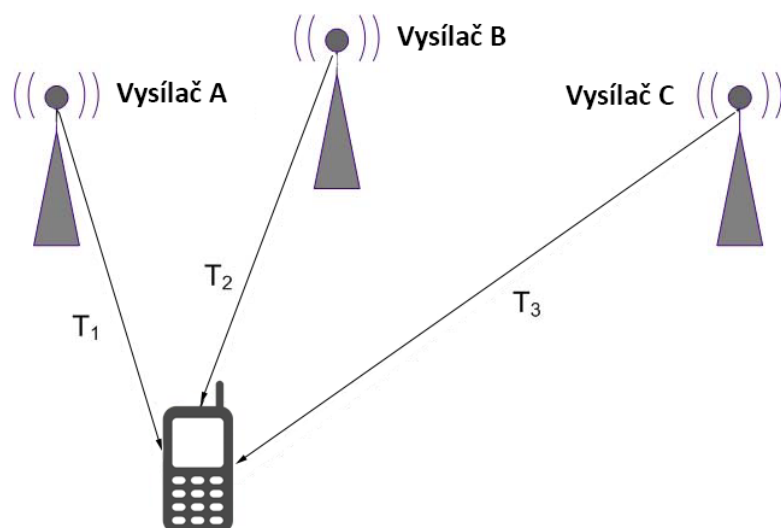
$$D = c \cdot t,$$

kde D je vzdálenost v metrech mezi přijímačem a vysílačem, c je rychlost šíření signálu a t je čas, za jakou signál dorazí od vysílače k přijímači. Pokud známe tuto vzdálenost i přesnou polohu vysílače na mapě, víme, jak daleko od vysílače jsme. Dostáváme však možnost nacházet se kdekoli na povrchu pomyslné koule, vyznačující námi zjištěnou vzdálenost od vysílače. Abychom zjistili naše umístění v třírozměrném prostoru, potřebujeme ještě vzdálenosti minimálně od dalších tří vysílačů.

Velkou nevýhodou této metody je právě zmíněná potřeba přesných hodin. U družicového systému GPS, který využívá princip TOA, je tohoto docíleno přesnými atomovými hodinami v každé družici. Další nevýhodou je opět nepřímé šíření signálu, kdy dochází k různým odrazům a útlumům.

Rozdíl časů příchodu signálů – TDOA

Princip je zde podobný, jako v případě TOA s tím rozdílem, že v přijímači nepotřebujeme přesné hodiny, synchronizované s vysílači. Metoda pak spočívá v porovnávání přijatých časů ze dvou vysílačů. Odečtením času T_1 vysílače A (viz obrázek 1.6) od času T_2 vysílače B získáme konstantu, díky které vytvoříme hyperbolu s ohnisky právě ve vysílačích A a B. Stejný postup zvolíme i pro časy T_2 a T_3 vysílačů B a C. V průsečíkách obou hyperbol se potom nalézá náš přijímač.



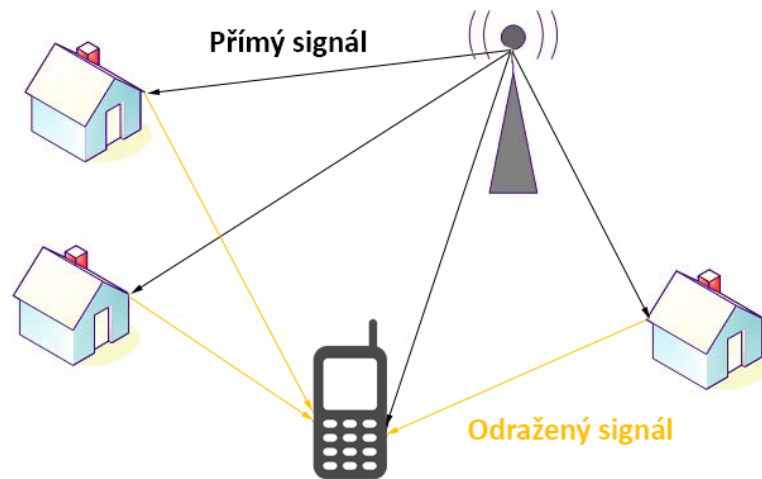
Obrázek 1.6: Princip TDOA [30]

Vícecestné šíření signálu – Multipath/Fingerprinting

Poslední zde zmíněnou metodou je takzvaný Fingerprinting. To, co bylo v předchozích principech nevýhodou, zde využíváme jako jeden z hlavních nástrojů určení polohy. Tímto nástrojem je mimo jiné vícecestné šíření signálu (viz obrázek 1.7), které oceníme nejvíce v složitějších prostředích, jakými jsou například zastavěné oblasti, či vnitřní prostory. Protože ale předem nevíme, jak se bude signál šířící se určitým prostředím měnit, je v tomto případě potřeba, na rozdíl od ostatních zde zmíněných metod, nejprve vypracovat model celého prostředí. S tím pak bude přijímač porovnávat svá naměřená data a hledat shodný „fingerprint“¹². Po nalezení shody zjistíme i polohu přijímače.

Zjevnou nevýhodou je nutnost vyhotovení modelu objektu s naměřenými daty, které může zabrat poměrně dost času. Pokud chceme model přesnější, je dobré měření provést několikrát, abychom mohli vyloučit ojedinělé výchyly a změny. Bohužel se signál stejně nebude vždy šířit stejně, například kvůli vyskytujícím se dopravním prostředkům, lidem, otevřených či zavřených dveří a tak podobně. Zároveň je nutné model aktualizovat při každé výraznější změně v prostředí, kdy se změní i trasa šíření signálu. [30, 27]

¹²Otisk



Obrázek 1.7: Princip Multipath/Fingerprinting [30]

1.3 Wi-Fi

1.3.1 Obecné

Wi-Fi je upřesňující standard pro bezdrátovou technologii WLAN¹³. Jedná se tedy o její podmnožinu, která je standardizovaná pomocí IEEE¹⁴ 802.11 a využíváme ji k připojení k internetu nebo do sítě. Většina moderních bezdrátových sítí již zachovává standardy IEEE 802.11, a proto může často docházet k záměně termínu Wi-Fi a WLAN, jakožto jedno a to samé. Zároveň se mnohdy název Wi-Fi vykládá jako zkratka výrazu „wireless fidelity“. Pravdou je, že název vznikl samostatně a nebyl zamýšlen jako zkratka jakéhokoli výrazu. Ke komunikaci mezi přijímačem a vysílačem Wi-Fi využívá frekvence 2,4 popřípadě 5 gigahertz.

V případě bezdrátového připojení k internetu, spočívá základní princip v přenášení informací mezi dvěma zařízeními. První zařízení je připojeno k internetu pomocí klasického drátového připojení a následně vysílá elektromagnetický signál anténou. Druhé zařízení, vybavené Wi-Fi přijímačem, je schopno tento signál zachytit a s prvním zařízením dále komunikovat. [33]

1.3.2 Princip

Použití Wi-Fi je nejrozšířenější metoda určování polohy ve vnitřních prostorech. [10] Její velkou výhodou je, že vysílače signálu se poměrně hojně nacházejí v budovách,

¹³Wireless Local Area Network - Bezdrátová lokální síť

¹⁴Institute of Electrical and Electronics Engineers - Ústav Inženýrů elektrotechniky a elektroniky

ve kterých chceme navigaci využívat. Prostory, které by nejvíce uvítaly navigaci uvnitř svých prostor, jsou totiž především nákupní střediska, nemocnice, školy nebo jiné veřejné budovy.

Možnosti, jak zjišťovat svou polohu, jsou u využití Wi-Fi sítí stejné, jako u mobilních sítí, popsaných v minulé kapitole. Oboje jsou bezdrátové sítě, kde pomocí mobilního telefonu (dále jen přijímač), jakožto přijímače/vysílače, hledáme a následně se připojujeme k pevným přijímačům/vysílačům (dále jen vysílač) v našem okolí. Pokud bychom chtěli využít pro určování polohy triangulaci Wi-Fi vysílačů, je její jinak výhodná schopnost odrazu signálu od stěn, díky které ve vnitřních prostorách docílíme rozlehlejšího pokrytí signálem, značně nevhodná. Signál, který tedy přijímač zachytí, nemusí vycházet z přímo viditelného zdroje, ale z vln odražených od několika zdí či překážek. Naopak velmi výhodný zde bude dříve zmíněný princip Fingerprinting, založený právě na vícecestném šíření vln. V tomto případě tento princip funguje úplně stejně, jako jsme dříve popsali v případě mobilních sítí. [27]

1.4 Bluetooth

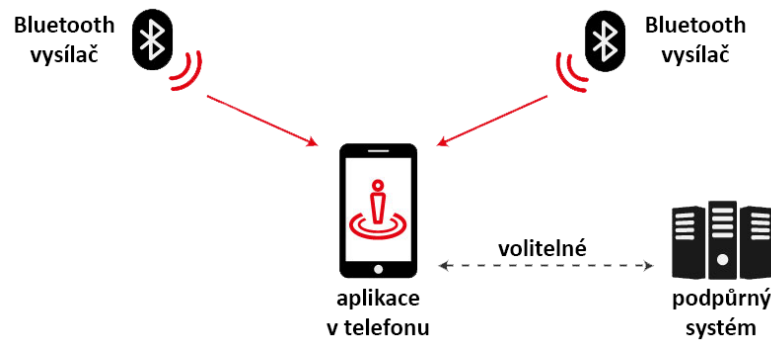
1.4.1 Obecné

Bluetooth bylo poprvé představeno roku 1999 firmou Ericsson. Jednalo se o technologii bezdrátové komunikace mezi dvěma telefony, nebo telefonem a jiným zařízením. Specifikaci komunikačních standardů se zabývala skupina Bluetooth Special Interest Group (BSIG) tvořená společnostmi IBM, Toshiba, Intel, Ericsson a Nokia. Poměrně rychle se do skupiny přidávali i další členové, jako 3Com, Lucent, Microsoft či Motorola a dnes již skupina čítá více než 10000 členů. [34]

Systém lze použít nejen pro přenos souboru z jednoho mobilního telefonu na druhý, ale zajímavý je především v oblasti takzvaného IoT¹⁵, což znamená propojení různých menších či větších zařízení mezi sebou k vzájemné interakci, či sběru dat. Díky tomu spolu například může komunikovat televizor s chytrým osvětlením a přizpůsobovat tak jeho intenzitu v závislosti na sledovaném vysílání. [26] Systém funguje na principu takzvaných „pikosítí“, ve kterých se nachází dvě až osm zařízení, které mají dosah pouze v řádech metrů. Při vzájemném propojení se jedno ze zařízení ujme hlavní role „master“ a ostatní, jakožto „slave“, se řídí jím.

Výhodou oproti jiným bezdrátovým řešením je jeho téměř všudypřítomnost. Dnes již Bluetooth nalezneme téměř v každém telefonu, notebooku, ale i sluchátkách,

¹⁵Internet of Things – Internet věcí



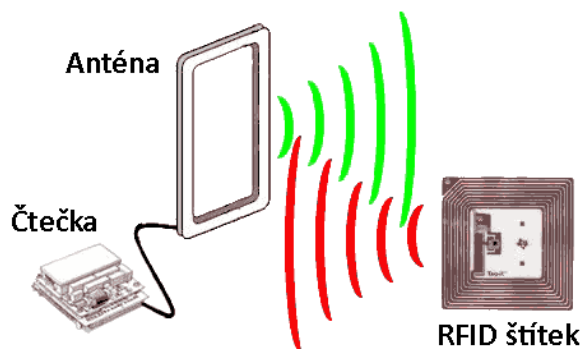
Obrázek 1.8: Určení polohy pomocí Bluetooth [25]

hodinkách, bezdrátových klávesnicích a myších atd. Jeho rozšířené využití je z velké části i kvůli jeho energetické nenáročnosti, která je právě v případě bezdrátových řešení velmi důležitá. [35]

1.4.2 Princip

I v případě lokalizace pomocí Bluetooth platí principy určení polohy, jako u Wi-Fi sítí a mobilních sítí. Jelikož se ale v námi určeném prostředí zpravidla nenachází Bluetooth vysílače, které bychom mohli využít, je potřeba v tomto případě celou síť postavit. K tomuto účelu se využívají speciální Bluetooth vysílače, které jsou vyrobeny přímo pro toto použití. Jsou tedy co nejmenší, nejlevnější a energeticky úsporné. Většinou jsou napájeny jen obyčejnými hodinkovými baterkami, s kterými vydrží v provozu i dva roky. Vysílače pak pouze vysílají předem specifikované zprávy, které zachytí naše zařízení, vybavené Bluetooth přijímačem. K určení naší polohy je následně potřeba aplikace, která vypočítá z přijatých signálů naši polohu, vůči vysílačům, některou z dříve zmíněných metod. Nejvhodnější metodou je zde RSS, kde zaznamenáváme sílu přijatého signálu, popřípadě rozšíření o Fingerprinting, při kterém data porovnáme se vzdáleným podpůrným systémem, který má předem spočítaný model celého objektu. (viz obrázek 1.8).

Výhodou této metody je především nízká energetická náročnost a vysoká přesnost. Nevýhodou je, nutnost pořízení Bluetooth majáků. Vysílače mají také dříve zmíněný omezený dosah jen v řádu metrů, a proto je potřeba majáků pořídit hned několik. [25]



Obrázek 1.9: Princip RFID [23]

1.5 RFID

1.5.1 Obecné

Zkratka RFID znamená „Radio Frequency Identification“, což v překladu znamená „radiofrekvenční identifikace“. Jedná se tedy o bezdrátovou identifikaci na principu radiových vln. Využití systémů nalezne například v oblasti logistiky, plateb či přístupu do budov. V případě logistiky se jedná o alternativu k systému čárových kódů, kde je potřeba přímá viditelnost kódu. [22]

Největší vývoj RFID technologií začal již v 50. a 60. letech, kdy se vědci pokoušeli systém využít pro hlídání nezaplaceného zboží v obchodech. K tomu se využívá již dnes naprosto běžně. Zboží je označeno RFID štítkem, který je při průchodu kolem čtecí brány u východu z obchodu bránou přečten. Pokud je zboží řádně zakoupeno, v RFID štítku je tato informace při zaplacení uložena a zákazník může se zbožím odejít. V opačném případě se spustí alarm. Další možnost využití se nachází v bez-klíčovém otevírání dveří. Princip prepisovatelného čipu s pasivní RFID technologií si nechal v roce 1973 patentovat Mario W. Cardullo. [24]

Systém se dělí na dvě hlavní části, kterými jsou čtečka a RFID štítek (viz obrázek 1.9). Čtečka je elektronické zařízení vyhodnocující informace přečtené z RFID čipu. Aby mohla čtečka přenášet signál mezi ní a štítkem, je vybavena ještě anténou. Štítek obsahuje čip, který uchovává informace například o uživateli nebo zboží. Může to být pouze identifikační kód, jako je tomu právě u čárových kódů, ale mohou to být i jiné podrobné informace. I štítek obsahuje anténu, ke komunikaci se čtečkou. Volitelně může štítek obsahovat i další komponenty, jako například baterii v případě aktivního odpovídače. Systém štítku tedy rozlišujeme na dva základní typy:

- Aktivní,

- Pasivní.

Aktivní

Aktivní RFID štítek obsahuje navíc baterii, díky které může vysílat svůj signál s větší intenzitou a tím pádem s dosahem zhruba desítek metrů. Kvůli tomu je ale podstatně větší a dražší, než systém pasivní.

Pasivní

Pasivní systém je podstatně rozšířenější a to především z důvodu velikosti a cenové dostupnosti. K tomu, aby byl schopen štítek vyslat odpovídající zprávu, využívá elektromagnetické vlny přijaté od vysílače, které nabíjí vnitřní kondenzátor a aktivují celý systém. [22]

1.5.2 Princip

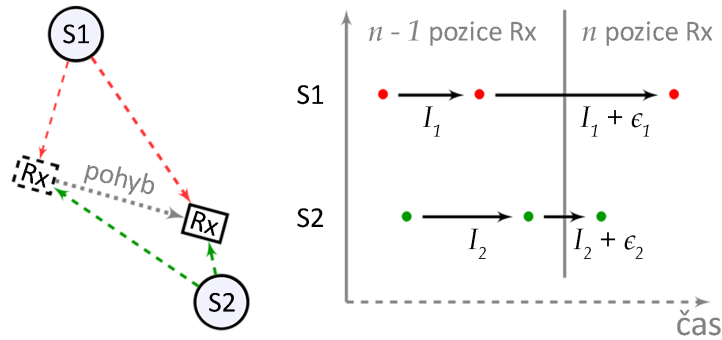
Pro využití RFID k lokalizaci můžeme zvolit různé postupy. Nejjednodušší spočívá v rozmístění štítků s unikátním kódem v objektu a následném měření jednou anténou. Nevýhodou je, že pokud chceme využít levné pasivní štítky, musíme je umístit poměrně blízko sebe a číst je pomocí výkonné antény. Tu však například mobilní telefon nemá. Druhou možností je využít aktivní štítky, které jsou ale zase dražší. Metodou pro určení polohy pak můžeme zvolit opět měření síly přijatého signálu z RFID štítků, které byly předem instalovány na určeném místě a mají tedy známou polohu. [21]

V současné době se RFID pro určení polohy používají například ve sportovním sektoru. Sportovec, například běžec, má na sobě připevněný RFID štítek se svým přiděleným unikátním kódem a při průběhu kolem snímacích antén, které jsou umístěné podél trati, je možné sledovat přibližnou polohu sportovce na trati. [23]

1.6 Ultrazvuk

1.6.1 Obecné

Ultrazvuk je akustické vlnění, jehož frekvence leží nad hranicí 20 kHz, a je tedy pro člověka neslyšitelné. Kvůli své vlnové délce, která je menší než vlnová délka zvukového vlnění, je ultrazvuk méně ovlivněn ohybem a méně pohlcován kapalinami



Obrázek 1.10: Princip ultrazvukové lokalizace [19]

a pevnými látkami. Naopak jeho odraz od překážek či absorpce ve vzduchu je značná. [20]

1.6.2 Princip

V případě ultrazvuku využíváme k určení polohy princip TDOA, znázorněný na obrázku 1.10. Zde máme dva stacionární vysílače ultrazvukových vln a pohybující se přijímač. Abychom od sebe vysílače odlišili a poznali, z jakého nám signál přišel, je ultrazvukový signál rozfázován do takzvaného paketu, který je u každého vysílače jiný. Tento paket pak vysílač vysílá po stále stejné periodě. Přijímač tyto pakety při svém pohybu zaznamenává a při porovnání času dvou po sobě jdoucích paketů (I_1 , I_2) ze stejného vysílače dokáže v důsledku Dopplerova posunu určit jejich změnu (ϵ_1 , ϵ_2). Výhodou tohoto řešení je poměrně jednoduchý princip a nezávislost jednotlivých vysílačů mezi sebou. Nevýhodou je velká odrazivost ultrazvukových vln od okolních překážek. K tomu, abychom zabránili chybám způsobeným zaznamenáním odraženého signálu, využijeme podmínky přímé viditelnosti LOS¹⁶. Vzhledem k tomu, že odražený signál do přijímače dorazí později, než přímý signál ($n - 1$), musí své pakety vysílač vysílat v tak krátkém časovém sledu, že následující paket (n) dorazí dříve, než odražený. Tím pádem všechny odražené stejné pakety ignoruje. [19, 18]

¹⁶Line of sight - Přímá viditelnost

1.7 Kamera

1.7.1 Obecné

Kamerou je v tomto případě na mysli elektronické zařízení, schopné zaznamenávat v čase jednotlivé obrazy. Může to být jak zvláštní zařízení určené pouze k tomuto účelu, tak například mobilní telefon, vybavený fotoaparátem. Pro účel navigace je ale nutné, kromě kamery, ještě doplňkový hardware schopný z obrazu vyhodnocovat polohu. Proto je výhodnější mobilní telefon, na kterém jsou k dispozici i další senzory a především programovatelné prostředí.

1.7.2 Princip

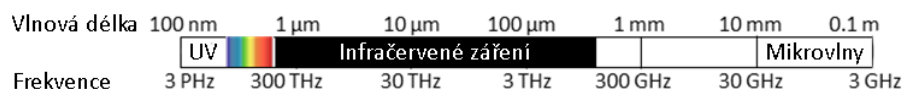
Lokalizace pomocí kamery spočívá v zachycení obrazů kolem ní a následného porovnání s již známými obrazy, určující model objektu. V běžném životě je to metoda určení polohy každého z nás. Pokud jsme již někde byli a víme, kde se toto místo nacházelo například na mapě, ve chvíli, kdy se na stejném místě ocitneme znovu, ihned dokážeme podle vizuální podoby místa zjistit znovu, kde jsme. Pokud však tohoto chceme docílit technicky, není to už tak jednoduché. Objekt je potřeba celý nejprve přesně nasnímat a vytvořit trojrozměrný model. Kamera lokalizovaného přístroje pak musí objekt z konkrétního úhlu přesně vyhodnotit, aby dokázala obraz rozeznat. K tomu potřebuje nejlépe dvě kamery, které dokáží vůči sobě zaznamenat i hloubku obrazu. Celý tento proces je výpočetně velmi náročný. Navíc stačí menší změny v objektu, jako například přítomnost lidí nebo stavební úpravy a obraz již nelze přesně rozeznat.

Podobnou, ale jednodušší, možností, je mít v objektu různě rozmístěné značky, které jsou kamerou jednoduše a přesně rozpoznány. Tyto značky by měli být jasně vidět a neměli by měnit svou polohu bez ohledu na změnu okolních objektů. Kamera mobilního telefonu se pak snaží tyto značky rozpoznat a podle pozice, ve které se nacházejí, určit svou polohu. [17]

1.8 Infračervené záření

1.8.1 Obecné

Viditelné světlo je jen malou částí celého elektromagnetického spektra. Zatímco při zkracování vlnové délky pod viditelné světlo, kde na okraji je fialová barva, se nachází



Obrázek 1.11: Část elektromagnetického spektra [17]

ultrafialové záření, při prodlužování vlnové délky nad hranici viditelného světla, kde je červená barva, označujeme záření jako infračervené záření (viz obrázek 1.11). Po infračerveném záření následuje mikrovlnné záření. [16]

1.8.2 Princip

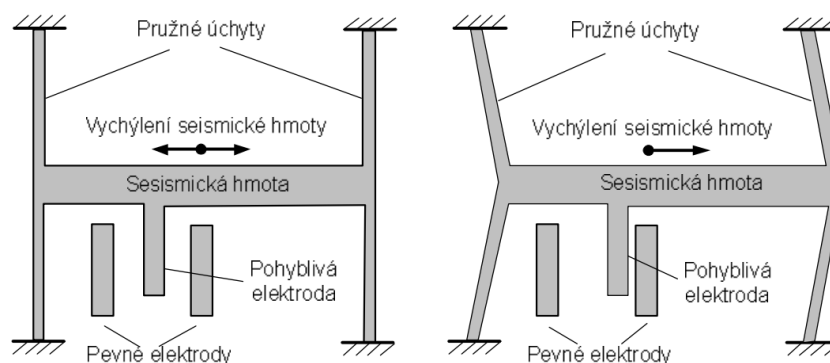
Podobně, jako u ultrazvukového řešení, se postupuje i v případě infračerveného záření. Na předem známou polohu v objektu je nutné nainstalovat majáky, vyzařující infračervené světlo, které bude přijímač zachytávat a vyhodnocovat. Abychom od sebe majáky rozlišili, je každý maják vybaven ještě polarizačním filtrem, usměrňujícím jeho světlo. Přijímač pak musí být vybaven nejen kamerou schopnou zaznamenat infračervené záření, ale také rotačním polarizátorem, který způsobí zeslabení intenzity signálu v závislosti na vodorovném úhlu. To umožňuje odhad absolutního úhlu příjmu signálu a následně použití metody AOA pro určení polohy. Nevýhodou je složitost vybavení přijímače i vysílače. [17]

1.9 Inerciální senzory

1.9.1 Obecné

Pod pojmem senzory si můžeme představit miniaturní mechanicko-elektrické zařízení, které nám umožňuje zjistit různé hodnoty ve zkoumaném systému. Pokud jsou senzory nazývány inerciálními, znamená to, že jsou založeny na působení setrvačnosti. Takovéto senzory se dnes již nachází i v mobilních telefonech. Mezi inerciální senzory patří: [15]

- Akcelerometr,
- Gyroskop.



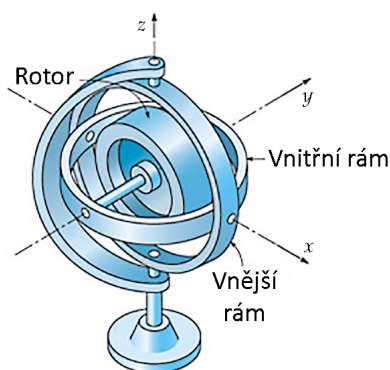
Obrázek 1.12: Hřebenový kapacitní akcelerometr [14]

Akcelerometr

Akcelerometr je zařízení měřící zrychlení. Druhů a principů, na kterých akcelerometry fungují, je vícero. Zrychlení můžeme měřit pomocí statického a dynamického tělesa, která vůči sobě při změně pohybu budou měnit svou polohu. Na obrázku 1.12 je vyobrazen princip hřebenového kapacitního akcelerometru, kde se při změně rychlosti mění kapacita mezi jednotlivými elektrodami. Základně je můžeme rozdělit na akcelerometry měřící statické zrychlení, dynamické zrychlení nebo jejich kombinaci. Měřit pomocí nich pak můžeme například náklon, setrvačnost nebo vibrace. [14]

Gyroskop

Gyroskop je senzor snímající otáčivý pohyb. Stejně jako u akcelerometrů, i zde najdeme různé principy a druhy pro různé využití. Nejzákladnější gyroskop funguje na principu setrvačnicků umístěném v soustavě s třemi stupni volnosti (viz obrázek 1.13). Díky fyzikálním zákonům si rotující setrvačnick při naklonění celého systému udržuje stále stejnou úhlovou polohu. V malých zařízeních, jako jsou mobilní tele-



Obrázek 1.13: Hřebenový kapacitní akcelerometr [14]

fony, však nelze tento systém využít. Existují proto ještě optické gyroskopy, a pro své malé rozměry a nízkou cenu, gyroskopy založené na technologii MEMS¹⁷, využívající Coriolisovy síly. [13]

1.9.2 Princip

Navigace pomocí inerciálních senzorů je téměř úplně autonomní, a tedy nezávislá na jakýchkoli vysílačích. Téměř proto, protože jediné co potřebujeme vědět je pozice našeho výchozího bodu na mapě a směr, kterým se vydáme. Směr se dá celkem lehce stanovit pomocí dalšího senzoru, kterým je kompas. Prvotní pozici už musíme určit jinými způsoby. Ve chvíli, kdy máme svou startovní pozici a směr, kterým se vydáme, senzory začnou zaznamenávat náš pohyb. Pomocí jednoduchých fyzikálních zákonů pak lze snadno ze zrychlení a směru zjistit o jakou vzdálenost jsme se jakým směrem posunuli, a to například zobrazit v mapových podkladech. Bohužel senzory nejsou dokonale přesné, a proto čím delší je doba měření, tím se jejich drobná chyba sčítá, až může vést k velké chybě v určení polohy. Ideální je tedy tuto metodu spojit s některou z jiných metod lokalizace, kdy jednotlivé body při navigaci pouze zpřesníme a „vyhledáme“ pomocí inerciálních senzorů. Tak je možné spojit dva známé body pomocí spojitě trasy s přesným tvarem a svou polohu tak v průběhu kalibrovat průchozími body.

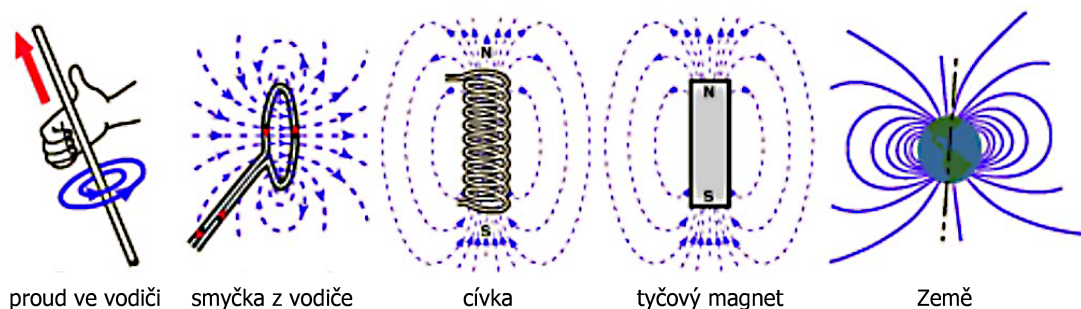
Výhodou navigace pomocí inerciálních senzorů je tedy zcela jistě jejich nezávislost na dalších zařízeních a využitelnost i v místech, kde nemáme jiné vybavení. Nevýhodou je nutnost nejprve manuálně nebo pomocí externí metody, přesně určit svou počáteční polohu a směr a také zvyšující se chyba během času od začátku měření. [17]

1.10 Magnetické pole

1.10.1 Obecné

Planeta Země, stejně tak jako permanentní magnety nebo cívky, jimiž prochází elektrický proud, vytváří určité magnetické pole. Toto magnetické pole je možné pomocí magnetometru detekovat. Vlastnosti magnetického pole specifikujeme pomocí takzvaných siločar, znázorňujících magnetický tok (viz obrázek 1.14). Hustota tohoto toku se nazývá magnetickou indukcí. Objevení magnetického pole se odhaduje již

¹⁷Micro-Electro-Mechanical Systems – Mikro elektro-mechanické systémy



Obrázek 1.14: Zdroj magnetického pole [12]

v období antiky, kdy staří Řekové pozorovali schopnost magnetovce přitahovat železo. Pravděpodobně kolem roku 1000 n. l. byl poprvé v Číně vynalezen kompas.

Magnetické pole Země lze rozdělit na několik menších polí podle zdrojů, které ho způsobují. Jsou to magnetické pole:

- Hlavní – vycházející ze zemského jádra,
- Zbytkové – vycházející z magnetických hornin v zemské kůře,
- Sekundární – vycházející z elektricky vodivé kůry a pláště Země, které jsou vystaveny externímu magnetickému poli,
- Externí – vycházející z ionosféry a magnetosféry, kvůli interakci slunečního větru s magnetickým polem Země.

Vlastnosti pole se mohou měnit v závislosti na počasí, popřípadě jevy ve vesmíru.

V případě permanentních magnetů nebo cívek, kterými prochází konkrétně nastavený elektrický proud, je magnetické pole relativně stálé a neměnné. [12]

1.10.2 Princip

Základní princip může fungovat podobně, jako u jiných, již zmíněných, případů. K tomu se využijí speciální cívky, které při napájení konstantním proudem mají známé magnetické pole. Cívky jsou pak rozmístěné v objektu a metodou RSS je podle měnící se síly naměřeného magnetického pole magnetometrem určena naše poloha. Výhodou je, že magnetické pole netrpí odrazy nebo vícecestným šířením. Pokud je však cívka napájena stejnosměrným proudem, je jeho pole náchylnější k rušení jinými zařízeními a zdroji magnetického pole. Méně náchylná na rušení je pak cívka napájená střídavým proudem. Místo cívek můžeme použít i permanentní magnety, ty však nemají příliš velký dosah.

Místo metody RSS lze využít i metodu Fingerprinting, která může být pro toto řešení nevhodnější, protože nepotřebujeme žádné další vybavení, jako například cívky. Nutné je pouze vytvořit model magnetického pole objektu, který pak bude porovnáván s naměřenými údaji navigovaného subjektu. [17] Více tuto metodu rozebereme v následujících kapitolách.

1.11 Shrnutí

Z rešerše více je patrné, že řešení a přístupů k indoor lokalizaci, popřípadě navigaci, je opravdu mnoho (viz tabulka 1.1). Každé řešení má své výhody i nevýhody a bohužel není žádné přesně „to pravé“. Buď je řešení příliš drahé či složité nebo naopak málo přesné a spolehlivé. Protože požadavek na jednoduchost a ekonomickou nenáročnost celé struktury, kde ideálem je využití již stávajících zdrojů a zařízení, jako jsou například veřejné Wi-Fi vysílače, vysílače mobilního signálu či magnetické pole Země, dále se v práci budeme zabývat právě jimi. Konkrétně metodou Wi-Fi a magnetického pole.

Tabulka 1.1: Porovnání technologií [17]

Technologie	Přesnost	Pokrytí (m)
Mobilní síť	m	1 – 35 000
Wi-Fi	m	20 – 50
Bluetooth	dm – m	1 – 10
RFID	dm – m	1 – 50
Zvuk	cm	2 – 10
Kamera	0,1 mm – dm	1 – 10
Infračervené záření	cm – m	1 – 5
Inerciální senzory	1%	10 – 100
Magnetické pole	mm – cm	1 – 20

Kapitola 2

Teoretický rozbor metod Wi-Fi a magnetického pole

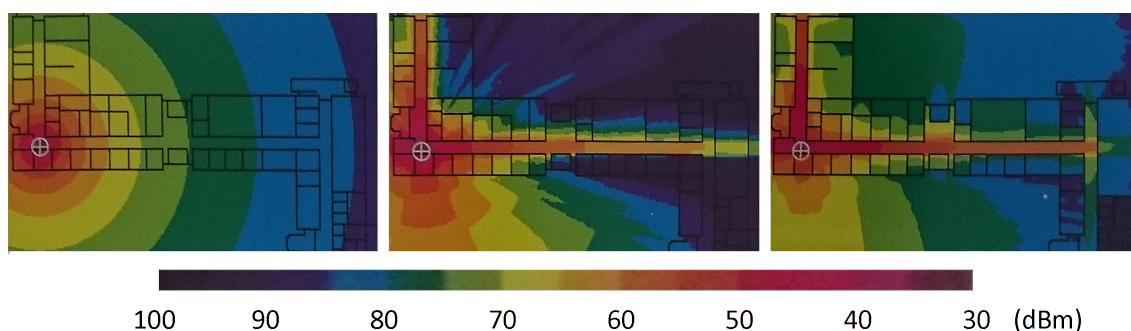
2.1 Obecné

Jak jsme již zmínili v předchozí kapitole, kvůli své nenáročnosti na potřebu doplňkových zařízení jsme pro bližší zkoumání vybrali princip Wi-Fi sítí a magnetického pole, konkrétně magnetického pole Země, respektive budov. Jediné, co budeme potřebovat, je naše měřicí zařízení, vybavené alespoň Wi-Fi přijímačem a magnetometrem. Protože ideálním řešením by bylo využití systému v běžném životě každého z nás, budeme k měření využívat mobilní telefon. Většina dnešních modernějších telefonů již všechny potřebné přijímače a senzory má, a proto je toto řešení velice výhodné. Téměř každý dnes ve vyspělé společnosti chytrý telefon má a navíc se nejedná o zařízení výhradně používané jen pro indoor navigaci a není tedy nutné si pořizovat speciální hardware pouze pro tento účel. Náklady na vývoj se v podstatě rovnají pouze nákladům na vývoj softwaru.

Před tím, než přistoupíme k přípravě měření dat, je potřeba si ujasnit, jak vlastně vypadá teoretický model šíření signálu v obou případech a zároveň zjistit podrobnější informace o principech těchto metod.

2.2 Metoda Wi-Fi

V předchozím odstavci jsme zmínili, že k této metodě nebudeme potřebovat žádné další vybavení, než vlastní měřicí přístroj. Abychom toto tvrzení trochu upřesnili, pravdou je, že pro využití Wi-Fi samozřejmě budeme potřebovat i vlastní Wi-Fi



Obrázek 2.1: Modely Wi-Fi a) empirický; b) semi-empirický; c) deterministický [10]

přístupové body. Ty ale jako další potřebné vybavení nepočítáme, protože je již vnímáme jako součást objektu, který chceme mapovat, a především protože jejich primární úloha není podpora pro indoor navigace. Není to tedy přímé doplňkové vybavení, jako je tomu například u Bluetooth majáků. Pokud by objekt Wi-Fi přístupovými body vybaven nebyl a Wi-Fi připojení k internetu nebo do sítě by nebylo využíváno, už by tato metoda k příliš výhodným nepatřila.

Vzhledem k tomu, že jsme za měřicí přístroj, hledající svou polohu, vybrali mobilní telefon, jsme odkázáni na vnitřní software telefonu, pro který můžeme využít stávajících aplikací nebo vlastních naprogramovaných. Bohužel přístup a využití senzorů a přijímačů je pod správou softwaru telefonu, do kterého nemůžeme příliš zasahovat. V případě telefonů značky Apple není možné zaznamenávat údaje o Wi-Fi sítích, proto pro tuto metodu budeme využívat zařízení s operačním systémem Android, na kterém v tomto problému není.

V předchozí kapitole jsme zmínili, že pokud budeme chtít využít Wi-Fi pro navigaci ve vnitřních prostorech, kdy navíc Wi-Fi vysílače nebudeme nijak ovlivňovat, je nejvýhodnější metoda Fingerprinting. Při této metodě je potřeba vytvořit model objektu s hodnotami síly signálu jednotlivých vysílacích stanic v různých místech.

2.2.1 Model šíření Wi-Fi signálu

Jak se bude chovat elektromagnetická vlna, vyslaná Wi-Fi vysílačem, je dáno především její vlnovou délkou. Pro účely Wi-Fi sítí je žádoucí, aby měla vlna co největší odrazivost, co nejmenší ztráty šířením a schopnost pronikat překážkami. Proto se využívá kmitočtové pásmo UHF¹ s frekvencemi 2,4 GHz. Kvůli rušení s jinými zařízeními se v některých případech využívá frekvence 5 GHz.

¹Ultra High Frequency - Ultra krátké vlny

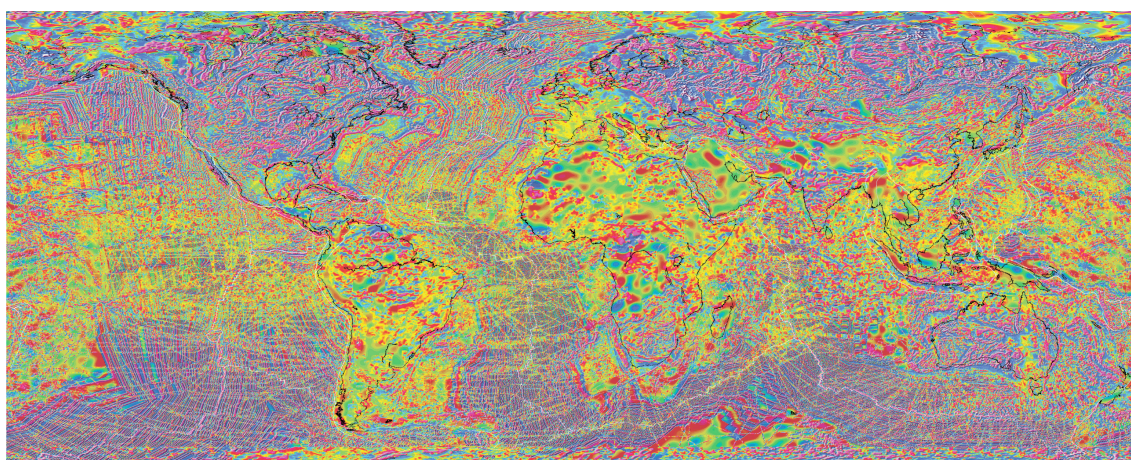
Proto, abychom dokázali předpovědět, jak se v objektu bude signál šířit, existuje několik metod výpočtu. Ty se dělí na:

- Empirické (viz obrázek 2.1 a) – založené na analýze reálných naměřených dat,
- Deterministické (viz obrázek 2.1 c) – založené na teoretickém fyzikálním výpočtu,
- Semi-deterministické/ semi-empirické (viz obrázek 2.1 b) – založené na kombinaci empirických a deterministických metod,
- Stochastické – založené na teoretickém výpočtu se započítáním náhodných jevů, připodobňujících realitu.

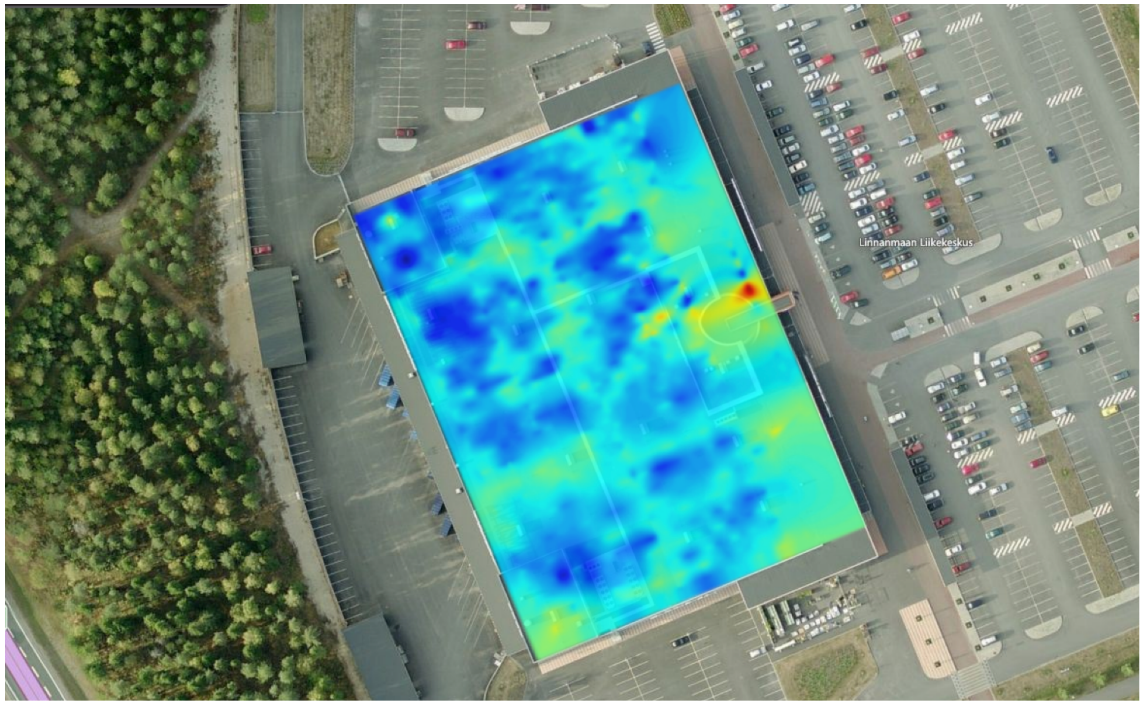
Kvůli své jednoduchosti, budeme pro naše účely využívat empirickou metodu simulace modelu šíření vln v objektu. [11]

2.3 Metoda magnetického pole

I v případě využití magnetického pole využijeme metodu Fingerprinting. Zde budeme zaznamenávat sílu vyzařovaného magnetického pole v objektu na různých místech, z čehož následně vytvoříme model prostředí. Jak jsme již začali v minulé kapitole, k měření nebudeme využívat jen přímé magnetické pole Země, ale jeho deformaci způsobenou strukturou budov. Protože je budova tvořena mimo jiné i kovovými trámy a výztuhami, budou tyto předměty charakteristiku magnetického pole Země deformovat. Tato deformace je prostorově proměnná, ale v čase relativně



Obrázek 2.2: Mapa magnetických anomálií na Zemi (model NGDC-720) [9]



Obrázek 2.3: Mapa magnetického pole budovy [6]

neměnná. Na základě porovnání změřených dat při lokalizaci s dříve naměřeným modelem pomocí magnetometru bychom měli být schopni určit naši polohu. [10]

2.3.1 Model magnetického pole

Siločáry znázorňující magnetické pole kolem Země si můžeme představit stejně, jako bychom do zemského jádra dali magnetický dipól, jehož osa přibližně kopíruje osu rotace Země. Tvar naší planety však není přesná koule a ani nemá homogenní složení, proto dochází k různým změnám a anomáliím magnetického pole na jejím povrchu (viz obrázek 2.2). Jak jsme již zmínili dříve, anomálie způsobují, mimo jiné, magnetické horniny či vodivá kůra Země. [8] Je tedy zřejmé, že jakýkoli vodivý či magnetický předmět může změnit charakteristiku pole, obzvláště čím je větší.

V případě budov, při kterých se využívají pro zpevnění ocelové, či jiné kovové tyče a výztuhy, dochází k těmto změnám také. Celý objekt má pak svou specifickou charakteristiku magnetického pole (viz obrázek 2.3). Při vytvoření takzvaného Fingerprintu, neboli otisku, této charakteristiky, můžeme vytvořit model, který bude sloužit jako magnetická mapa objektu. Zjednodušeně by se dalo říci, že čím více je v konstrukci budovy kovu, tím lépe. Mapa pak může být pestřejší a je jednodušší se v ní orientovat. [7, 6]

Kapitola 3

Návrh a implementace metod Wi-Fi a magnetického pole

3.1 Obecné

K měření budeme využívat mobilní telefon Sony Xperia Z3 Compact, model D5803 s operačním systémem Android ve verzi 6.0.1 a číslem sestavení 23.5.A.0.570. Podrobnosti o senzorech telefonu jsou uvedené v tabulce 3.1. Dále je telefon vybaven modulem podporujícím Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, pro frekvence 2,5 i 5 GHz. [5]

Tabulka 3.1: Parametry senzorů telefonu Sony Xperia Z3 Compact [5]

	Prodejce	Rozsah	Rozlišení	Výkon	Zpoždění
Akcelerometr (BMA2X2)	BOSCH	39.226593 m/s ²	0.01914978 m/s ²	0.13 mA	5000 μs
Magnetometr (AK09911)	AKM	4911.9995 μT	0.5996704 μT	0.24 mA	20000 μs
Gyroskop (BMG160)	BOSCH	34.906586 rad/s	0.001068115 rad/s	5.0 mA	5000 μs
Krokoměr	QTI	-	-	0.1299896 mA	-
Senzor náklonu	QTI	1.0	1.0	0.1299896 mA	-
Senzor vektoru otočení	QTI	1.0	5.9604645E-8	5.36998 mA	8333 μs
Gravitační senzor	QTI	39.226593 m/s ²	0.01914978 m/s ²	5.1299896 mA	8333 μs
Senzor tlaku (BMP280)	BOSCH	1100.0 hPa	0.009994507 hPa	0.007 mA	33333 μs

Měření bude probíhat v prvním patře nákupního střediska OC Nový Smíchov. Budova je vybavena několika Wi-Fi stanicemi a zároveň má železobetonovou konstrukci. Obě tyto podmínky jsou pro následující měření žádoucí.

U obou měření budeme využívat principu takzvaného otisku signálu (Fingerprinting). Princip jsme si nastínili již v první kapitole, nyní si však musíme důsledněji rozebrat, jak to bude v praxi fungovat. V následující kapitole tedy vysvětlíme způsob výpočtu a teoretický základ, který následně budeme používat při vyhodnocování měření.

3.2 Fingerprinting

Jak jsme již dříve zmínili, tato metoda je založena na porovnávání naměřených hodnot při lokalizaci, s hodnotami dříve naměřenými. Celý postup tedy můžeme rozdělit na dvě části, a to:

- Offline fáze (učení)
- Online fáze (lokalizace)

3.2.1 Offline fáze

V této fázi je potřeba vybudovat mapu objektu, ve kterém budeme později chtít určit svou polohu. K tomuto účelu budeme potřebovat plánec budovy. Do tohoto plánu je potřeba dále vyznačit body, ke kterým později přiřadíme naměřené hodnoty. Přímou na místě je následně nutné na konkrétním bodě, které jsme si v plánu vyznačili, zaznamenat požadovaná data, takzvaný „fingerprint – otisk“ tohoto místa. Ve chvíli, kdy máme zaznamenané všechny body, vytvoříme z těchto hodnot databázi, charakterizující celý objekt. Svou polohu bychom měli být nyní schopni určit zpětným postupem, čímž se dostáváme k fázi lokalizace. [4]

3.2.2 Online fáze

Zaznamenané hodnoty při lokalizaci porovnáme s hodnotami v databázi. Protože je velmi nepravděpodobné, že hodnoty, které naměříme při lokalizační fázi, se budou přesně shodovat s některým z míst, které jsme naměřili při fázi učení, je potřeba vytvořit matematický výpočet, díky kterému dokážeme zjistit nejpodobnější otisk v databázi. K tomu slouží několik možností výpočtu, jako například:

- NN - Nearest neighbor,
- KNN - K-nearest neighbor,
- EWKNN - Enhanced weighted K-nearest neighbor.

Zatímco první metoda vyhledá pouze nejpodobnější otisk z databáze a na toto místo stanoví naši polohu, metoda KNN vezme v potaz předem stanovený počet K nejlepších výsledků a polohu určí z jejich průměru. Protože se ale v prvních K výsledcích může nacházet i nějaký otisk ze vzdálené pozice, může nám polohu zkreslit. Při metodě EWKNN tedy navíc dynamicky měníme K podle toho, jestli se mezi sebou příliš výsledné otisky neodlišují.

Protože v našem případě budeme zaznamenávat otisky relativně rovnoměrně na ploše objektu, využijeme metodu KNN popřípadě NN. Podobnost spočítáme eukleidovskou metodu, pomocí následujícího vzorce:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (RSSI_{off} - RSSI_{on})^2},$$

kde d je parametr podobnosti, $RSSI_{off}$ hodnota zaznamenaná při offline fázi, $RSSI_{on}$ hodnota zaznamenaná při online fázi a n počet hodnot v jednom měření. Čím je parametr d menší, tím větší je podobnost s daným otiskem a naopak. Z výsledného seznamu parametrů podobnosti pro každý bod měření, vybereme prvních K , u kterých je tento parametr nejnižší, čímž zjistíme svou přibližnou polohu, která se nachází v oblasti mezi původně naměřenými body. [3, 2]

3.3 Metoda Wi-Fi

3.3.1 Offline fáze

V případě měření Wi-Fi sítí budeme zaznamenávat název sítě (SSID¹), identifikaci základové stanice (BSSID²), vysílací frekvenci, kanál a sílu signálu (RSSI). Z naměřených hodnot bude poté sestavena databáze, kde každé měřící místo má zaznamenané hodnoty RSSI, každé základová stanice. Měření provedeme celkem na třiceti osmi různých místech (viz obrázek 3.1). Z výsledného měření vyhotovíme databázi v Excelu, ve které bude seznam všech zaznamenaných vysílacích stanic, označených unikátním číslem BSSID a k nim jejich hodnotu RSSI v daném měřeném místě. Pokud v daném místě Wi-Fi nebyla zaznamenána, hodnota je nulová. Sítě, které mají

¹Service Set Identifier – identifikátor bezdrátové sítě Wi-Fi

²Basic service set identification – unikátní číslo vysílací stanice



⊕ Offline fáze ⊕ Online fáze

Obrázek 3.1: Mapa měřících bodů offline a online fáze Wi-Fi

málo výskytů, příliš nízký signál nebo se jedná o viditelně nestálé síť, z databáze je vyloučíme. Když máme vytvořenou databázi, můžeme přejít k testování lokalizace opačným postupem.

3.3.2 Online fáze

V online fázi zaznamenáme napříč objektem šest náhodných bodů, jejichž polohu vyznačíme, stejně jako body měřené v offline fázi, do plánu (viz obrázek 3.1), abychom mohli zpětně porovnat přesnost zjištěné lokace. V Excelu vytvoříme novou databázi se stejným počtem a názvy BSSID vysílačů, jako v offline měření. Do tabulky vložíme naměřené hodnoty online fáze. Pole, kde Wi-Fi nebyla zaznamenána, má opět nulovou hodnotu. Nyní podle vzorce 1 vypočítáme pro každý online naměřený bod parametr podobnosti s bodem z offline fáze. Seznam podobností seřadíme od nejmenšího k největšímu a pro první tři nejnižší hodnoty si zaznamenáme offline body k nim přidružené. Výpočtem průsečíku stejných vzdáleností k těmto bodům dostaneme výslednou polohu. Podle plánu poté můžeme porovnat, přesnost lokalizace.

3.4 Metoda magnetického pole

3.4.1 Offline fáze

Oproti lokalizaci pomocí sítí Wi-Fi, kde jsme měli více signálů z několika Wi-Fi vysílačů, v případě magnetického pole máme jen hodnotu jednu. Abychom si hodnotu o něco upřesnili, využijeme ještě inklinace gravitačního pole.

Jak vidíme v seznamu senzorů (tabulka 3.1), telefon je vybaven magnetometrem (AK09911) a gravitačním senzorem, které budou zaznamenávat námi požadovaná data. Hodnoty ze senzorů budou zaznamenány ve třech osách. Velikost magnetického pole μ si spočítáme pomocí euklidovské vzdálenosti, jako:

$$\mu = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

kde x , y a z jsou hodnoty vektoru. Inklinaci gravitačního pole θ pak spočteme podle vzorce:



⊕ Offline fáze ⊕ Online fáze

Obrázek 3.2: Mapa měřících bodů offline a online fáze magnetického pole

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}},$$

kde a_x , a_y a a_z jsou hodnoty vektoru magnetického pole a b_x , b_y a b_z jsou hodnoty vektoru gravitace. [1]

Bodů zaznameneáme celkem 114 na trase kolem celého patra (viz obrázek 3.2). Mobilní telefon budeme držet vždy ve vodorovné poloze. Z naměřených hodnot v Excelu opět vytvoříme databázi.

3.4.2 Online fáze

Protože však budeme mít stále příliš málo hodnot na úspěšné určení polohy srovnáním jednoho otisku na trase, budeme v tomto případě muset měřit otisk části trasy (viz obrázek 3.2). Tento postup zopakujeme čtyřikrát a na každém z těchto úseků zaznameneáme pět bodů.

Vzhledem k o něco odlišnějšímu postupu, než jsme prováděli u Wi-Fi, budeme muset o trochu upravit výpočetní vzorec. Každá trasa online fáze má pět bodů, proto výpočet parametru podobnosti bude vypadat následovně:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(RSSI_{off1} - RSSI_{on1})^2 + \dots + (RSSI_{offm} - RSSI_{onm})^2]},$$

kde m je počet měření v online řadě. V našem případě se tedy $m = 5$. Ostatní hodnoty jsou stejné. Seznam podobností opět seřadíme od nejmenšího k největšímu a pro nejnižší z nich zaznameneáme offline řadu bodů k nim přidružených. Přesnost lokalizace porovnáme podle plánu.

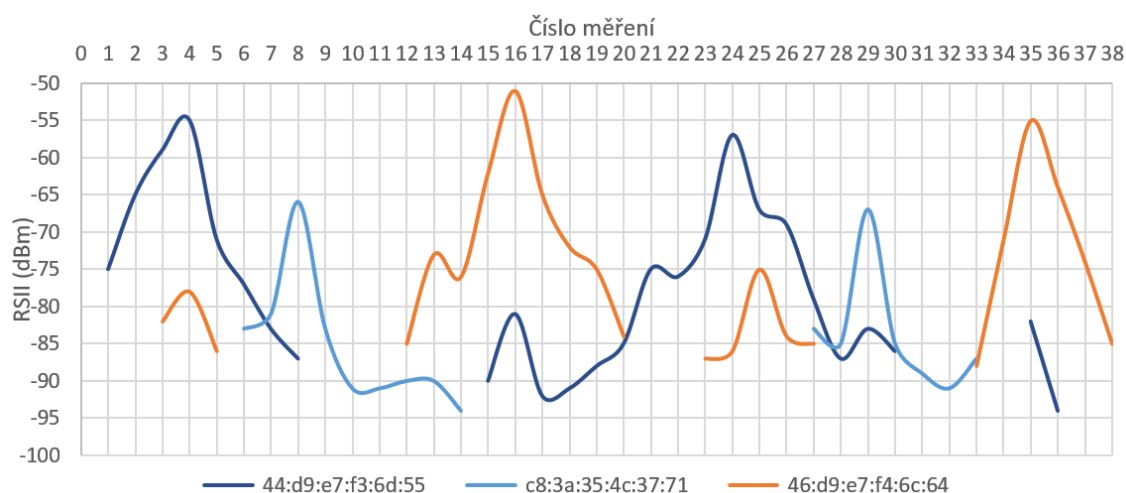
Kapitola 4

Praktická měření a zhodnocení realizace

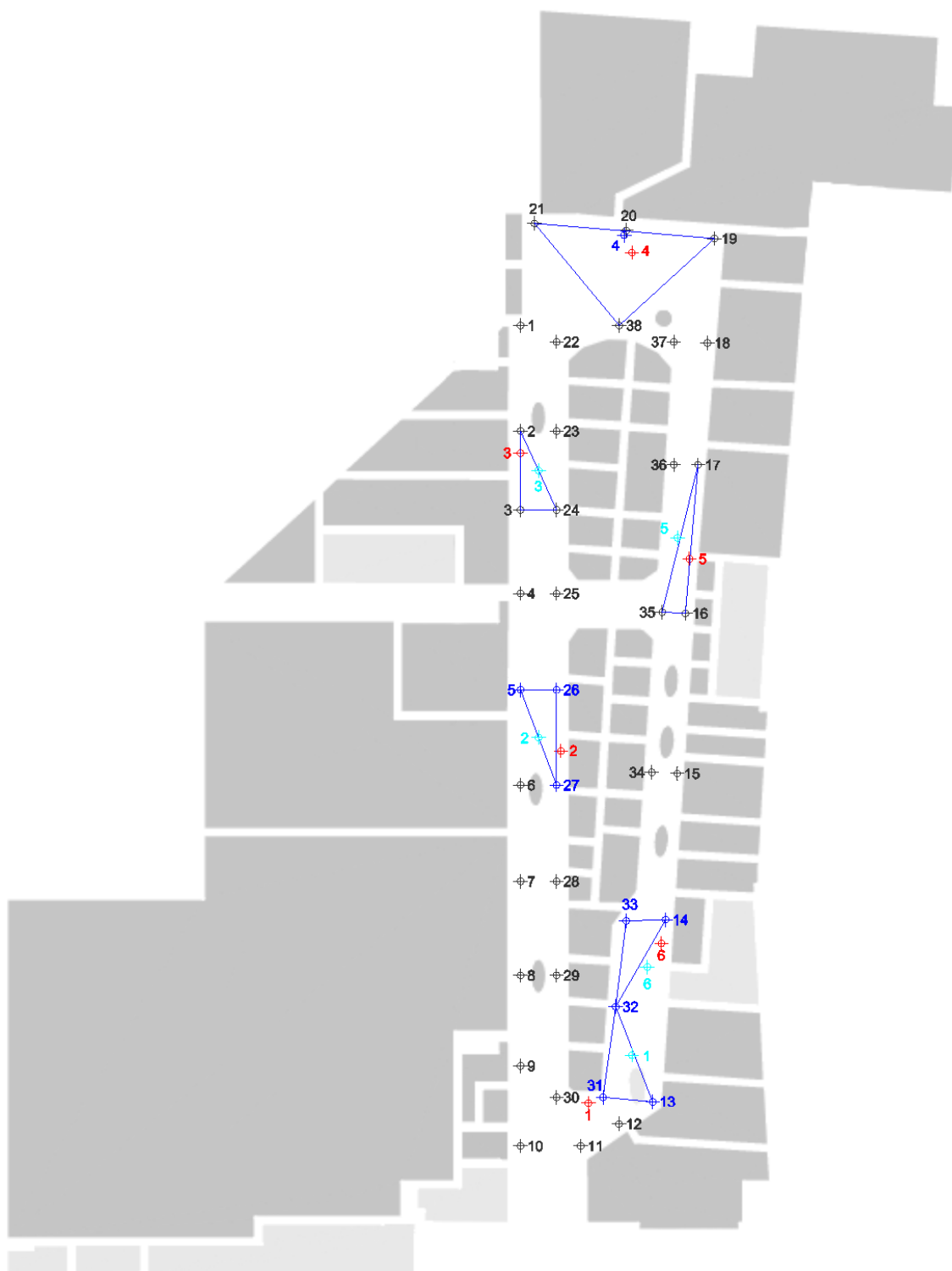
4.1 Metoda Wi-Fi

4.1.1 Offline fáze

Naměřená data s hodnotami RSSI pro každý zachycený Wi-Fi vysílač v jednotlivých bodech offline měření jsme uspořádali do databáze (viz příloha A). Celkem jsme naměřili 68 Wi-Fi vysílačů. Z tabulky jsou jasně patrné odlišné otisky znázorněné ve sloupcích pro každé měření. Na obrázku 4.1 je znázorněn průběh RSSI pro Wi-Fi vysílače s BSSID 44:d9:e7:f3:6d:55, c8:3a:35:4c:37:71 a 46:d9:e7:f4:6c:64.



Obrázek 4.1: Průběh RSSI pro tři vybrané vysílače v jednotlivých měřeních



⊕ Offline fáze ⊕ Online fáze ⊕ Reálná poloha ⊕ Vypočítaná poloha

Obrázek 4.2: Výsledné umístění pomocí 3 nejbližších bodů



⊕ Offline fáze ⊕ Online fáze ⊕ Vypočtená poloha

Obrázek 4.3: Výsledné umístění pomocí krátkého úseku na trase

Tabulka 4.1: Výsledné umístění pomocí 3 nejbližších bodů

Číslo měření		1	2	3	4	5	6
Vypočítané nejbližší body	1.	13	26	24	19	16	14
	2.	31	5	3	38	17	33
	3.	32	27	2	21	35	32

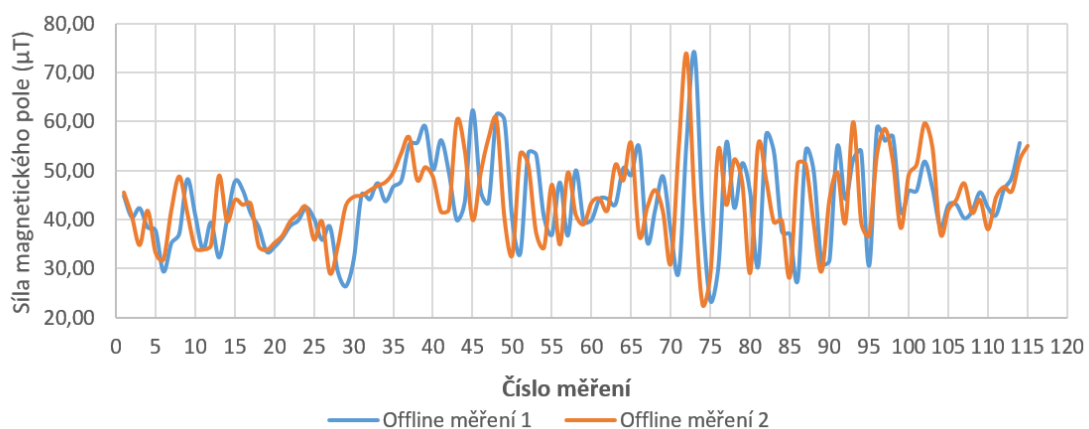
4.1.2 Online fáze

V online fázi jsme podle plánu naměřili šest míst umístěných v různých místech objektu. Ty jsme zpracovali stejným způsobem, jako data v offline fázi a v Excelu spočítali parametr podobnosti. Umístění tří nejbližších bodů k naší online poloze bylo zjištěno z třech parametrů podobnosti s nejmenšími hodnotami a vloženo do výsledné tabulky (viz tabulka 4.1). Z těchto bodů je vypočten cílový bod (viz obrázek 4.2).

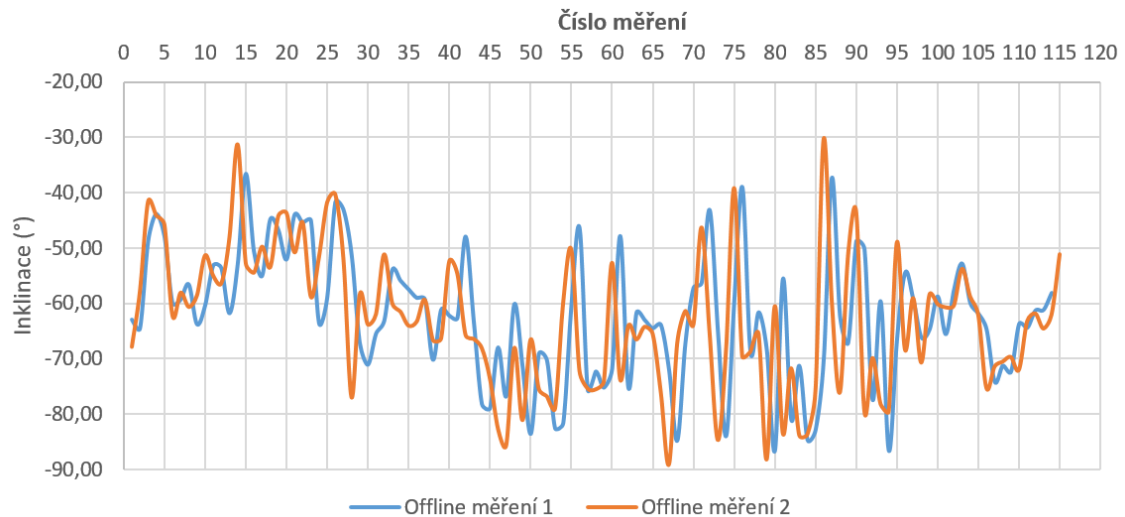
4.2 Metoda magnetického pole

4.2.1 Offline fáze

Body jsme naměřili podle připraveného plánu a data uložili do databáze (viz příloha B). Průběh magnetického pole (obrázek 4.4) a inklinace (obrázek 4.5) můžeme vidět v grafu. Měření jsme provedli dvakrát na stejné trase, abychom hodnoty mohli porovnat a zjistili, zda jsou neměnné v čase. Z obou grafů je patrné, že průběh je až na malé odchylky stejný. V úvahu musíme vzít i fakt, že data naměřená v druhém pokusu nemusela být zaznamenána přesně na stejném místě.



Obrázek 4.4: Průběh síly magnetického pole v jednotlivých měřeních



Obrázek 4.5: Průběh inklinace v jednotlivých měřeních

4.2.2 Online fáze

V online fázi jsme naměřili čtyři testovací trasy. Pomocí dříve zmíněného vzorce jsme spočetli parametr podobnosti každého úseku a následně vyhodnotili ty, které si jsou nejpodobnější. Výsledek můžeme vidět ve výsledné tabulce (viz tabulka 4.2) a na obrázku 4.3.

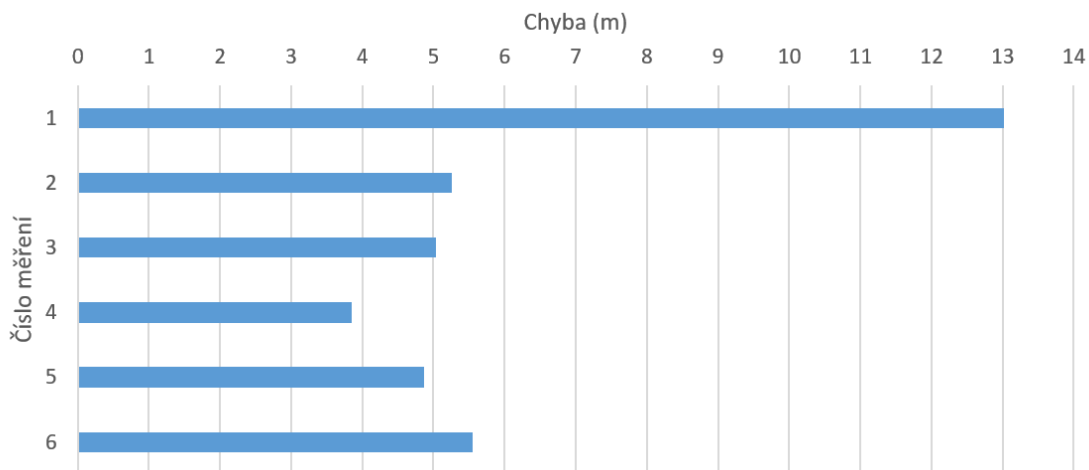
Tabulka 4.2: Výsledné umístění pomocí nejpodobnějšího úseku

Číslo měření	1	2	3	4
Vypočtená nejbližší trasa	6 - 10	20 - 24	55 - 59	85 - 89

4.3 Shrnutí

Při vizuálním porovnání vypočteného bodu Wi-Fi lokalizace z tří nejpodobnějších s naším reálným umístěním (viz obrázek 4.2) vidíme, že lokalizace je poměrně přesná. Celá oblast je ale poměrně rozlehlá. Pokud spočítáme průměrnou chybu výsledné lokalizace, vychází nám 6,3 m. V grafu (viz obrázek 4.6) je znázorněna chyba pro každý bod.

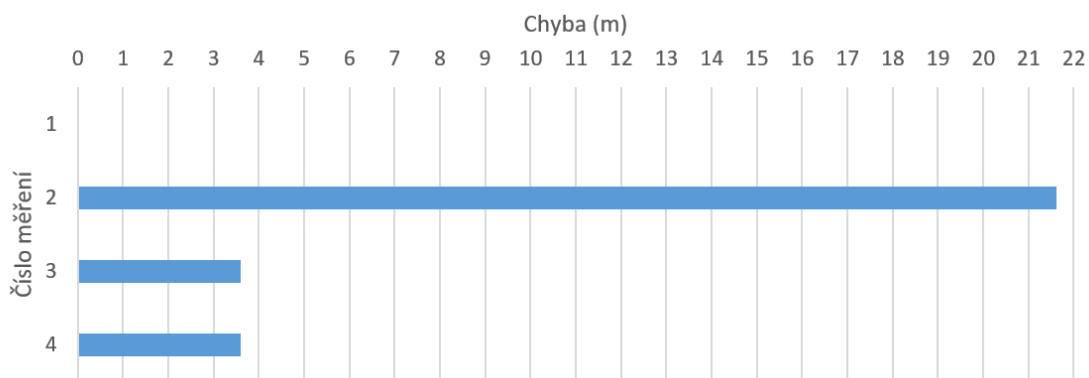
U metody magnetického pole je vypočtený nejpodobnější úsek trasy, s námi naměřeným úsekem, také v poměru k celému patru poměrně úspěšný (viz obrázek 4.3). Chyba je zde průměrně 7,2 m, přičemž největší chyba byla na úseku 2, a to 21,6 m. Pro každou trasu zvlášť je chyba znázorněna v grafu (viz obrázek 4.7). Každopádně tuto metodu nelze příliš dobře využít pouze pro zjištění fixní lokace



Obrázek 4.6: Graf chyby lokalizace Wi-Fi v metrech

a je nutné zaznamenat nejprve část trasy. Pokud jsme vyhodnotili další nejbližší parametr podobnosti, poloha již byla určena nepřesně nebo zcela chybně. Zároveň vyhodnocujeme pouze polohu na předem změřené trase a ne na kterémkoli místě v objektu.

K tomu, aby tedy byla poloha vždy určena s větší přesností, může být výhodné sjednotit obě metody. Wi-Fi sítě nám mohou určit přibližnou polohu v určitém okruhu a pomocí magnetického pole pak můžeme určit přesněji polohu na naší trase. O tento princip se pokusíme v další kapitole.



Obrázek 4.7: Graf chyby lokalizace magnetického pole v metrech

Kapitola 5

Návrh a implementace fúze použitých metod

5.1 Obecné

Jak jsme již zmínili v předchozí kapitole, obě metody lokalizace, pomocí magnetického pole i pomocí Wi-Fi mají určité nevýhody a nepřesnosti. Ty by se však mohlo podařit o něco zlepšit vzájemným sloučením obou metod. Postupů, jak nakládat se společně naměřenými daty, bude více. My si zvolíme postup, při kterém nejprve stejně, jako v předchozí kapitole, vypočítáme parametr podobnosti pro Wi-Fi síť a poté provedeme porovnání otisků magnetického pole pouze v tomto sektoru. Protože tato oblast již bude relativně malá, pokusíme se magnetické pole zaznamenat tentokrát pouze v jednom bodě a ne na malém úseku trasy, jako jsme tomu dělali v samostatném měření v minulé kapitole.

5.2 Offline fáze

Pro měření zvolíme stejný okruh, jako v předchozích případech. Naměřená data z minulých měření můžeme taktéž pro tento účel využít, takže již vytvořené databáze použijeme znovu.

5.3 Online fáze

Pro zkušební lokalizaci využijeme stávajících měření offline fáze Wi-Fi. Konkrétně budeme testovat body 1, 2 a 6. Z výsledného porovnání již máme určeny i nejbližší

body. V oblasti těchto bodů vybereme úsek měření offline fáze magnetického pole (viz tabulka 5.1). V tomto úseku porovnáme zaznamenanou hodnotu při online fázi z otiskem magnetického pole v daném úseku.

Tabulka 5.1: Vybrané úseky bodů offline fáze magnetického pole v oblasti Wi-Fi

Bod měření	1	2	6
Wi-Fi	13	5	14
	31	26	32
	32	27	33
Magnetické pole	47 - 51	20 - 26	54 - 59

Kapitola 6

Praktická měření a zhodnocení realizace fúze

6.1 Offline fáze

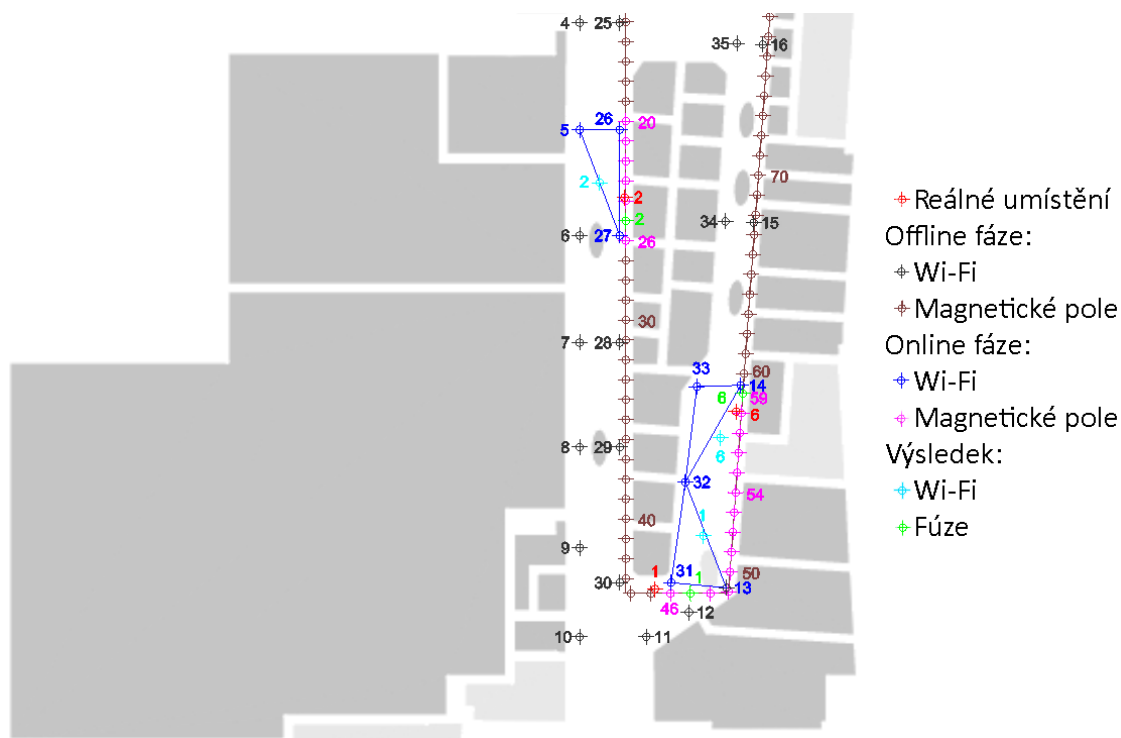
Jak jsme již zmínili v předchozí kapitole, pro fúzi obou metod lokalizace využijeme již dříve naměřená offline data. Databáze již máme tedy hotové.

6.2 Online fáze

Pro online fázi jsme podle návrhu zvolili stávající polohu, a to body 1, 2 a 6. Nejbližší body podle parametru podobnosti pro metodu Wi-Fi, i k této oblasti přiřazený úsek bodů offline fáze magnetického pole, máme uvedené v tabulce 6.1. Při vypočítání parametru podobnosti pouze ve vybraném úseku, nám vyšly body lokalizace fúze, zapsané v následující tabulce (viz tabulka 6.1). Vše je graficky znázorněno na obrázku 2.

Tabulka 6.1: Výsledné umístění pomocí magnetického pole v oblasti Wi-Fi

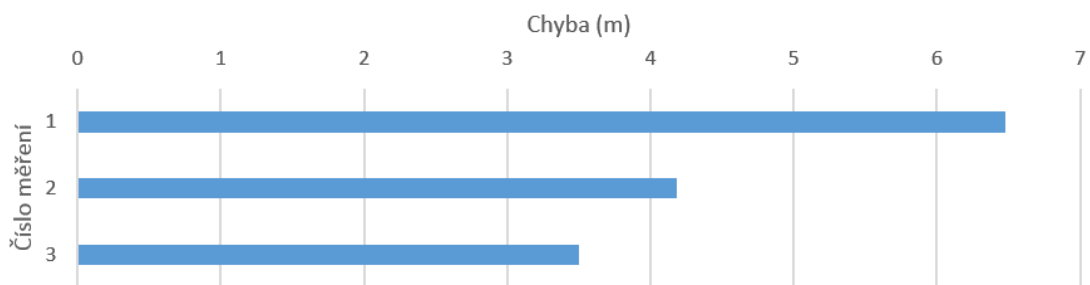
Bod měření	1	2	6
Wi-Fi	13	5	14
	31	26	32
	32	27	33
Magnetické pole	47 - 51	20 - 26	54 - 59
Výsledná poloha magnetického pole	47	25	59



Obrázek 6.1: Výsledné umístění pomocí magnetického pole v oblasti Wi-Fi

6.3 Shrnutí

Průměrná chyba v případě fúze je 4,7 m. V grafu (viz obrázek 6.2) jsme znázornili chybu pro jednotlivá měření. Poloha je opět určována pouze z měření na jednom místě, podobně, jako u metody Wi-Fi.



Obrázek 6.2: Graf chyby lokalizace fúze v metrech

Kapitola 7

Praktická měření pomocí dvou současných řešení

7.1 Obecné

V současné době existuje několik stávajících projektů využívající sítě Wi-Fi, Bluetooth, magnetické pole a senzory telefonu, jako jsou gyroskop, akcelerometr a magnetometr (kompas). Nejlépe zpracované a velmi rozvinuté jsou především projekty od společnosti InfSoft a IndoorAtlas. IndoorAtlas využívá k vytvoření navigační mapy a poté určení polohy ve vnitřních prostorech především senzory telefonu [36], Infsoft využívá mimo jiné spíše metod, jako jsou Wi-Fi, Bluetooth, GSM a 3G/4G (LTE). [37] Všechny tyto projekty určené pro mobilní telefony jsou pouze ve vývojové verzi a nejsou běžně dostupné ke každodennímu použití. Uživatel, který chce tento typ navigace testovat, se musí zaregistrovat jako vývojář. Abychom mohli orientačně porovnat tato měření s našimi výsledky, celý postup registrace, vytvoření modelů objektu a testovací lokalizaci obou společností vyzkoušíme.

K následujícímu měření byl využíván mobilní telefon Samsung i9195i Galaxy S4 Mini VE Black Edition. Tento telefon disponuje potřebnými senzory uvedenými v následující tabulce (viz tabulka 7.1).

7.2 Měření za použití nástroje InfSoft

Jak již bylo zmíněno výše, pro testování navigace využívá společnost InfSoft, především vysílače signálu Wi-Fi a Bluetooth. Uživatel první musí zažádat o registraci, jako vývojář. K tomu, je nutné zadat emailovou adresu organizace zajímající se o tuto

Tabulka 7.1: Parametry senzorů telefonu Samsung i9195i Galaxy S4 Mini VE Black Edition [38]

	Prodejce	Rozsah	Rozlišení	Výkon	Zpoždění
Akcelerometr (LSM6DS3)	STMicroelectronics	19.595264 m/s ²	5.98E-4 m/s ²	1.0 mA	9615 μ s
Magnetometr (YAS537)	Yamaha Corporation	2.1474837E8 μ T	0.1 μ T	1.0 mA	9615 μ s
Gyroskop (LSM6DS3)	STMicroelectronics	40.042496 rad/s	0.001222 rad/s	1.0 mA	9615 μ s
Krokoměr (LSM6DS3)	STMicroelectronics	-	-	1.0 mA	-
Senzor náklonu (LSM6DS3)	STMicroelectronics	1.0	1.0	1.0 mA	-
Senzor vektoru otočení	AOSP	1.0	5.9604645E-8	3.0 mA	9615 μ s
Gravitační senzor	AOSP	19.6133 m/s ²	5.98E-4 m/s ²	3.0 mA	9615 μ s

metodu a čekat na schválení. Školní email k tomuto účelu plně postačuje a registrace je po několika dnech schválena. Pokud údaje v něčem nesplňují podmínky InfSoft, je uživatel emailem obeznámen o neprovedené registraci i s odůvodněním.

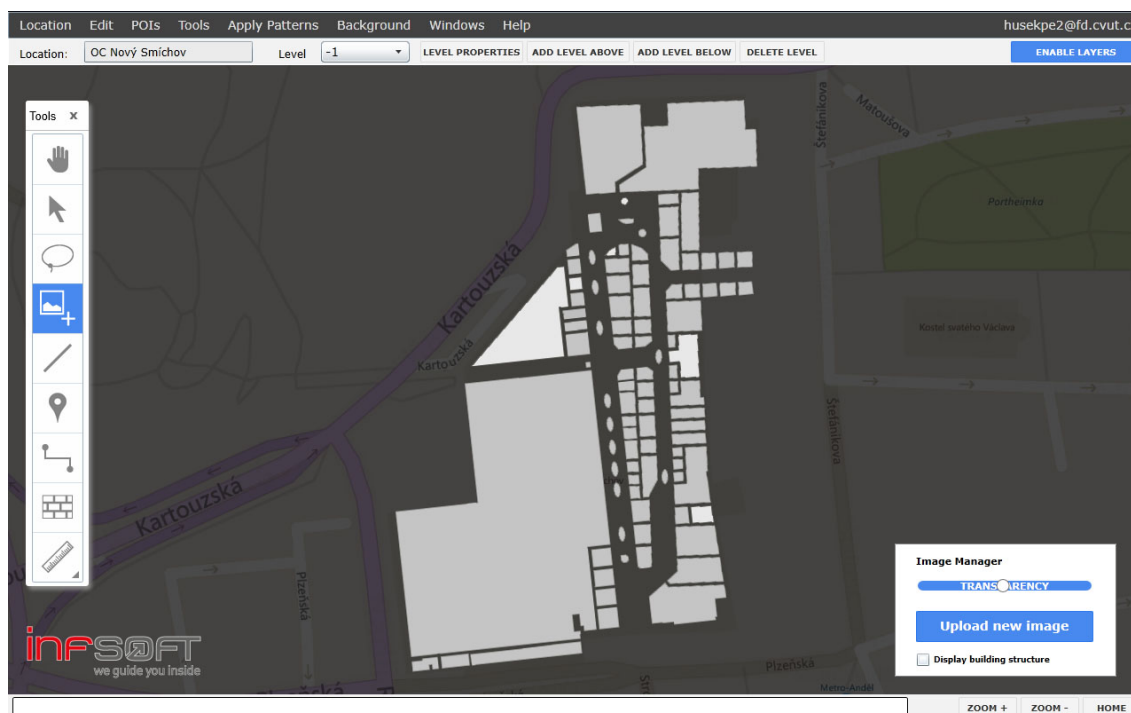
K úspěšnému vytvoření navigační mapy, a poté určování polohy v ní, je zapotřebí několik následujících kroků:

- Vytvoření plánu objektu, včetně bodů zájmu (dále jen POI¹),
- Vyznačení měřených kalibračních tras,
- Naměření tras pomocí mobilní aplikace,
- Kontrola a schválení naměřených dat, publikování na server.

7.2.1 Vytvoření plánu objektu

Po úspěšné registraci do role vývojáře se může začít s tvořením mapy objektu. Přihlášením na stránkách Mapseditor se uživatel dostane do prostředí, kde je možné vytvořit celý plán objektu. Jako první je potřeba vytvořit novou lokaci. Tu je nutné

¹Point of interest - Bod zájmu



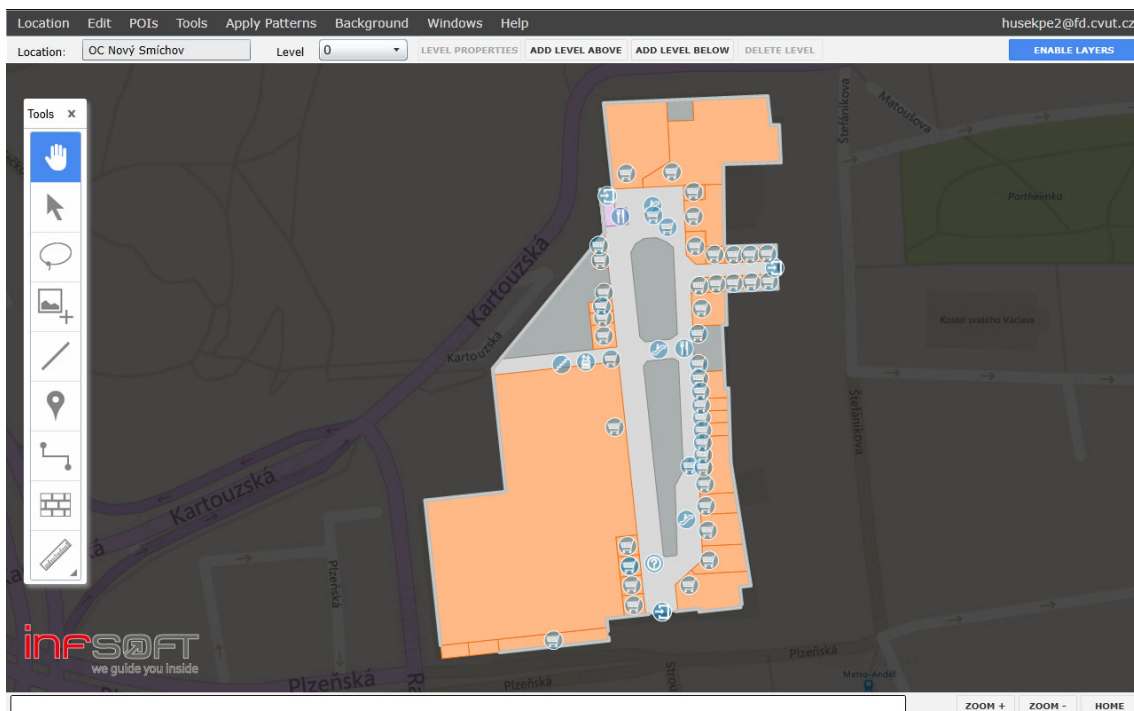
Obrázek 7.1: Vložení nového plánu patra

nejprve pojmenovat a místo, kde má objekt stát, vyhledat na mapě. Pokud máme k dispozici orientační plán nebo půdorys objektu, velmi nám to usnadní práci. Kliknutím na ikonu vložení obrázku přidáme půdorys zvoleného patra a vhodně umístíme tak, aby seděl v mapovém podkladu (viz obrázek 7.1). Jak již bylo řečeno, tento plán je pouze orientační a ve výsledné navigaci nebude nijak využit.

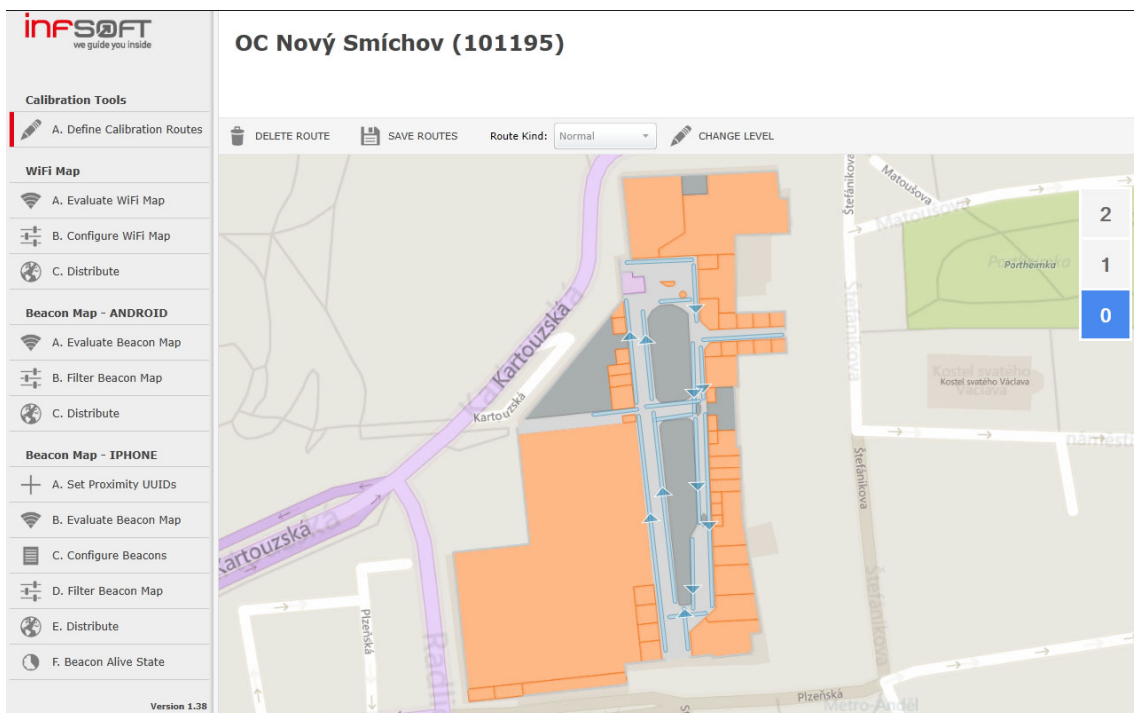
Aby byl plán jednotný a dobře přehledný, je potřeba nyní zakreslit do plánu jednotlivé místnosti. Po vybrání tlačítka se symbolem čáry postupně obtáhneme všechny prostory a poté po kliknutí pravým tlačítkem myši na námi nakreslený uzavřený prostor v nabídce zvolíme, o jakou oblast se jedná (například obchod, chodba, atd.). Prostory se nám barevně odliší (viz obrázek 7.2).

Když máme dokončeny všechny prostory, nakreslíme obvodové zdi objektu za pomoci nástroje, který je označen symbolem zdi, a poté vyznačíme jednotlivé POI pomocí symbolu špendlíku. U každého POI lze také zvolit čemu slouží. Vyznačeny tak máme v našem případě jednotlivé obchody, schody, eskalátory, výtah, informace a toalety (viz obrázek 2). Takto je mapa kompletní a stejným způsobem lze vložit i další patra.

Po dokončení všech pater je nutné mapu uložit a publikovat na server Inf-Soft.



Obrázek 7.2: Výsledná mapa



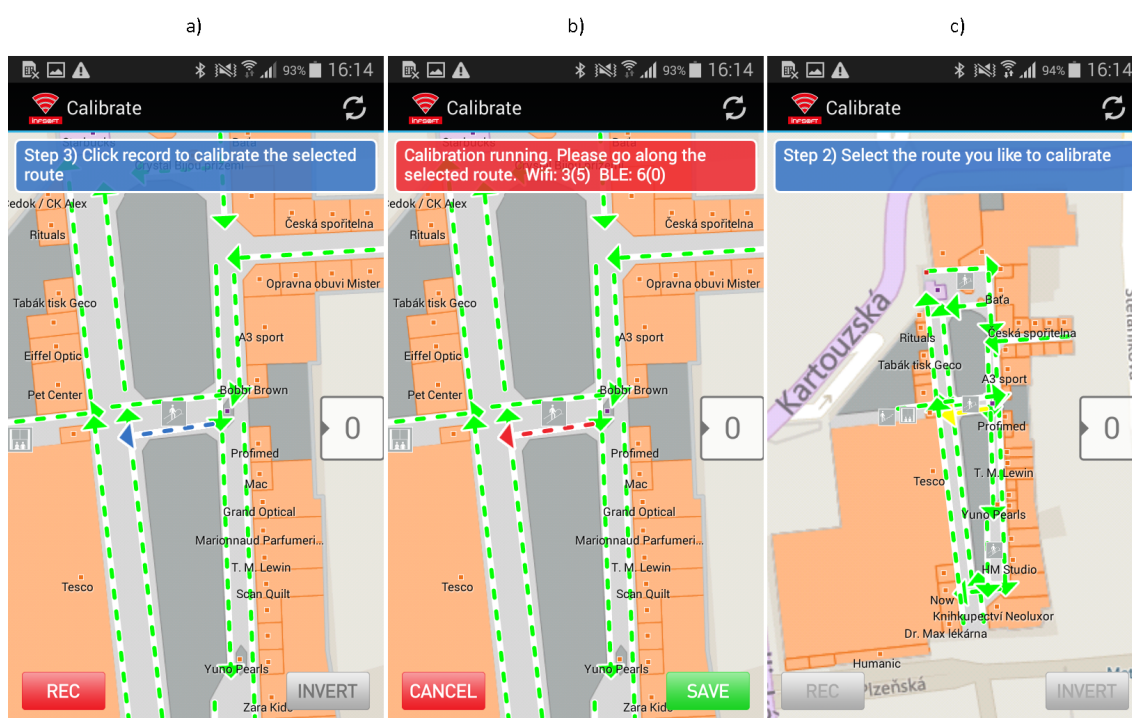
Obrázek 7.3: Vyznačení kalibračních tras

7.2.2 Vyznačení měřených kalibračních tras

Ještě než začneme měřit data v mapovaném objektu mobilním telefonem, je nutné předem zvolit trasy, na kterých budeme tyto údaje zaznamenávat. Přihlásíme se tedy na webových stránkách Calibration, kde definujeme měřené trasy (viz obrázek 7.3). Vše je nutné uložit a nahrát na server. Nyní je vše připraveno na zaznamenání všech hodnot pomocí mobilního telefonu.

7.2.3 Naměření tras pomocí mobilní aplikace

Pro zaznamenání dat ve vytvořené oblasti má společnost InfSoft určenou aplikaci s názvem Calibration. Po spuštění aplikace se opět musíme přihlásit svým vývojářským účtem a poté zvolit námi dříve vytvořenou mapu. K úspěšnému naměření všech dat vybereme vždy trasu, kterou chceme zaznamenat a stiskneme tlačítko REC. Při měření je důležité držet telefon stále ve stejné poloze a pohybovat se konstantní rychlostí. Na konci trasy zvolíme SAVE, čímž uložíme data na server. Všechny tyto kroky jsou zobrazeny na obrázku 7.4.



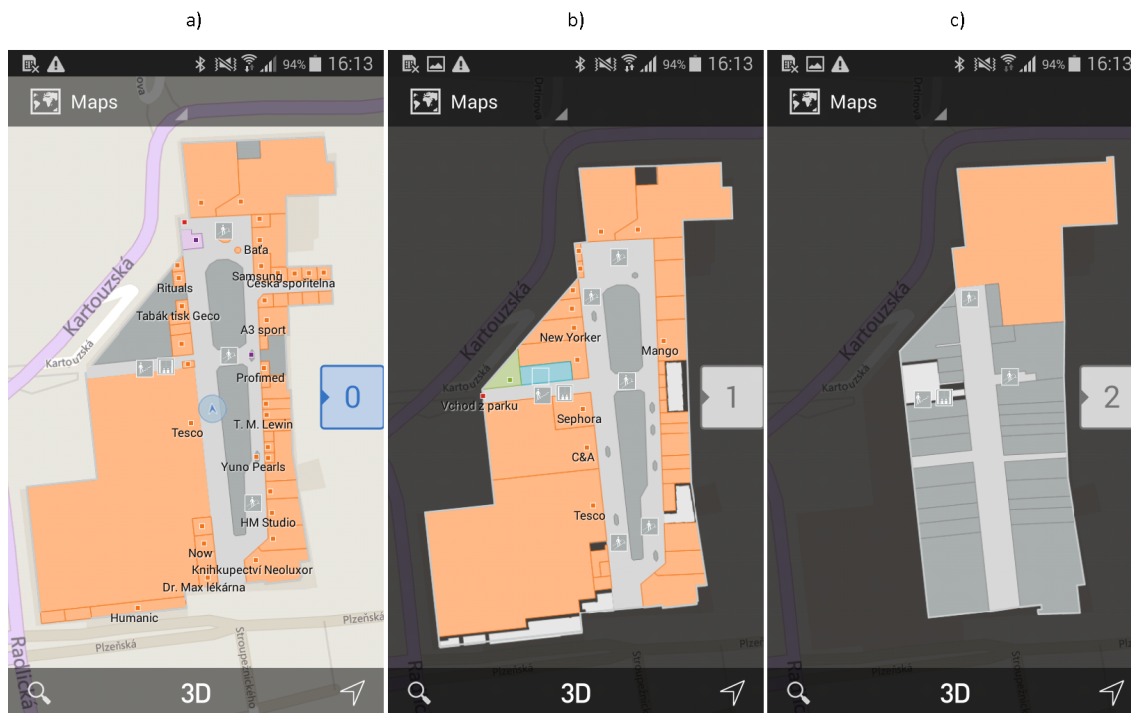
Obrázek 7.4: a) vybrání trasy; b) měření trasy; c) všechny zaznamenané trasy

7.2.4 Kontrola a schválení naměřených dat, publikování na server

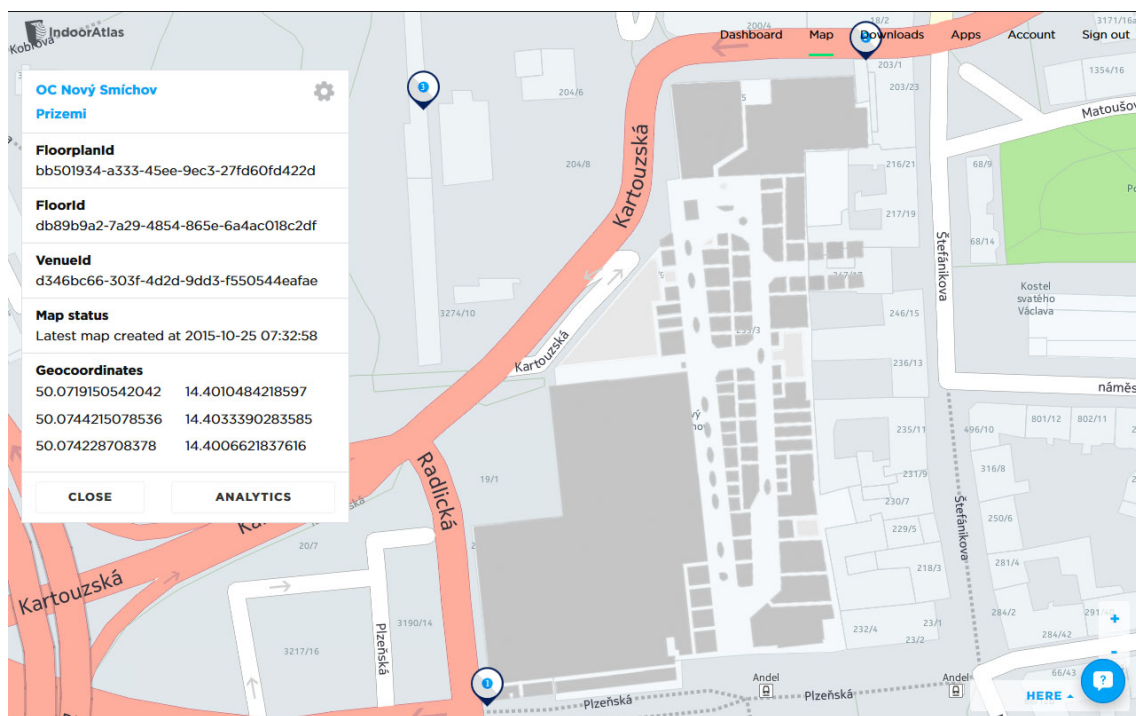
Po úspěšném naměření dat se vrátíme do prostředí Calibration na webových stránkách, kde je nutné zaznamenané údaje zkontrolovat. Smazat je potřeba především takové hodnoty, které vyhodnotíme jako nestálý údaj. Například přenosné Wi-Fi nebo Bluetooth vysílače, jako jsou mobilní telefony lidí vyskytujících se v době měření blízko nás. Všechna takováto zařízení bohužel nelze pouze podle názvů poznat a mohou nám samozřejmě později zapříčinit chybu v přesnosti polohy. Výsledné hodnoty opět uložíme na server.

7.2.5 Zobrazení polohy

Pro zobrazení polohy na vytvořené mapě pomocí změřených dat využijeme k tomu speciálně vyvinutou aplikaci Maps od společnosti InfSoft. Poloha by se nám měla zobrazit stejně, jako když používáme jakoukoli jinou mapovou aplikaci ve venkovním prostředí s použitím GPS (viz obrázek 7.5a). Aplikace využívá i senzoru GPS, proto pokud se nenacházíme zrovna uvnitř našeho objektu, ale mimo něj, poloha nám je na mapě zobrazena pomocí GPS. Po vstupu do objektu se aplikace přepne do módu pro vnitřní navigaci a dále využívá již dříve zmíněných senzorů.



Obrázek 7.5: a) přízemí s vyznačenou polohou; b) 1. patro; c) 2. patro



Obrázek 7.6: Vložení plánu do IndoorAtlas

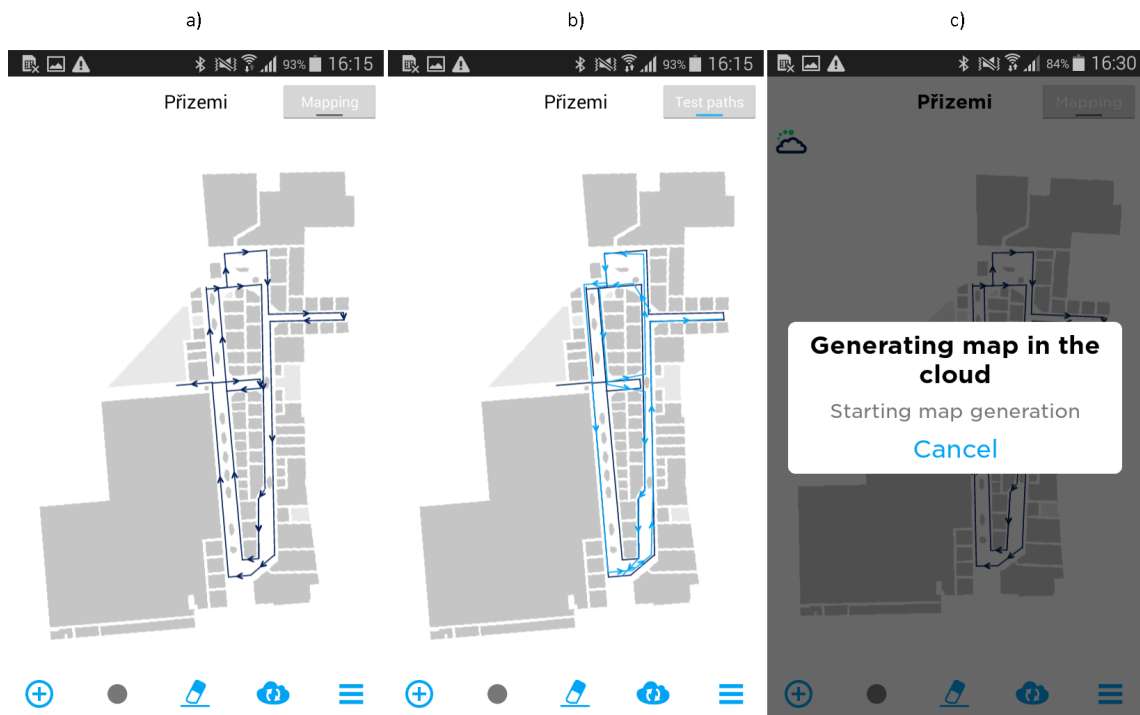
Aplikace pozná změnu patra a automaticky se nám přepne na příslušný plán. Není tedy potřeba ručně vybírat patro, ve kterém se právě nacházíme (viz obrázek 7.5b, 7.5c).

7.3 Měření za použití nástroje IndoorAtlas

Na rozdíl od společnosti InfSoft, u IndoorAtlas můžeme k registraci do vývojářského prostředí použít čistě osobní emailový účet a není třeba čekat na schválení. Po registraci se přepneme na záložku map, kde na mapě vyhledáme místo, ke kterému chceme vložit plán. Dále zvolíme „Add Floorplan“ pro přidání nového patra a následně nahrajeme plán objektu. Ten je potřeba vyrovnat vůči mapě (viz obrázek 7.6). Takto přidáme všechna patra, která chceme, aby byla použitelná v našem koncovém projektu.

Nic více se ve webovém rozhraní, na rozdíl od prostředí InfSoft, nedělá. Všechny další úkony již budeme tvořit v mobilní aplikaci IndoorAtlas. Podobně, jako u předchozího měření i nyní budeme muset projít následujícími kroky:

- Zakreslení měřených tras v plánu a naměření dat,
- Vyznačení a projití testovací trasy,



Obrázek 7.7: a) mapování objektu; b) testovací trasa; c) generování navigační mapy

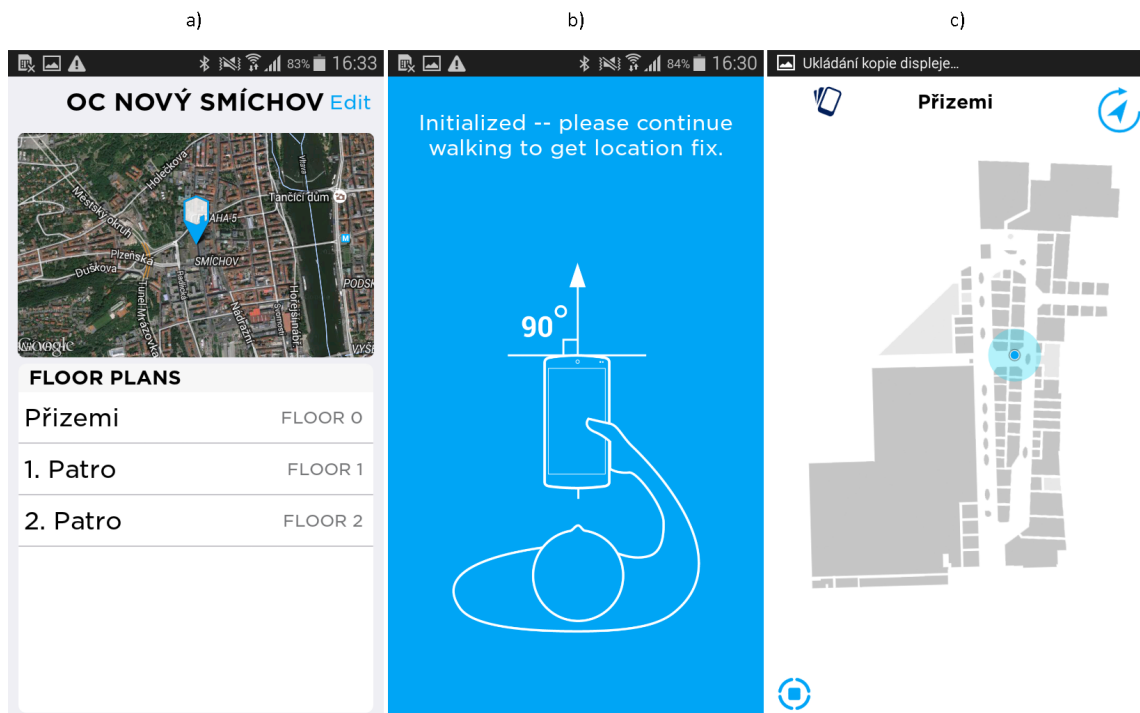
- Vygenerování mapy, nahrání na server IndoorAtlas.

7.3.1 Zakreslení měřených tras v plánku a naměření dat

Pro zmapování celého objektu si otevřeme aplikaci IndoorAtlas, ve které vybereme námi dříve přidaný objekt na webových stránkách (viz obrázek 7.8a) a zvolíme patro, které chceme zmapovat. Kliknutím v mapě vyznačíme první bod, jako začátek měřené trasy a poté druhý bod, jakožto konec měřené trasy. Dále zvolíme tlačítko se symbolem plného kruhu pro zaznamenávání dat a tuto trasu konstantní rychlostí projdeme. Konec měření potvrdíme tlačítkem stop, které má symbol plného čtverce. Stejný postup provedeme pro celé patro tak, aby byla rovnoměrně pokryta celá plocha patra (viz obrázek 7.7a).

7.3.2 Vyznačení a projití testovací trasy

Aby si aplikace lépe spojila a otestovala všechna naměřená data, je potřeba ještě vytvořit testovací trasu celým patrem. Trasa nemusí být jednotná, můžeme tedy vytvořit několik tras (viz obrázek 7.7b). Vyznačení i naměření trasy provedeme stejným způsobem, jako v předchozím bodě měření jednotlivých tras. Jediný rozdíl je



Obrázek 7.8: a) výběr objektu na mapě; b) zjištění polohy; c) zobrazení polohy

v tom, že při vyznačování trasy můžeme vkládat několik bodů. Vznikne nám tak spojitá trasa z více rovných úseků. Při zaznamenávání testovací trasy musíme, při přechodu na další rovný úsek, stisknou ještě tlačítko pro průchozí bod.

7.3.3 Vygenerování mapy, nahrání na server IndoorAtlas

Pokud máme vytvořené i testovací trasy, vybereme v menu aplikace položku „Generate map“. Aplikace sama vygeneruje navigační mapu a data nahraje na server, ze kterého jsou potom stahovány údaje při určování naší polohy (viz obrázek 7.7c).

7.3.4 Zobrazení polohy

Jak bylo zmíněno výše, aplikace potřebuje k navigaci připojení k internetu, aby mohla ze serveru IndoorAtlas stahovat potřebná data k určení polohy. Pokud chceme zobrazit svou polohu a jsme připojeni k internetu, zvolíme v menu aplikace položku „Positioning“. Budeme vyzváni, abychom s telefonem ve vodorovné poloze k zemi a s orientací ve směru trasy vyšli kupředu (viz obrázek 7.8b). Po chvíli srovnávání měřených dat s daty vytvořené mapy se aplikace přepne do prostředí plánu objektu a zobrazí naší polohu (viz obrázek 7.8c).

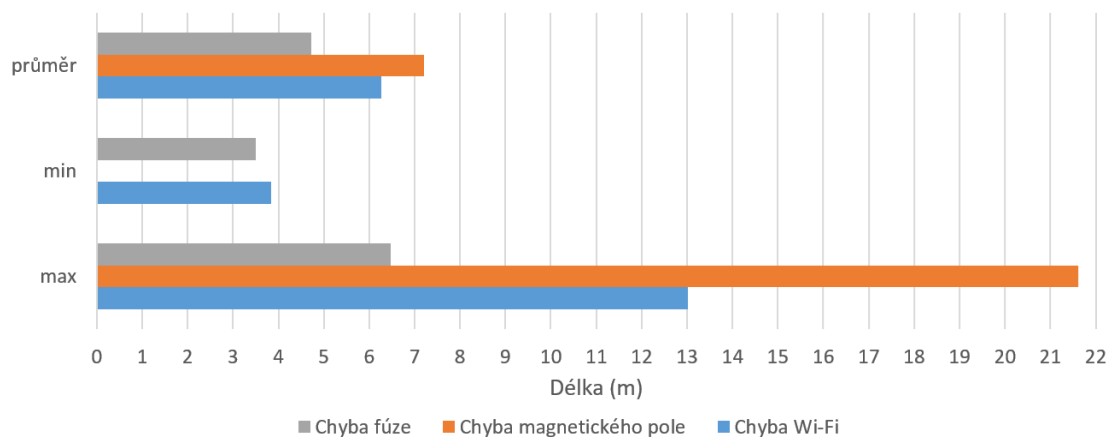
7.4 Shrnutí

Obě vyzkoušené aplikace jsou sice ve vývojovém stádiu, ale vyvíjeny profesionálními firmami, nabízející návrh různých řešení pro koncové uživatele a společnosti. Zajímavá je samozřejmě možnost přihlášení, jako vývojář, a otestování obou řešení. Obě metody jsou velice dobře navrženy a polohu, až na občasné výpadky a nedostatky, určili relativně přesně. Bohužel není možné dostat se k fyzickým datům a zjistit tedy chyby v měření. Zároveň je nutné dodat, že vše je v rukou měřitele. Pokud jsou tedy data zaznamenána chybně, polohu nelze přesně určit.

Srovnání s naší metodou je poměrně složité. Jak jsme již zmínili, nemáme konkrétní data k porovnání. Profesionální řešení však mají uživatelské prostředí, které většinu úloh spočítají a vyhodnotí za uživatele. Poloha je automaticky aktualizována a průběžně zobrazována na mapě. U naší metody se jedná spíše o zpětnou lokalizaci z naměřených dat, než program určující pozici v reálném čase.

Závěr

V této práci bylo naším cílem nejprve zjistit možnosti určování polohy ve vnitřních prostorách, tyto metody popsat, zvolit dvě, které by měly být levné a jednoduše aplikovatelné na realizaci, lokalizaci realizovat a vzájemně porovnat. K tomu jsme zvolili metodu Wi-Fi sítí a metodu budovami deformovaného magnetického pole Země, a následně provedli i fúzi obou metod, kvůli vyhodnocení případného zlepšení přesnosti. U obou metod jsme na teoretické úrovni popsali model šíření Wi-Fi signálu a model magnetického pole v budovách, a rozebrali průběh celého postupu pro lokalizaci. Data jsme měřili pomocí mobilního telefonu Sony Xperia Z3 Compact a Samsung i9195i Galaxy S4 Mini VE Black Edition a vyhodnocovali v tabulkovém programu Excel od společnosti Microsoft a dvou stávajících aplikací od společností InfSoft a IndoorAtlas.



Obrázek 7.9: Porovnání chyb určení polohy pro všechny metody

Při použití metody Wi-Fi jsme svou polohu určili s průměrnou přesností 6,3 m, přičemž největší chyba byla 13 m a nejmenší 3,8 m. U metody magnetického pole jsme svou polohu určili s průměrnou přesností 7,2 m, přičemž největší chyba byla 21,6 m a nejmenší 0 m. Výsledná fúze obou metod měla průměrnou přesnost 4,7 m, kdy největší chyba byla 6,5 m a nejmenší 3,5 m. Porovnání chyb určení polohy pro všechny metody měření je znázorněno v grafu (viz obrázek 7.9). Pomocí fúze se nám

tedy podařilo polohu zpřesnit a průměrnou i maximální chybu snížit.

Z měření pomocí dvou současných metod bohužel není možné, vzhledem k tomu, že se jedná o komerční produkt, získat konkrétní naměřená data. Proto pro nás slouží určení naší polohy pomocí těchto metod pouze jako představení současných možností a vývoje v dnešní době.

Na téma indoor navigace v poslední době roste počet odborných článků a výzkum se tímto tématem zabývá stále více. Jak jsme již zmínili v úvodu, není zatím žádné komplexní řešení, připodobňující systém GPS. Současná řešení jsou vyvíjena většinou nezávisle na sobě, za použití jiných principů a postupů. To je velkou nevýhodou především v budoucím masovém rozšíření systému. Do budoucna by tedy byla potřeba stanovit určité standardizované postupy pro různé technologie.

V našem případě jsme si ověřili, že zvolené dvě techniky lokalizace fungují a je s nimi možné s určitou odchylkou zjistit svou polohu. Chyba v řádu metrů není při využití v rozlehlých objektech takový problém, jako v případě lokalizace například uvnitř místnosti. Chyba by se dala jistě ještě o něco vylepšit kvalitnějšími postupy měření nebo větším opakováním měření. K tomu by se dali použít například speciální roboti, kteří se konstantní rychlostí pohybují po objektu a ve stále stejných intervalech zaznamenávají naměřená data. Jejich poloha v objektu by byla předem přesně navrhnutá a měření by bylo provedeno tolikrát, aby se případné dočasné nepřesnosti dali z databází vyloučit. Dalším zajímavým řešením by byla i možnost simultánní lokalizace s měřením. To by spočívalo v nahrávání měřených dat do stávající databáze při zjišťování své polohy uživatelem. Takto by mohla být data sbírána průběžně každým uživatelem, který hledá svou polohu a databáze by se tak mohla plnit novějšími daty, kdy by nebylo nutné měření offline fáze dělat znovu při jakékoli stavební úpravě v objektu. Zároveň by mohli být specifické databáze pro jednotlivé části dne, kdy je v objektu málo nebo hodně lidí, jsou otevřené nebo zavřené dveře, atp. Možností pro vývoj je mnoho, ale čím přesnější je požadavek na určení polohy, tím je samozřejmě celý projekt náročnější na čas, výpočty i samotnou metodiku.

Ze současných trendů je patrné, že by se vývoj indoor navigací mohl v blízké budoucnosti posunout výrazně dále. Doufám, že tato práce inspiruje potenciální zájemce o tuto oblast a objasní jim některé základní principy tak, aby jim usnadnila budoucí vývoj.

Seznam použitých zdrojů

- [1] LI, Binghao, Thomas GALLAGHER, Andrew G DEMPSTER a Chris RIZOS. How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning? In: *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)* [online]. IEEE, 2012, s. 1-9 [cit. 2016-05-15]. DOI: 10.1109/IPIN.2012.6418880. ISBN 978-1-4673-1954-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6418880>
- [2] GANSEMER, Sebastian, Uwe GROSSMANN a Syuzanna HAKOBYAN. RSSI-based Euclidean Distance algorithm for indoor positioning adapted for the use in dynamically changing WLAN environments and multi-level buildings. In: *2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation* [online]. IEEE, 2010, s. 1-6 [cit. 2016-05-13]. DOI: 10.1109/IPIN.2010.5648247. ISBN 978-1-4244-5862-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5648247>
- [3] MANVJEET, Kaur. K-Nearest Neighbor Classification Approach for Face and Fingerprint at Feature Level Fusion. In: *International Journal of Computer Applications* [online]. Foundation of Computer Science, 2012, s. 623-628 [cit. 2016-05-12]. DOI: 10.5120/9759-1517. ISSN 0975-8887. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.303.5198&rep=rep1&type=pdf>
- [4] EVENNOU, Frédéric a François MARX. Advanced Integration of WiFi and Inertial Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning. In: *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* [online]. 2006, **2006**, s. 1-12 [cit. 2016-05-12]. DOI: 10.1155/ASP/2006/86706. ISSN 1687-6172. Dostupné z: <http://asp.eurasipjournals.com/content/2006/1/086706>
- [5] Sony Xperia Z3 Compact. *GSMarena* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.gsmarena.com/sony_xperia_z3_compact-6538.php
- [6] STERLING, Greg. *Magnetic Positioning: The Arrival of 'Indoor GPS'* [online]. In: . San Francisco, 2014, s. 1-8 [cit.

- 2016-05-06]. Dostupné z: https://www.indooratlas.com/wp-content/uploads/2016/03/magnetic_positioning_opus_jun2014.pdf
- [7] How It Works: How Does Our Geomagnetic Technology Work? In: *IndoorAtlas* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://www.indooratlas.com/how-it-works/>
- [8] ŠTĚPANČIČ, Petr. *Test modelu magnetického pole NGDC-720 pomocí GPS a kompasu*. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Jan Holešovský.
- [9] Magnetic Anomaly Map of the Earth. In: *San Diego State University: The Department of Geological Sciences* [online]. San Diego [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.geology.sdsu.edu/kmlgeology/kmz/magnetic_anomalies/magnetic_anomalies.html
- [10] CHUNG, Jaewoo, Matt DONAHOE, Chris SCHMANDT, Ig-Jae KIM, Pedram RAZAVAI a Micaela WISEMAN. Indoor location sensing using geo-magnetism. In: *Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services - MobiSys '11* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2011, s. 141-154 [cit. 2016-05-05]. DOI: 10.1145/1999995.2000010. ISBN 9781450306430. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1999995.2000010>
- [11] PECHAČ, Pavel. *Modely šíření vln v zástavbě*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0186-1.
- [12] CHADIMA, Martin. Magnetismus Země: 1. Magnetické pole Země. In: *Masarykova Univerzita: Přírodovědecká fakulta* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/chadima/geomagnetismus/Geomagnetismus1.pdf>
- [13] HAMADA, Vladimír. *Automatická kalibrace inerciálních senzorů* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=82630. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Tomáš Macho.
- [14] HUSÁK, Miroslav. Akcelerometry. In: *FEL CVUT* [online]. Praha [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [15] ŠTICHAUER, Michal. *Aplikace pro měření a zpracování dat inerciálních senzorů a GPS*. Pardubice, 2014. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Karel Šimerda.

- [16] Vše o infračervené technologii. *PROHEAT* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.proheat.cz/products/vse-o-infracervene-technologie/>
- [17] MAUTZ, Rainer. *Indoor positioning technologies* [online]. Zuřich: Schweizerische Geoda?tische Kommission, 2012, 121 pages [cit. 2016-04-29]. ISBN 39-084-4031-9.
- [18] ENS, Alexander, Leonhard M. REINDL, Joan BORDOY, Johannes WENDEBERG a Christian SCHINDELHAUER. Unsynchronized ultrasound system for TDOA localization. In: *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)* [online]. IEEE, 2014, s. 601-610 [cit. 2016-04-28]. DOI: 10.1109/IPIN.2014.7275533. ISBN 978-1-4673-8054-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7275533>
- [19] ENS, Alexander, Leonhard M. REINDL, Thomas JANSON a Christian SCHINDELHAUER. Low-power simplex ultrasound communication for indoor localization. In: *2014 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)* [online]. IEEE, 2014, 731 - 735 [cit. 2016-04-28]. ISSN 2219-5491. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6952225&tag=1>
- [20] VACHUTKA, Jaromír. *Přímé a nepřímé měření parametrů ultrazvukového pole*. Brno, 2009. Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/150547/prif_m/Diplomova_prace.pdf. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce MUDr. Pavel Grec, CSc.
- [21] DAO, Thi Hao, Quoc Cuong NGUYEN, Van Duc NGO, Minh Thuy LE a Cong Anh HOANG. Indoor Localization System Based on Passive RFID Tags. In: *2014 5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation* [online]. IEEE, 2014, s. 579-584 [cit. 2016-04-17]. DOI: 10.1109/ISMS.2014.162. ISBN 978-1-4799-3858-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7280975>
- [22] RFID Selection Guide. *ElecFreaks* [online]. EB-VElektronik, 2010 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/NFC/rfid_guide.pdf
- [23] Lekce 33 - Arduino a modul čtečky RFID 125kHz. In: *Arduino* [online]. 2014 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://arduino8.webnode.cz/news/lekce-33-arduino-a-modul-ctecky-rfid/>
- [24] Historie RFID. *Rfid-epc.cz* [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.rfid-epc.cz/co-je-rfid/historie-rfid/>

- [25] Indoor Navigation & Indoor Positioning Using Bluetooth. *Infsoft* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.infsoft.com/blog/2015/indoor-navigation-and-indoor-positioning-using-bluetooth>
- [26] ČÍŽEK, Jakub. Bluetooth 4.2 je hotový. Lépe propojí internet věcí. *Živě* [online]. 2014 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/bluetooth-42-je-hotovy-lepe-propoji-internet-veci/sc-4-a-176382/default.aspx>
- [27] CISCO. *Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide* [online]. 2008 [cit. 2016-04-13]. OL-11612-01. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG.pdf>
- [28] PRAVDA, Ivan. *Základy mobilních sítí* [online]. Praha [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/057.pdf
- [29] RICHTR, Tomáš. Princip buňkového systému. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. 2002 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-princip.htm>
- [30] ROXIN, A., J. GABER, M. WACK a A. NAIT-SIDI-MOH. Survey of Wireless Geolocation Techniques. *2007 IEEE Globecom Workshops* [online]. IEEE, 2007, , 1-9 [cit. 2016-04-08]. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2007.4437809. ISBN 978-1-4244-2024-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4437809>
- [31] RICHTR, Tomáš. Základní struktura sítě GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. 2002 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-strukt.htm>
- [32] RICHTR, Tomáš. Historie systému GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. 2002 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-gsm.htm>
- [33] BEAL, Vangie. Wi-Fi. *Webopedia* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi_Fi.html
- [34] Základy technologie Bluetooth: původ a rozsah funkcí. ČEPIČKA, David. *PCWorld* [online]. 2009 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635>

- [35] Bluetooth technology basics. *Bluetooth* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>
- [36] IndoorAtlas Ltd. (ed.). Ambient magnetic field-based indoor location technology: Bringing the compass to the next level. In: *IndoorAtlas* [online]. 2013 [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: http://www.indooratlas.com/static/ambient_magnetic_field_indooratlas_jul2013.pdf
- [37] Indoor navigation. *Infsoft.com* [online]. [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: <http://www.infsoft.com/products/indoor-navigation>
- [38] [1] JFDP Labs. *Hardware Info* (verze 4.2.6) [mobilní aplikace]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dama.hardwareinfo&hl=cs>

Seznam použitých zkratek

GPS Global Positioning System

GLONASS Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema

RFID Radio Frequency Identification

GSM Global System for Mobile Communication

CEPT Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications

IMEI International Mobile Equipment Identity

SIM Subscriber Identification Module

BTS Base Transceiver Station

CID Cell Identification

RSS Received Signal Strength

AOA Angle Of Arrival

TOA Time Of Arrival

TDOA Time Difference Of Arrival

VOR VHF Omnidirectional Radio Range

WLAN Wireless Local Area Network

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

BSIG Bluetooth Special Interest Group

IoT Internet of Things

LOS Line of sight

MEMS Micro-Electro-Mechanical Systems

UHF Ultra High Frequency

NN Nearest neighbor

KNN K-nearest neighbor

EWKNN Enhanced weighted K-nearest neighbor

SSID Service Set Identifier

BSSID Basic service set identification

RSSI Received Signal Code Power

LTE Long Term Evolution

AOSP Android Open Source Project

POI Point of interest

REC Record

Přílohy

Příloha A

Tabulka otisku Wi-Fi vysílačů v offline fázi

Příloha B

Tabulka otisku magnetického pole
v offline fázi

	Gravitace X (m/s ²)	Gravitace Y (m/s ²)	Gravitace Z (m/s ²)	Magnetické pole X (μT)	Magnetické pole Y (μT)	Magnetické pole Z (μT)	Velikost magnetického pole (μT)	Úhel inklinace (°)
1	-0,205	1,514	9,687	-17,2	-15,7	-38,4	44,91	-62,95
2	1,039	1,763	9,591	-12,5	-21,3	-32,2	40,58	-64,56
3	1,321	1,519	9,598	-13,1	-30,9	-25,9	42,39	-48,80
4	1,387	1,438	9,601	-12,9	-29,6	-20,9	38,46	-43,81
5	0,514	1,773	9,631	-11,4	-28	-22,8	37,87	-47,80
6	0,327	1,222	9,725	-4,2	-17,4	-23,4	29,46	-59,99
7	0,475	0,814	9,761	-10,5	-18	-28,5	35,31	-59,34
8	0,843	1,079	9,711	-8,8	-22,8	-28,1	37,24	-56,60
9	0,641	0,772	9,755	-10,8	-23,1	-41	48,28	-63,76
10	0,914	1,052	9,707	-9,3	-23	-32,7	41,05	-60,44
11	0,762	0,786	9,745	-5,8	-22,1	-25,1	33,94	-53,16
12	1,088	0,477	9,734	-4,6	-24,9	-30,3	39,49	-53,64
13	0,715	1,112	9,717	-5,5	-18	-26,3	32,34	-61,80
14	0,598	1,054	9,731	-14,8	-23,5	-28,7	39,94	-53,03
15	1,458	0,621	9,678	-10,9	-39,5	-24,7	47,85	-36,56
16	1,184	0,074	9,735	-5,3	-29,5	-35	46,08	-50,60
17	1,427	0,66	9,68	-7,9	-25,7	-31,4	41,34	-55,03
18	1,152	0,86	9,701	-3,8	-29,6	-24,4	38,55	-44,83
19	0,778	0,733	9,748	3,2	-24,2	-23	33,54	-46,72
20	0,529	0,914	9,75	-5,2	-23,3	-24,9	34,50	-52,07
21	0,453	0,797	9,764	-11,2	-26,1	-22,7	36,36	-43,96
22	0,975	0,444	9,748	-9,4	-27,6	-25,6	38,80	-45,41
23	0,629	0,798	9,754	-2,6	-30,4	-25,7	39,89	-44,99
24	1,07	1,536	9,626	-5	-24,6	-34,3	42,50	-63,59
25	0,781	1,338	9,684	-6,3	-24,9	-31	40,26	-59,01
26	0,761	0,713	9,751	-1,7	-28,5	-21,8	35,92	-41,67
27	0,829	1,163	9,702	-3,7	-31,1	-22,6	38,62	-43,04
28	1,111	0,604	9,725	-5,1	-19,6	-21,3	29,39	-51,20
29	0,86	0,463	9,758	-8,7	-9	-23,3	26,45	-67,14
30	0,424	0,634	9,777	-5	-11,6	-29,4	32,00	-71,12
31	1,106	0,793	9,712	-11,8	-20,5	-38,5	45,19	-65,50
32	0,481	0,874	9,756	-12,6	-20,2	-37,2	44,17	-63,21
33	0,616	0,414	9,779	-13,8	-27,1	-36,5	47,51	-53,94
34	0,541	0,61	9,773	-8,4	-25,9	-34,3	43,79	-55,88
35	1,055	0,801	9,717	5,8	-26,3	-38,3	46,82	-57,47
36	1,59	-0,189	9,675	2,9	-21,9	-42,6	47,99	-59,01
37	1,15	-0,3	9,734	3,5	-25,3	-49,2	55,43	-59,27
38	0,74	1,395	9,679	-0,3	-25,8	-49,4	55,73	-70,23
39	1,008	1,236	9,676	-2,3	-34,7	-47,8	59,11	-61,15
40	0,874	1,205	9,693	-5,8	-28,6	-40,9	50,24	-62,23
41	0,425	1,453	9,689	-8,3	-32,2	-45,4	56,28	-62,65
42	0,933	0,728	9,735	-1,6	-35,9	-34,3	49,68	-47,91
43	0,814	1,254	9,692	3,6	-21,3	-33,6	39,95	-63,13
44	0,773	1,079	9,716	-1,2	-13,3	-41,5	43,60	-78,21
45	0,668	0,938	9,739	-7,5	-17,2	-59,5	62,39	-79,01
46	0,368	1,032	9,745	-14,5	-15,8	-40,7	46,00	-67,99
47	0,537	0,885	9,752	-6,7	5,1	-42,8	43,62	-76,80

	Gravitace X (m/s ²)	Gravitace Y (m/s ²)	Gravitace Z (m/s ²)	Magnetické pole X (μT)	Magnetické pole Y (μT)	Magnetické pole Z (μT)	Velikost magnetického pole (μT)	Úhel inclinace (°)
48	0,674	1,169	9,713	-17,4	20,9	-55,1	61,45	-60,12
49	-0,302	0,569	9,785	-7,3	13,6	-58,4	60,41	-71,43
50	1,411	-0,317	9,699	-6,2	-3,1	-39,3	39,91	-83,65
51	0,437	0,73	9,77	-11,8	3,2	-30,8	33,14	-69,17
52	-0,133	0,522	9,792	-11,5	10,6	-51,3	53,63	-70,33
53	0,528	0,201	9,79	3	2,4	-53,2	53,34	-82,66
54	0,72	0,488	9,768	1,3	2	-40,4	40,47	-81,69
55	0,961	0,745	9,731	-0,1	15,5	-33,6	37,00	-60,40
56	0,571	0,271	9,786	-0,8	31,9	-35,4	47,66	-46,36
57	0,73	0,124	9,779	0,9	8	-35,9	36,79	-75,56
58	0,41	0,581	9,781	-3,2	12,3	-48,5	50,14	-72,35
59	0,866	0,53	9,754	-1,9	7,9	-38,9	39,74	-75,26
60	0,605	0,475	9,776	1	10,1	-38,7	40,01	-71,90
61	0,221	0,768	9,774	5	26,5	-35,1	44,26	-47,81
62	0,723	0,372	9,773	-2,3	9,6	-43,2	44,31	-75,27
63	0,647	0,31	9,78	0	19,1	-38,7	43,16	-61,68
64	1,042	0,54	9,736	-3,8	20,4	-46,1	50,56	-63,01
65	1,146	0,12	9,739	-4,7	20,6	-44,4	49,17	-64,52
66	1,146	0,388	9,732	-11,8	21,4	-49,1	54,85	-63,91
67	1,457	0,572	9,681	-3,3	8,8	-34,3	35,56	-72,07
68	0,937	0,684	9,738	-0,6	-1,4	-41,9	41,93	-84,89
69	0,942	0,55	9,746	-3,2	16,3	-46	48,91	-67,27
70	0,652	0,834	9,749	-6,2	17,2	-32,8	37,55	-57,18
71	0,274	0,093	9,802	5,5	14,9	-24,8	29,45	-56,28
72	0,997	-0,34	9,75	7,8	40,9	-38,3	56,57	-43,17
73	0,849	0,451	9,759	-9,1	27,9	-67,9	73,97	-65,07
74	0,629	0,208	9,784	0,8	-3,4	-40,9	41,05	-84,05
75	0,805	0,899	9,732	1,6	9,4	-21,4	23,43	-59,78
76	0,989	0,575	9,74	0	22,5	-20,7	30,57	-39,00
77	0,306	0,292	9,798	6,4	16,9	-52,8	55,81	-68,85
78	0,694	1,413	9,68	-1	14,5	-39,9	42,46	-61,63
79	0,397	0,773	9,768	-0,7	15,1	-49,3	51,57	-68,40
80	0,955	0,646	9,739	-2,1	-1,8	-45,5	45,58	-86,68
81	0,972	0,948	9,712	-3,7	14,7	-26,4	30,44	-55,51
82	1,096	0,752	9,716	-5,7	4,6	-56,8	57,27	-80,97
83	1,325	0,054	9,717	-2,6	16,4	-51,2	53,83	-71,32
84	1,218	0,688	9,706	-2,9	-5,6	-37,1	37,63	-84,74
85	1,129	0,372	9,734	-6,9	-5,1	-36,1	37,11	-82,91
86	0,791	0,54	9,76	-4	7,8	-26,3	27,72	-70,10
87	0,554	0,66	9,769	-2	40,7	-35,5	54,04	-37,28
88	0,509	0,962	9,746	7,9	16,4	-46,7	50,12	-62,34
89	0,752	0,87	9,739	0,5	9,2	-29,8	31,19	-67,13
90	0,879	0,683	9,743	1,8	18,8	-25,5	31,73	-48,77
91	0,944	0,141	9,76	6,8	32,9	-43,6	55,04	-50,16
92	1,125	0,38	9,735	-0,7	6,9	-43,7	44,25	-77,46
93	1,266	0,96	9,677	0,9	20,9	-48	52,36	-59,69
94	0,912	-0,109	9,764	-7,9	-0,5	-53,4	53,98	-86,71

	Gravitace X (m/s ²)	Gravitace Y (m/s ²)	Gravitace Z (m/s ²)	Magnetické pole X (μT)	Magnetické pole Y (μT)	Magnetické pole Z (μT)	Velikost magnetického pole (μT)	Úhel inklinace (°)
95	0,741	0,422	9,77	-3,6	10,9	-28,4	30,63	-66,52
96	1,209	0,678	9,708	2,7	29,6	-50,7	58,77	-54,44
97	1,374	0,527	9,696	-7,4	26	-49,2	56,14	-59,33
98	0,367	0,344	9,794	-7	20,6	-52,7	57,01	-66,21
99	0,903	1,104	9,702	6,6	10,2	-39,9	41,71	-64,74
100	0,389	1,173	9,729	3,8	18,3	-41,9	45,88	-58,76
101	1,259	1,109	9,662	5,1	10,8	-44,4	45,98	-65,59
102	0,697	0,912	9,739	24	1,9	-46	51,92	-57,53
103	0,574	0,827	9,755	23,8	-13,7	-37,4	46,40	-52,81
104	0,185	0,516	9,791	17,6	-8,1	-33,3	38,53	-59,93
105	0,744	0,746	9,75	14,6	-13,2	-38,3	43,06	-61,87
106	0,669	1,28	9,7	13,7	-13,6	-38,6	43,16	-64,70
107	0,394	1,187	9,727	5,6	-13	-37,8	40,36	-74,21
108	0,684	0,495	9,77	8,9	-8,6	-39,9	41,78	-71,28
109	0,492	0,886	9,754	9,5	-11,3	-43,2	45,65	-72,39
110	1,236	1,443	9,621	9,6	-17,7	-37,4	42,48	-63,72
111	0,679	0,278	9,779	8,3	-15	-37,2	40,96	-64,42
112	0,637	0,765	9,756	-0,8	-25,2	-38,7	46,19	-61,31
113	0,491	0,402	9,786	-2,3	-25,2	-41,6	48,69	-61,18
114	0,763	0,957	9,73	-7	-33,7	-43,8	55,71	-58,10