



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## LOKALIZACE OSOB V BUDOVÁCH

THE LOCALIZATION OF THE PERSONS IN BUILDINGS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

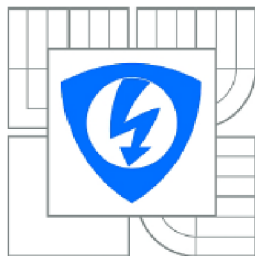
Bc. Jan Noha

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Mikroelektronika

**Student:** Bc. Jan Noha  
**Ročník:** 2

**ID:** 146916  
**Akademický rok:** 2015/2016

## NÁZEV TÉMATU:

**Lokalizace osob v budovách**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zjistěte současné možnosti lokalizace osob v budovách vč. sledování jejich pohybu. Navrhněte komplexní a přenosný systém, který bude schopen přesně identifikovat polohu osoby v budově vč. polohy podle pater. Systém bude schopen identifikovat pohyb osoby a vykreslovat jej na displej smartphonu případně monitor PC.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 26.5.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Lukáš Fucik, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem lokalizačního systému pro použití v budovách. Práce je rozdělena do několika částí. První část této práce je věnována představení dostupných technologií v této oblasti. Dále jsou zde vysvětleny principy zpracování dat k zjištění polohy. Následně jsou představeny dostupné systémy. Další část se zabývá návrhem lokalizačního systému, kde jsou popsány jednotlivé komponenty lokalizačního zařízení a je zde popsán návrh desky plošných spojů. Poslední část práce je věnována konstrukci a odzkoušení celého systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lokalizace, přenosné zařízení, Wi-Fi

## **ABSTRACT**

This work presents design of indoor location system. The work is divided into several parts. The first part of this work presents available technologies in section of indoor location system. There are explained principles of elaboration for determine position. There is also description of several manufacturer systems. In the next part is described design of indoor localization system. There are description components of locator and there is described design of the printed circuit board. The last part is concentrating to construction and testing of locator.

## **KEYWORDS**

Localization, portable device, Wi-Fi

NOHA, J. *Lokalizace osob v budovách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav Mikroelektroniky, 2016. 41 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jíří Háze, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „**Lokalizace osob v budově**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. května 2016

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu doc. Ing. Jiřímu Házemu, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu. Dále patří poděkování Ing. Ladislavu Macháňovi za pomoc při realizaci zařízení.

V Brně dne 26. května 2016

.....  
podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>x</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>xii</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Metody</b>	<b>2</b>
1.1 Technologie využívající rádiové vlny.....	2
1.1.1 Radiofrekvenční identifikace - RFID .....	2
1.1.2 Wi-Fi.....	3
1.1.3 Bluetooth.....	4
1.1.4 UWB .....	4
1.2 Technologie založené na snímání okolního prostředí.....	5
1.2.1 Magnetické pole.....	5
1.2.2 Světlo .....	5
1.2.3 Ultrazvuk .....	5
1.2.4 Úhlové zrychlení .....	5
1.3 Zvýšení přesnosti lokalizačních metod.....	6
<b>2 Zpracování dat pro určení polohy</b>	<b>7</b>
2.1 Trilaterace .....	7
2.1.1 Naměřená vzdálenost je menší, nebo větší než skutečná.....	8
2.1.2 Referenční body mající stejnou y souřadnici.....	8
2.1.3 Všechny referenční body se nacházejí na jedné přímce .....	8
2.1.4 Zvýšení přesnosti trilaterace – rotace referenčních bodů .....	8
2.1.5 Vyhodnocení metody založené na měření síly signálu.....	9
2.2 Hyperbolická laterace .....	10
2.3 Triangulace .....	11
<b>3 Dostupné systémy</b>	<b>12</b>
3.1 Systém Ekahau.....	12
3.2 AssetWorks.....	12
3.3 PLUS Location Systems .....	13

<b>4</b>	<b>Návrh zařízení</b>	<b>14</b>
4.1	Komponenty lokalizačního zařízení .....	15
4.1.1	Wi-Fi modul.....	15
4.1.2	Elektronický akcelerometr a kompas.....	16
4.1.3	Napájecí blok .....	16
4.1.4	Hlídač napájecího napětí.....	19
4.2	Zapojení Wi-Fi modulu .....	19
4.3	Návrh desky plošných spojů .....	21
4.3.1	Návrh chladiče stabilizátoru .....	21
4.3.2	Proudová zatížitelnost plošného spoje.....	22
4.3.3	Navržený plošný spoj.....	22
<b>5</b>	<b>Programové vybavení</b>	<b>23</b>
5.1	Nahrání programu .....	26
5.2	Programové struktury .....	26
5.2.1	Měření vzdálenosti.....	26
5.2.2	Trilaterace .....	29
5.2.3	Další programové struktury .....	31
<b>6</b>	<b>Ověření funkčnosti zařízení</b>	<b>32</b>
6.1	Určení polohy se třemi referenčními body .....	33
6.2	Určení polohy se čtyřmi referenčními body .....	34
<b>7</b>	<b>Vizualizace změřených dat</b>	<b>36</b>
7.1	Vytvoření zobrazovací aplikace.....	36
7.2	Grafická podoba lokalizačního systému .....	37
7.3	Pomocná aplikace .....	38
<b>8</b>	<b>Konstrukce lokalizačního zařízení</b>	<b>39</b>
8.1	Kalkulace nákladů.....	39
	<b>Závěr</b>	<b>41</b>
	<b>Literatura</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>44</b>



<b>A</b>	<b>Seznam součástí</b>	<b>45</b>
<b>B</b>	<b>programové vybavení</b>	<b>47</b>
B.1	Proces „Vyhodnocení“ .....	47
B.2	Funkce pro měření vzdálenosti .....	47
B.3	Proces trilaterace pro tři referenční body .....	47
B.4	Proces trilaterace pro čtyři referenční body .....	48
B.5	Proces hledání vhodných referenčních bodů .....	49
B.6	Proces připojení do internetové sítě a odeslání dat na server .....	51
B.7	Získání dat ze serveru-Javascript .....	52
B.8	Převedení dat-Javascript .....	52

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vnitřní struktura RFID tagu [5].</i>	2
<i>Obr. 2 Tok dat [10].</i>	3
<i>Obr. 3 Průběh úzkopásmového a ultraširokopásmového signálu [11]</i>	4
<i>Obr. 4 Měření trasy akcelerometrem[8].</i>	6
<i>Obr. 5 Princip určení polohy trilaterací [12].</i>	7
<i>Obr. 6 Eliminace chyby měření vzdálenosti při určování polohy [12]</i>	9
<i>Obr. 7 Princip hyperbolické laterace [13]</i>	10
<i>Obr. 8 Hledání pozice neznámého bodu X triangulací [13].</i>	11
<i>Obr. 9 Ekahau tagy [9].</i>	12
<i>Obr. 10 Diagram komunikace mezi částmi systému AssetWorks[10]</i>	13
<i>Obr. 11 Principiální schéma navrženého lokalizačního systému</i>	14
<i>Obr. 12 Blokové schéma navrženého zařízení</i>	15
<i>Obr. 13 Schéma napájecího bloku</i>	18
<i>Obr. 14 Schéma zapojení hlídače napájecího napětí [19]</i>	19
<i>Obr. 15 Schéma zapojení Wi-Fi modulu a periférií.</i>	20
<i>Obr. 16 Závislost tepelného odporu na ploše desky plošných spojů [19]</i>	21
<i>Obr. 17 Navržená deska plošných spojů ze strany TOP</i>	22
<i>Obr. 18 Vývojový diagram hlavního programu</i>	23
<i>Obr. 19 Vývojový diagram podprogramu „kontrola bodů“</i>	24
<i>Obr. 20 Vývojový diagram podprogramu „korelace“</i>	25
<i>Obr. 21 Rozložení pinů na programovacím konektoru lokalizačního zařízení.</i>	26
<i>Obr. 22 Změřená vzdálenost při použití vysílacího modulu</i>	27
<i>Obr. 23 Průběh změřených vzdáleností při použití běžného vysílače.</i>	28
<i>Obr. 24 Simulace trilaterace pro tři referenční body</i>	30
<i>Obr. 25 Simulace trilaterace pro čtyři referenční body</i>	31
<i>Obr. 26 Půdorys budovy</i>	32
<i>Obr. 27 Trilaterace změřené pozice <math>x = 6,3\text{ m}</math> a <math>y = 2,7\text{ m}</math>.</i>	33
<i>Obr. 28 Trilaterace změřené pozice <math>x = 1,9\text{ m}</math> a <math>y = 7,0\text{ m}</math>.</i>	34
<i>Obr. 29 Trilaterace změřené pozice <math>x = 4,1\text{ m}</math> a <math>y = 4,8\text{ m}</math>.</i>	35
<i>Obr. 30 Trilaterace změřené pozice <math>x = 7,5\text{ m}</math> a <math>y = 5,8\text{ m}</math>.</i>	35
<i>Obr. 31 Vývojový diagram zobrazovací aplikace</i>	36

<i>Obr. 32 Mapa lokalizačního systému .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 33 Prostředí aplikace pro mobilní telefony .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34 Výsledné lokalizační zařízení zakomponované v krabičce .....</i>	<i>39</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Změřené průměrné útlumy a jejich směrodatné odchylky pro vysílací modul ....</i>	28
<i>Tab. 2 Změřené průměrné hodnoty a směrodatné odchylky routeru ZyXEL 660 .....</i>	29
<i>Tab. 3 Změřené pozice při použití tří referenčních bodů .....</i>	33
<i>Tab. 4 Změřené pozice při použití čtyř referenčních bodů .....</i>	34
<i>Tab. 5 Kalkulace nákladů za materiál .....</i>	40

# ÚVOD

Tato práce se zabývá kompletním návrhem systému pro zjištění aktuální polohy osoby v budově. V dnešní době se jedná o aktuální téma, protože má mnoho možností využití. Ať je to pro navigaci v budovách, kontrolu pacientů v nemocnicích nebo sledování toku materiálu v továrnách apod.

Cílem práce je návrh takového zařízení, které bude splňovat požadavky jak z hlediska použitelnosti, tak přesnosti i ceny.

V první kapitole jsou vyjmenovány a popsány různé technologie, které se dnes používají, a jejich výhody, případně nevýhody. V další kapitole jsou vysvětleny techniky, jakými se zpracovávají data metod založených na rádiovém signálu. Dále jsou zde představeny systémy dostupné na trhu.

V následující kapitole je podrobně popsán postup návrhu lokalizačního systému, včetně popisu vybraných součástí, schémat zapojení a návrhu plošného spoje.

Další kapitoly jsou věnovány popisu programového vybavení, testování funkčnosti navrženého lokalizačního zařízení a popsání grafického rozhraní lokalizačního systému.

Poslední kapitola popisuje hotové lokalizační zařízení a náklady na výrobu.

# 1 METODY

Pro určení polohy v budově nelze použít klasickou technologii GPS. Nedá se použít, protože má malou přesnost určení polohy a navíc je v budovách signál GPS ztlumený a zkreslený. Jinou možností je síť GSM, kterou využívají mobilní telefony. Bohužel technologie využívající tuto síť má přesnost v řádech stovek metrů.

Proto se používají jiné metody, ty nejčastější jsou uvedeny v této kapitole. Dělí se do dvou základních skupin podle toho, zda používají rádiové vlny, či nikoli [1], [2].

## 1.1 Technologie využívající rádiové vlny

Do této kategorie patří technologie, které pro určení polohy osob v budově využívají rádiové vlny. Ve většině případů nutně potřebují pro svoji funkci přijímač, který má uživatel u sebe, a pak několik vysílačů.

### 1.1.1 Radiofrekvenční identifikace - RFID

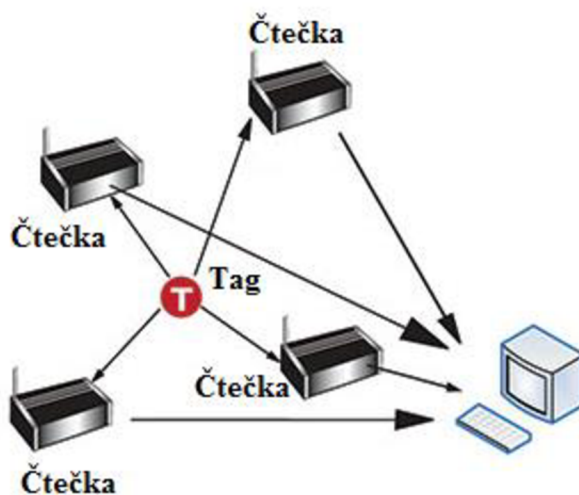
Pro účely určení polohy v budově se více používá aktivní RFID. Vychází z pasivní RFID, která se používá především pro identifikaci objektů. Pasivní RFID využívá štítek (tzv. tag). Jeho vnitřní struktura je na obr. 1. Tag má v sobě integrovaný malý čip, anténu a paměť. Pomocí čtečky RFID se rádiovými vlnami přečtou data v paměti tagu. Stěžejním problémem je, že tag musí být vzdálen od čtečky maximálně desítky centimetrů, aby ho mohla čtečka přečíst.

Je možné využít i tuto technologii pro sledování polohy v budově. Čtečky se umístí na určitá místa s definovanými souřadnicemi, například na vchody do místností či do budovy nebo na sloupy. Tag se implementuje do přenosného zařízení, které nosí uživatel u sebe. Jakmile uživatel projde okolo čtečky, jeho se poloha zaznamená. Pro přesnější určení polohy by bylo nutno vytvořit co nejvíce kontrolních bodů. Přesnost je ovlivněna i spolehlivostí načítání čtečkou [3], [4].



Obr. 1 Vnitřní struktura RFID tagu [5].

Aktivní RFID pracuje na podobném principu, avšak zde už má tag svoje napájení (baterii) a má větší paměť. Kvůli zabudované baterii plní zároveň funkci vysílače, takže neustále komunikuje s rádiovým vysílačem. Jsou celkem tři možnosti odvození polohy v budově pomocí aktivního RFID. První metoda určení polohy je založená na zjištění času mezi odesláním a přijetím zprávy mezi vysílačem a tagem. Druhá metoda měří časový rozdíl mezi přijatými signály od tří a více vysílačů. Pro správnou funkci musí vysílače synchronně vysílat signály. Poslední možností a současně nejvhodnější metodou je měření síly rádiového signálu vysílače. K určení přesné polohy je nutné mít signál nejméně od tří rádiových vysílačů, poloha se vypočítá metodou trilaterace nebo hyperbolickou laterací. Na obr. 2 je vidět, jak jsou předávána data ke zpracování [6], [7].



Obr. 2 Tok dat [10]

Hlavní nevýhodou celé této technologie je nutnost vytvoření úplně nové infrastruktury v budově [6], [7].

### 1.1.2 Wi-Fi

Tato technologie využívá dnes všudypřítomný signál bezdrátové sítě wifi s komunikačním standardem 802.11. Její výhoda spočívá v tom, že již není nutné vybavovat danou budovu dalšími zařízeními, postačí pouze přijímač. Využívá se zjištění, jak daleko je lokalizovaný objekt od Wi-Fi vysílačů. To lze zjistit z přenosového zpoždění mezi přijímačem a vysílačem, nebo z útlumu signálu.

Používanějším řešením je měření útlumu. Útlum se získá z koncového zařízení nebo z infrastruktury. Určování útlumu z koncového zařízení probíhá tak, že zařízení periodicky měří sílu signálu různých Wi-Fi vysílačů. Ať jsou informace o útlumu získány jakkoliv, musí se zpracovat, a to pomocí triangulace. Pro správnou funkčnost se však musí projít daná oblast a změřit přibližné hodnoty útlumu. To je nutné, aby systém věděl, s jakými hodnotami má počítat. Z výpočtů je následně vytvořena mapa, která je systémem používána pro zjištění polohy.

Nevýhodou celé této technologie je nestálost signálu. Například stačí jiné uspořádání nábytku a už se rozložení signálu změní [1], [2], [6].

### 1.1.3 Bluetooth

Bluetooth pracuje na podobném principu jako předchozí technologie. Pouze jsou použity radiové vlny o jiných frekvencích. Bluetooth lze využít pro určení polohy dvěma způsoby.

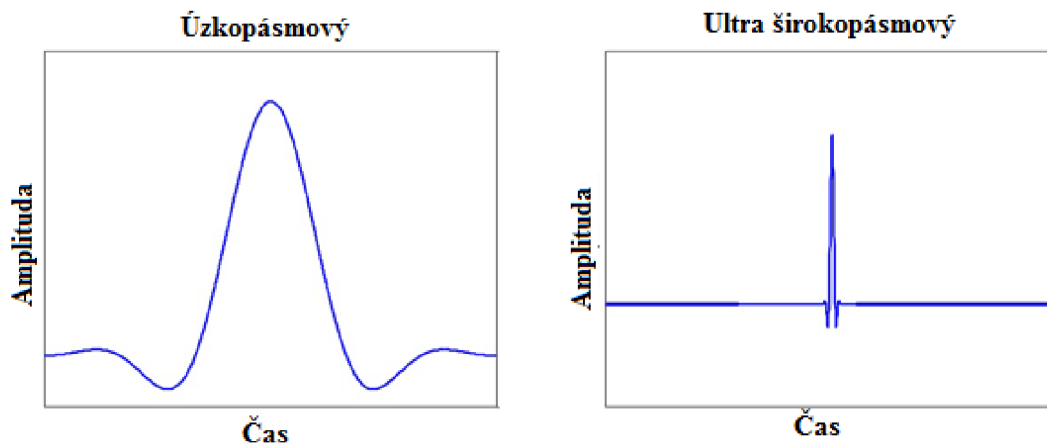
Prvním způsobem je měření síly signálu. Zde se ovšem naráží na problém. Síla signálu není závislá pouze na vzdálenosti přijímače od vysílače, ale slabý signál může způsobit i překážka, například velký sloup. Jednou z možností, jak tento nedostatek odstranit, je rozmístění Bluetooth majáků (fungují jako vysílače a zároveň přijímače) na určená místa. Majáky si pak navzájem změří sílu signálů a uloží je do databáze. Při určení přesné polohy přenosné zařízení změří sílu signálu na aktuální poloze a porovná ji s databází.

Druhou možností je jednoduché detekování přítomnosti. Zde se pouze kontroluje, zda se zařízení nachází v dosahu vysílače [1], [2], [11].

### 1.1.4 UWB

U této technologie se využívá nově vytvořený standard IEEE 802.15.4-2011 pro ultraširokopásmové radiové signály. Tento standard používá radiové vlny s velmi krátkými a úzkými impulzy. To zajišťuje snadnější a přesnější změření doby mezi odesláním a přijetím signálu mezi dvěma zařízeními. Z naměřených dat je možné určit polohu s přesností několika centimetrů [11].

V porovnání s úzkopásmovým signálem, který využívá Wi-Fi nebo Bluetooth, mají ultraširokopásmové signály větší odolnost proti šumům. Porovnání tvaru ultraširokopásmového a úzkopásmového signálu je na obr. 3 [11].



Obr. 3 Průběh úzkopásmového a ultraširokopásmového signálu [11]



## 1.2 Technologie založené na snímání okolního prostředí

Pro určení polohy v rámci těchto technologií se využívá snímání okolního prostředí. Měří se různé fyzikální veličiny, na základě kterých se určuje následná poloha v budově. Hlavní předností většiny těchto systémů je, že nepotřebují přídatná zařízení. Stačí pouze zařízení, které má uživatel u sebe [4].

### 1.2.1 Magnetické pole

Tuto veličinu lze použít pro určení polohy, protože v každém místě moderních železobetonových budov se tato veličina nepatrně liší. Na základě dat je vytvořena mapa, se kterou systém pracuje. Přesnost se pohybuje kolem 2 m [1], [2], [14].

### 1.2.2 Světlo

Aby bylo měření světla použitelné, je potřeba vybavit místnosti speciálním osvětlením z vysoce svítivých LED diod. Princip spočívá v tom, že každé svítidlo z těchto LED diod nepozorovaně bliká rozdílnou frekvencí. Pak se pomocí přístroje s kamerou určí poloha na základě vytvořené databáze. Nedostatkem tohoto řešení je vysoká pořizovací cena svítidel a nefunkčnost při výpadku elektrické energie.

Druhou možností je použití malých vysílačů s infračervenou difúzní diodou, jež jsou rozmístěny po budově. Tyto vysílače periodicky vysílají unikátní identifikační kód. K přečtení tohoto kódu musí být zařízení vybaveno infračerveným senzorem a poloha se také zjištěna na základě vytvořené databáze.

Také je možné snímat kamerou prostředí, barvu stěny nebo obrazce na stěnách atd.[1], [2], [14].

### 1.2.3 Ultrazvuk

Do těchto metod lze zařadit i metodu využívající ultrazvuk. Princip je inspirován netopýry, kteří se orientují pomocí ultrazvuku. Hlavním problémem u těchto systému je snadná rušitelnost jinými ultrazvukovými signály nebo zdrojem šumu. Kvůli malému dosahu musí být zpravidla tento systém doplněn podpurným systémem, který zvětší přesnost [3].

### 1.2.4 Úhlové zrychlení

Tato technologie je ze zde již představených technologií zřejmě nejdostupnější. Je založena na měření pohybu akcelerometrem MEMS, který měří uhlové zrychlení při různých pohybech uživatele. Systém vybavený touto součástí dokáže na základě dat vypočítat dráhu, kterou již uživatel ušel. Z dat lze i odvodit, zda uživatel šel po schodech.

Mimo akcelerometru je systém ještě vybaven kompasem, kterým je měřen směr pohybu. Těmito součástkami jsou vybaveny téměř všechny moderní mobilní telefony. Pro běžné využívání by byla vhodná aplikace pro mobilní telefon. Pro správnou funkci je však nutný výchozí bod, ke kterému je vztahována vzdálenost uživatele. Dále zde postupně klesá přesnost lokalizace vlivem nepřesnosti odvozování vzdálenosti [1], [2], [8].

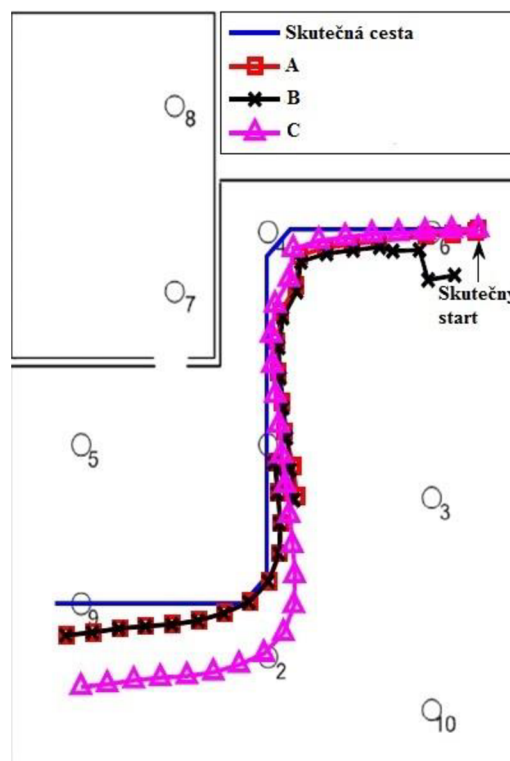
### 1.3 Zvýšení přesnosti lokalizačních metod

Všechny představené metody mají určitou přesnost. Ta je ve většině případů nedostatečná pro přesnou lokalizaci. Proto se musí tyto metody kombinovat. Tím se dosáhne větší přesnosti.

Například při použití zařízení s akcelerometrem MEMS je vhodnější doplnit tento systém dalším zařízením. Za účelem zvýšení přesnosti ji lze doplnit technologií RFID, kde se průchodem okolo kontrolního bodu měření zpřesní [8].

To samé platí u ultrazvuku, ten nemůže být využíván samostatně. Musí být doplněn například systémem založeným na aktivní technologii RFID nebo Wi-Fi [3].

Na obr. 4 je vidět, jaká může být odchylka od skutečné trasy pohybu při měření akcelerometrem MEMS. Na tomto obrázku jsou vyobrazeny trasy změřené různými způsoby a kontrolní body. Písmenem C je označena trasa, která byla změřena pouze pomocí akcelerometru, u této trasy je vidět rostoucí chyba měření. Symbol B označuje trasu změřenou akcelerometrem, je korelovaná průchody okolo kontrolních bodů, ale nemá počáteční určení polohy. Nejpřesnější informace o pohybu jsou označeny křivkou A, kde jsou použity obě metody pro zvýšení přesnosti (kontrolní body a počáteční poloha) [8].



Obr. 4 Měření trasy akcelerometrem[8].

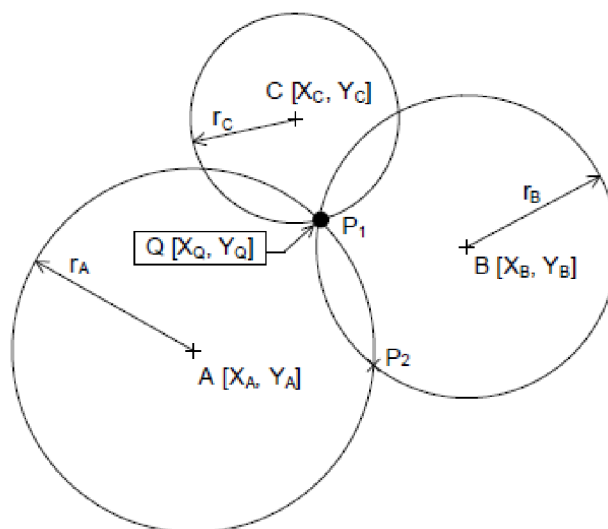
## 2 ZPRACOVÁNÍ DAT PRO URČENÍ POLOHY

Z jakékoliv rádiové technologie nedostaneme přímo použitelná data pro zjištění polohy, musí se různými metodami zpracovat, aby bylo možné je použít.

### 2.1 Trilaterace

Této techniky se využívá, když se určuje vzdálenost neznámého bodu od referenčních bodů (vysílačů) na základě doby trvání mezi odesláním a přijetím dat mezi členy. Je to výpočetní metoda sloužící k určení absolutní polohy neznámého bodu v prostoru. Využívá se k tomu nejméně tři okolních statických referenčních bodů. A právě tato metoda zde bude vysvětlena při použití těchto tří referenčních bodů. K určení polohy je nutné vědět, jak daleko je neznámý bod od referenčního bodu. Tato vzdálenost se určí ze vztahu pro rychlost, kdy rychlost šíření rádiových vln je známa. Další veličinou je změřený čas, a z toho je odvozena přímo vzdálenost mezi body. Tato metoda vychází z aplikované geometrie. Celá metoda je založena na Pythagorově větě o trojúhelníku [12], [13].

Princip spočívá v tom, že kolem bodu s neznámou polohou  $Q$  jsou vysílače, které svoji polohu znají, pak se určí vzdálenosti neznámého bodu od vysílačů. Následně se vyberou libovolné dva vysílače a vytvoří se kolem každého kružnice o poloměru rovnajícím se vzdálenosti k neznámému bodu. Tím vzniknou dva průsečíky a jeden z nich je skutečná poloha. K zjištění správné polohy se vytvoří kružnice okolo třetího vysílače a průnik všech tří kružnic určuje správnou polohu. Popsaná metoda je vyobrazena na obr. 5 [12].



Obr. 5 Princip určení polohy trilaterací [12]

U trilaterace mohou vzniknout celkem tři situace, kdy může dojít ke špatnému určení polohy, tyto situace jsou popsány níže.

### **2.1.1 Naměřená vzdálenost je menší, nebo větší než skutečná**

Při naměření kratší vzdálenosti než je skutečná dojde, k tomu, že se kružnice neprotnou, a pak nelze přesně najít průsečík. Pokud nemáme přesně určený průsečík, nemůžeme přesně určit polohu [12].

U druhého problému dochází ke vzniku dvou průsečíků a tyto průsečíky jsou od skutečné polohy stejně vzdáleny. Chyba určení polohy je tím větší, čím větší je chyba změřené vzdálenosti [12].

Tyto chyby se dají předvídat a je možné je odstranit rotací statických referenčních bodů [12].

### **2.1.2 Referenční body mající stejnou y souřadnici**

Chyba při určování polohy může vzniknout, když dva statické referenční body mají stejnou y souřadnici. Důsledkem je určení pouze jednoho ze dvou průsečíků. Druhý průsečík už není zjištěn, a pokud to zrovna není ten správný, vznikne velká chyba měření. Pokud se tato chyba objeví, je možné ji eliminovat využitím jiných dostupných referenčních bodů, nebo funkcí pro kontrolu správnosti souřadnic. Jinou možností je způsob, který vychází z matematiky a jehož princip spočívá v záměně osy x a y [12].

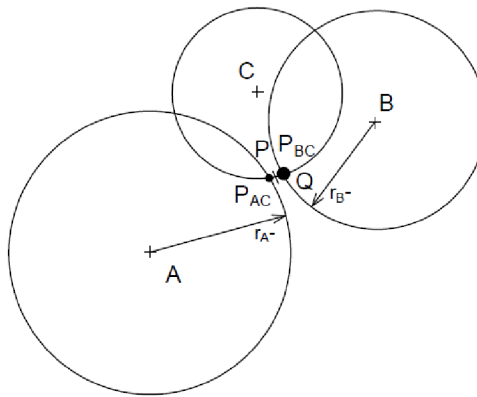
### **2.1.3 Všechny referenční body se nacházejí na jedné přímce**

Chybu v určení polohy vyvolá také situace, kdy třetí kružnice určující správnou polohu protíná oba průsečíky zbývajících dvou kružnic. To znamená, že se třetí referenční bod nachází mezi oběma průsečíky a je od každého stejně vzdálen. K této situaci dojde v případě, že je provedena chybná lokalizace referenčního bodu. Tomuto jevu nelze předejít ani rotací referenčních uzlů, protože se může vyskytnout i v jiné kombinaci určujících kružnic [12].

### **2.1.4 Zvýšení přesnosti trilaterace – rotace referenčních bodů**

U triangulace je nutné nalézt dva průsečíky, k tomu jsou použity právě dva referenční body. Dále se z nich určí třetím referenčním bodem pravděpodobnější bod. Podle situace je možné k tomuto účelu vybrat dvojici referenčních bodů ze tří možných kombinací [12].

Rotace referenčních bodů vychází ze skutečnosti, že vypočítaná vzdálenost od každého referenčního bodů má rozdílnou chybu. K přesnějšímu určení polohy se vypočtou průsečíky pro všechny tři kombinace referenčních bodů a určí se vzdálenosti mezi průsečíky. Poloha neznámého bodu je pak mezi průsečíky s nejmenší vzájemnou vzdáleností. Na obr. 6 je vyobrazen příklad, kde mají referenční body A a B vypočtenou vzdálenost od hledaného bodu menší, než je skutečná. Symboly  $P_{AC}$  a  $P_{BC}$  označují průsečíky s nejmenší vzájemnou vzdáleností a P je hledaný bod [12].



Obr. 6 Eliminace chyby měření vzdálenosti při určování polohy [12]

### 2.1.5 Vyhodnocení metody založené na měření síly signálu

Trilaterací se většinou rovněž vyhodnocuje lokalizační metoda založená na měření síly signálu. Aby bylo možné určit vzdálenost neznámého bodu od referenčního bodu, je nutné znát určité parametry. K těmto parametrům patří výstupní výkon vysílače, ztráty ve vedení vysílače, zisk antény a útlum. Útlum je hlavním určujícím parametrem síly signálu v dané vzdálenosti od vysílače. Útlum je definován jako rozdíl mezi změřenou úrovní signálu na vysílací anténě a úrovní signálu na přijímací anténě [13]. Útlum pro místnosti je

$$PL = PL_{1meter} + 10 \log(d^n) + s, \quad (2.1)$$

kde  $PL$  celkový útlum mezi přijímačem a vysílačem. Obvykle má hodnotu větší než nula, nebo rovnou nule. Konstanta  $PL_{1meter}$  je útlum pro danou frekvenci signálu ve vzdálenosti jednoho metru přijímače od vysílače. Symbol  $d$  je skutečná vzdálenost, přijímače od vysílače. Proměnná  $n$  reprezentuje exponent útlumu, který označuje míru růstu útlumu v závislosti na vzdálenosti. Hodnota této proměnné je závislá především na frekvenci signálu a prostupnosti prostředí. Nabývá hodnot od 2 (volné prostory) až do 4,5 (průmyslové budovy). Symbol  $s$  představuje šum od různých zdrojů v okolí [13].

Z útlumu a dalších parametrů lze přímo vypočítat, jak je vzdálen přijímač od vysílače podle

$$d = \frac{TX_{PWR} - RX_{PWR} - LOSS_{TX} + Gain_{TX} - PL_{1meter} + s + Gain_{RX} - Loss_{RX}}{10n}. \quad (2.2)$$

Zde je  $RX_{PWR}$  detekovaná síla signálu na přijímači,  $TX_{PWR}$  znamená výstupní výkon vysílače,  $LOSS_{TX}$  označuje součet všech ztrát ve vedení a v konektorech vysílače. Přenosový zisk antény je  $Gain_{TX}$ ,  $Loss_{RX}$  je celková ztráta ve vedení a v konektorech přijímače,  $Gain_{RX}$  reprezentuje zisk přijímací antény. Proměnné  $n$ ,  $s$  a  $PL_{1meter}$  mají stejný význam jako u předchozího vztahu. Všechny členy vztahů nabývají pouze kladných hodnot [13].

## 2.2 Hyperbolická laterace

Hyperbolická laterace je výpočetní metoda, kterou se zpracovává časový rozdíl mezi přijatými signály od více vysílačů. Jak je uvedeno v předešlé kapitole, aby bylo možno tuto techniku použít, jsou potřeba nejméně tři vysílače.

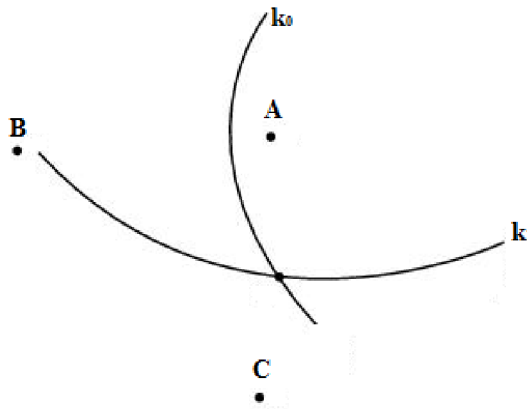
Při použití tří vysílačů A, B, C je předpokládáno, že neznámý bod X vyšle signál těmto vysílačům a ony vyšlou současně signál. Neznámý bod vyhodnotí časy, ve kterých dorazily signály od jednotlivých vysílačů, a zpracuje data podle

$$k_0 = |T_B - T_A|, \quad (2.3)$$

$$k_1 = |T_C - T_A|, \quad (2.4)$$

$$k_2 = |T_C - T_B|. \quad (2.5)$$

Kde  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  jsou doby příchodu signálu od vysílačů. Časové rozdíly jsou označeny znaky  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ , tyto rozdíly nabývají vždy kladných hodnot. Na základě každé této konstanty je možné vytvořit hyperbolu. Každá hyperbola reprezentuje pravděpodobnou polohu neznámého bodu v rovině xy. K určení přesné polohy jsou nutné minimálně dvě hyperboly, v jejichž průsečíku se pak nachází poloha neznámého bodu. Na obr. 7 je ilustrován princip hyperbolické laterace, kde  $k_0$  a  $k_1$  znamenají hyperboly vytvořené na základě konstant  $k_0$ ,  $k_1$  [13].



Obr. 7 Princip hyperbolické laterace [13]

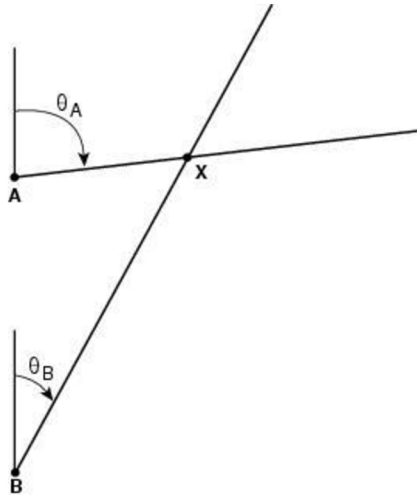
Celková přesnost této metody je závislá především na synchronizaci času vysílačů. Je poměrně obtížné dodržet synchronní čas všech vysílačů, proto je snaha se při konstrukci těchto systémů tomuto problému vyhnout.

Je několik způsobů řešení, jak udržet stejný čas na všech vysílačích. Jednou z možností je vytvoření referenčního zdroje hodin v systému. Tento zdroj periodicky vysílá informaci o čase a vysílače si pak podle něj synchronizují svůj čas. Pokud jsou vysílače schopné odesílat datové zprávy, další možností je, že vysílače si mezi sebou pravidelně vyměňují informace o svém aktuálním čase. A na základě těchto informací se pak snaží seřadit na shodný čas.

Mezi technikami měření rozdílového času a měření doby mezi odesláním a přijetím signálu jsou určité podobnosti. Obě techniky se osvědčily spíše v rozlehlých venkovních prostranstvích. Uvnitř budov dosahují nejlepších výsledků právě v prostorných místnostech s vysokými stropy [13].

## 2.3 Triangulace

Triangulace je výpočetní metoda používaná pro lokalizaci objektů na základě sinusových a kosinusových vět o trojúhelníku. Pro vyhodnocování dat triangulací je nezbytné znát úhel dopadu signálů od vysílačů na přijímač. Pozice se odhaduje na základě průsečíků minimálně dvou paprsků vyslaných od vysílačů v daném úhlu. V dvourozměrné rovině platí u této techniky to, že při použití více vysílačů roste přesnost určení polohy. Ilustrace, jak je nalezena pozice neznámého bodu X (přijímače), je na obr. 8 [13].



Obr. 8 Hledání pozice neznámého bodu X triangulací [13]

Základní myšlenkou v realizaci této metody je použití pohybujících se směrových antén. Technika získání úhlu spočívá v komunikaci mezi vysílačem a přijímačem. Přijímač odesílá informace o síle signálů vysílačům a ty pohybují směrovými anténami, dokud přijímač nezměří nejsilnější signál vysílačů. Následně se odvodí potřebné úhly. Toto řešení se však nepoužívá, protože jsou pro tyto směrové antény nutné složité mechanické díly [13].

V praxi se používá systém matic s nasměrovanými anténami. Elektronicky se zde přepínají celé soubory antén nebo jednotlivé antény. V pozadí běžící program pak extrahuje z údajů úhly dopadu. Ve své podstatě se zde při určování úhlu využívá metody měření časového rozdílu a na základě toho se určí rozdíl fáze přijatých signálů od každé antény. Z těchto informací se odvodí potřebné úhly pro určení polohy triangulací.

## 3 DOSTUPNÉ SYSTÉMY

V oblasti lokalizace osob v budovách zatím není příliš výrobců, kteří se zabývají touto problematikou. V této kapitole jsou uvedeny tři nejznámější společnosti zabývající se problematikou lokalizace osob nebo předmětů v budově.

### 3.1 Systém Ekahau

Společnost Ekahau má vedoucí pozici v oblasti poskytování lokalizačních systémů založených na technologii Wi-Fi. Systém této společnosti sleduje pohyb věcí nebo lidí v reálném čase. Používá několik variant malých bateriově napájených tagů vyobrazených na obr. 9. Alternativně mohou pro sledování fungovat malá přenosná zařízení jako telefony, tablety nebo notebooky. Kontrolér WLAN tagu pošle data o síle signálu na server a tam jsou speciálním softwarem data zpracována. K tomu jsou schopny tagy vysílat informace o teplotě, stavu baterie nebo stisku tlačítka. K upřesnění polohy je možno doplnit systém o malý lokalizační vysílač [9].

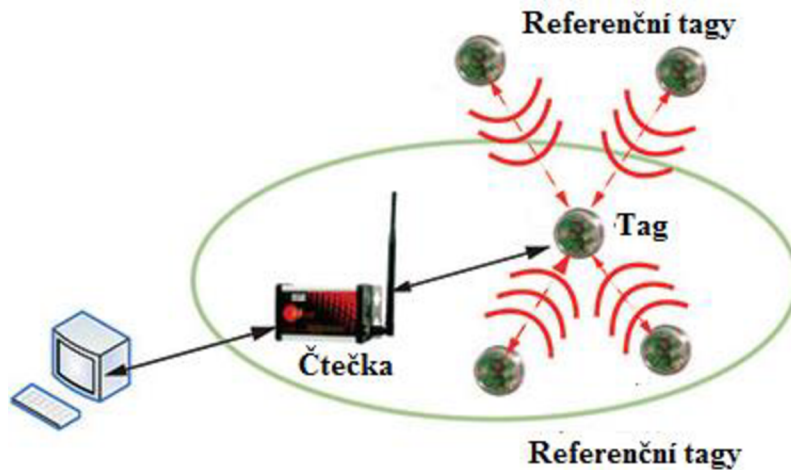


Obr. 9 Ekahau tagy [9]

### 3.2 AssetWorks

Systém pro určení polohy této firmy používá kombinaci základních technik lokalizace, především aktivní a pasivní RFID, triangulace a trilaterace. Využívá technologie Tag to Tag, kde tag nekomunikuje se čtečkami jako u klasického aktivního RFID, ale s referenčními tagy. Ty jsou napájeny také vlastní baterií. Princip, jak komunikují části tohoto systému, je uveden na obr. 10 [10].





Obr. 10 Diagram komunikace mezi částmi systému AssetWorks[10]

### 3.3 PLUS Location Systems

Tento systém využívá dvě technologie - zařízení založená na ultraširokopásmových vlnách jsou doplněna technologií bluetooth. Systém je tvořen malými bateriově napájenými tagy, které vysílají informace s frekvencí 1 až 50 Hz podle rychlosti pohybu sledovaného objektu, a soustavou síťových synchronizovaných čteček, které přijímají vyslané informace od jednotlivých tagů a odesílají tato data na server [15].

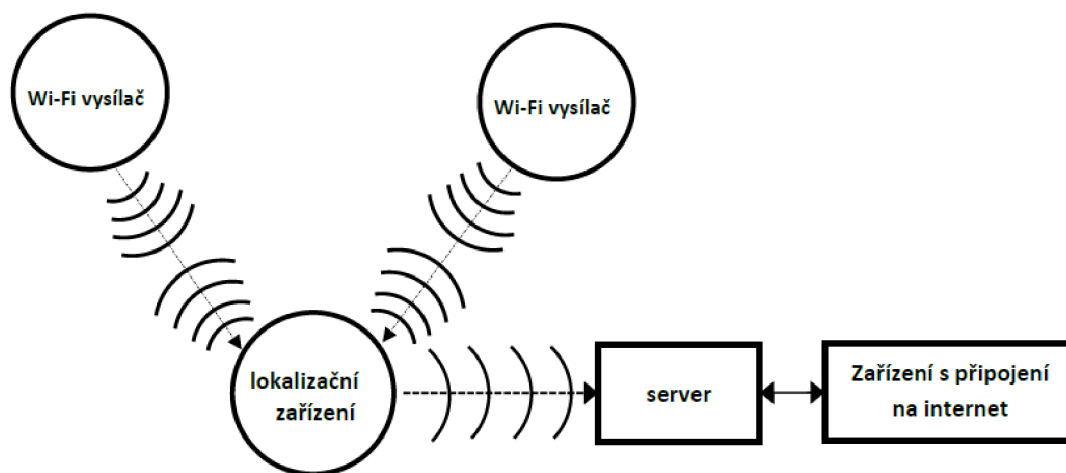
## 4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

V této kapitole je popsán návrh přenosného elektronického zařízení, které určí polohu v budově a zároveň tuto informaci odešle na webový server, ke kterému se lze připojit. Pomocí libovolného zařízení (mobilního telefonu, notebooku nebo tabletu) s Wi-Fi připojením je pak možné zjistit aktuální polohu.

Při návrhu zařízení pro určení polohy v budově musí být brány v úvahu i různé scénáře použití. Například člověk zabloudí v nepřehledné budově. Jiným scénářem je zásah integrovaných složek, kdy velitel zásahu potřebuje znát polohu zasahujících členů týmu v objektu. Dalším možným příkladem použití je sledování pacientů v nemocnicích, zde může sloužit i ke sledování jejich zdravotního stavu. Jinou možností je kontrola pohybu seniorů. Proto jsou na tato zařízení kladeny požadavky jak z hlediska přesnosti určení polohy, tak i použitelnosti.

Na základě předchozího rozboru byla zvolena technologie založená na technologii Wi-Fi, bude měřena vzdálenost lokalizačního zařízení od vysílačů na základě útlumu. Ta je doplněna systémem pro orientaci v budově, který měří směr pohybu. Toto řešení bylo zvoleno, protože při určování polohy pomocí Wi-Fi signálu není nutné obvykle vytvářet novou síť referenčních bodů a lze dosáhnout poměrně dobré přesnosti.

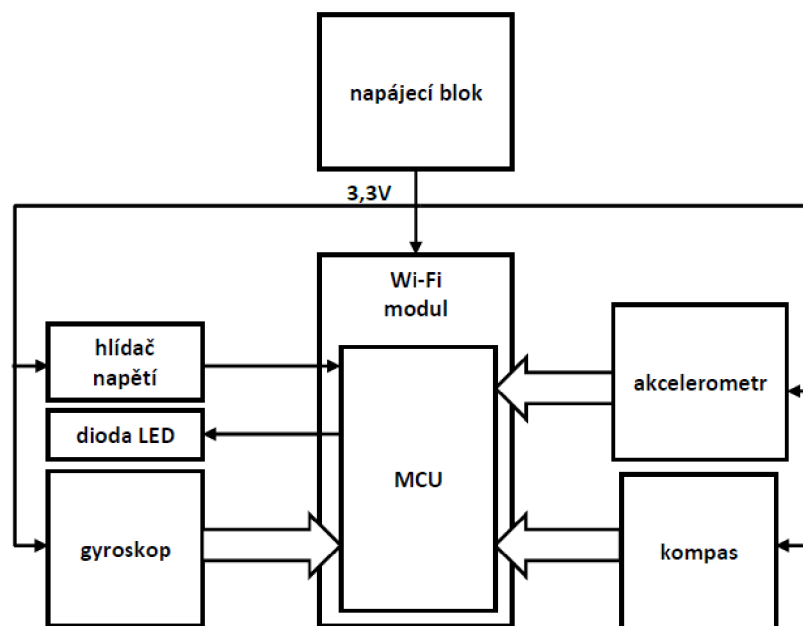
Na obr. 11 je vysvětleno, jak pracuje celý navržený systém, kde lokalizační zařízení měří útlum signálů Wi-Fi vysílačů a po zpracování je odesílá připojeným zařízením.



Obr. 11 Principiální schéma navrženého lokalizačního systému

Na obr. 12 je nastíněno blokové schéma samotného lokalizačního zařízení. Základem zařízení je mikrokontrolér, který je součástí Wi-Fi modulu. Mikrokontrolér komunikuje s elektronickým kompasem, následně získaná data zpracovává. K indikaci připojení dostatečného počtu referenčních bodů je k modulu připojena dioda LED. Celý Wi-Fi modul má na starosti komunikaci měření síly signálu a odesílání dat. Zařízení je napájeno baterií, jejíž napětí je stabilizováno na hodnotu 3,3 V.

Navržené zařízení však může pracovat v případě potřeby i jako referenční bod nebo jako krokoměr, pouze se změní software,



Obr. 12 Blokové schéma navrženého zařízení

## 4.1 Komponenty lokalizačního zařízení

V této kapitole jsou popsány komponenty použité v navrženém zařízení.

### 4.1.1 Wi-Fi modul

Pro konstrukci zařízení byl zvolen Wi-Fi modul ESP 8266 verze 12 od společnosti Espressif Systems. Hlavními přednostmi tohoto modulu jsou malé rozměry a nízká cena. Je vyráběn v několika verzích lišících se převážně provedením. Srdcem všech verzí modulu je čip, v němž je zabudován nízkopříkonový 32-bitový mikroprocesor pracující na frekvenci 80 MHz a Wi-Fi adaptér.

Protože lze zabudovaný mikroprocesor programovat jako jakýkoliv jiný, je současně použit i jako řídicí MCU pro navržené zařízení. Tato verze byla zvolena, protože jsou vyvedeny všechny použitelné vstupní/výstupní piny mikroprocesoru na pájecí plošky umístěné po obvodu modulu. K tomu podporuje několik základních sběrnic pro komunikaci s periferiemi I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, SPI a UART, dále podporuje PWM, dálkové ovládání založené na IR a obsahuje převodník A/D. K uložení programu nemá tento mikroprocesor svojí vlastní integrovanou FLASH paměť, proto je součástí Wi-Fi modulu i FLASH paměť pro ukládání programu. Velikost paměti je u většiny verzí 512 kB. Samotný modul má celkem 22 pájecích plošek pro připojení do systému, kromě vstupních/výstupních pinů má dva napájecí piny, jeden reset vstup aktivní v logické nule, jeden ADC vstup a dva piny pro sériovou komunikaci [16].

## 4.1.2 Elektronický akcelerometr a kompas

Pro navržené zařízení byly zvoleny obvody LSM303D a L3GD20H od firmy STMicroelectronics, které jsou založeny na technologii MEMS. Součástky byly zvoleny vzhledem k dostupnosti a úspoře místa na desce pro jejich kompaktní rozměry. V součástce LSM303 je integrován jak lineární 3D akcelerometr k měření tíhového zrychlení, tak i lineární 3D kompas. Součástka s typovým označením L3GD20H je elektronický gyroskop. Další výhodou těchto součástek je jejich přesnost měření veličin. K řídicímu mikrokontroléru je možno je připojit přes sběrnici I<sup>2</sup>C nebo SPI. Oba integrované obvody jsou k dispozici v pouzdru LGA s 16 vývody. Kromě napájecích pinů, mají tyto integrované obvody povolovací piny, na které je nutné připojit kladný potenciál, kterým se integrované obvody zapnou. Dále mají piny pro připojení sběrnice, k tomu mají pin SA0. Pin SA0 slouží k nastavení adresy integrovaných obvodů [17].

## 4.1.3 Napájecí blok

Tento blok obsahuje nabíjecí lithiumiontovou baterii, obvod pro nabíjení baterie, hlídač stavu baterie, přepínač a nízkoubytkový stabilizátor 3,3 V. Všechny komponenty byly vybrány s ohledem na odběr zařízení. Musí být bráno v úvahu, že Wi-Fi modul může odebírat proud až 200 mA. Napětí jednočlánkové lithiumiontové baterie je při plném nabití kolem 4,2 V, proto nelze zařízení napájet přímo z této baterie, ale musí zde být stabilizátor. Na tento stabilizátor jsou kladeny požadavky především z hlediska maximálního výstupního proudu, hodnoty napěťového úbytku a pouzdra. Byl zvolen stabilizátor MCP1825 určený pro bateriově napájené aplikace, tento stabilizátor má maximální výstupní proud 500 mA a má napěťový úbytek při maximálním výstupním proudu pouze 0,2 V. Je dodáván v pouzdru SOT-223 ve čtyřvývodovém provedení [19].

Použitá baterie má jmenovitou kapacitu 1000 mAh a jmenovité napětí 3,7 V. Tento typ baterie se dnes používá v malých přenosných zařízeních. Její malé rozměry jsou ideální pro navrhované zařízení. Protože je baterie k zařízení připojena napevno, je tento blok doplněn o obvod pro nabíjení baterie.

Zvolený obvod MCP73831T v pouzdru SOT-23 od společnosti Microchip Technology má vše potřebné integrované v sobě, pouze se na vstupní a výstupní pin připojí filtrační kondenzátory. Na další dva piny je připojen programovací odpor, kterým se nastavuje nabíjecí proud baterie v rozsahu od 15 do 500 mA. Hodnota rezistoru pro daný nabíjecí proud je

$$R_{PROG} = \frac{1000 V}{I_{REG}} . \quad (4.1)$$

V tomto vztahu je  $I_{REG}$  nabíjecí proud baterie a  $R_{PROG}$  je hledaná hodnota rezistoru. Pro proud 500 mA je výsledný odpor 2 k $\Omega$ . Na další pin se v případě potřeby připojí indikační diody LED, indikující nabití baterie [19].

K nabíjecímu zdroji se zařízení připojuje přes mini USB konektor typ B, aby bylo možné zařízení nabíjet univerzálními zdroji pro mobilní telefony nebo z USB portů počítačů. Přepínač slouží k přepínání napájení z baterie nebo z USB portu (nabíjení baterie). Dále je napájecí blok doplněn diodou LED indikující správnou funkci stabilizátoru a zároveň sloužící k neustálému zatížení stabilizátoru [19].

Tento blok zahrnuje kromě již vyjmenovaných částí také obvod, jenž kontroluje vstupní napájecí napětí na stabilizátoru. Tento obvod je zde připojen, aby odpojil celé zařízení v případě, kdy se baterie příliš vybijí na určitou mez a aby nedošlo k jejímu trvalému poškození. Dalším úkolem obvodu je ochrana proti připojení vyšších napětí nebo napětí s jinou polaritou. V navrženém zařízení je použit obvod LTC4365 v pouzdře TSOT-23 s osmi vývody od společnosti Linear Technology. Ten byl vybrán kvůli jeho malým rozměrům, malému počtu nutných externích součástek a možnosti nastavit přímo součástkami prahové hodnoty vypnutí napájení.

Ke správné funkci je nutné na pin GATE připojit řídicí elektrody dvou tranzistorů NMOS spojených v sérii. Těmito tranzistory je spínáno, nebo rozpináno přírodní napájecí napětí zařízení. Vstupní piny OV a UV jsou vstupy dvou komparátorů, kde vstup OV slouží k detekci vysokého napětí a UV nízkého napětí. Napětí je snímáno přes odporový dělič, protože se komparátory překlopí v případě, kdy je na vstupu OV nebo UV napětí 0,5 V. Tímto odporovým děličem se nastavují prahové hodnoty. Dalším pinem SHDN se kontroluje odpojení od napájecího napětí, výstup FAULT slouží, jako indikační v případě dosáhne-li vstupní napájení prahových hodnot. Další vstup V<sub>OUT</sub> slouží k nastavení vnitřní nábojové pumpy. Dále má běžné napájecí piny V<sub>IN</sub> a GND [20].

Hodnoty rezistorů v odporovém děliči zapojeném k LTC4365 je nutno vypočítat, podle potřebných prahových hodnot. Jako prahové hodnoty jsou zvoleny 2,9 V a 6 V. Napětí 2,9 V je považováno za napětí, na které se může lithiumiontová baterie bezpečně vybit, aniž by došlo k jejímu trvalému zničení. Hodnota 6 V je prahová, protože vyšší napětí by zničilo stabilizátor. Prvním krokem je výpočet součtu rezistorů R<sub>18</sub> a R<sub>19</sub> podle

$$R_{18} + R_{19} = \frac{U_{OS(UV)}}{I_{UV}}, \quad (4.2)$$

kde U<sub>OS(UV)</sub> je maximální toleranční ofset na vstupním pinu UV, pro rezistory s tolerancí ± 1 % to bývá přibližně 3 mV. Proud I<sub>UV</sub> je maximální proud, jenž může téci do vstupu UV, který výrobce udává 10 nA. Z těchto hodnot se získá hodnota součtu rezistorů 300 kΩ.

V druhém kroku se vypočítá hodnota rezistoru R<sub>20</sub> na základě prahové hodnoty při nízkém napětí baterie ze vztahu

$$R_{20} = (R_{18} + R_{19}) \times \left( \frac{UV_{TH} - 0,5}{0,5} \right). \quad (4.3)$$

V tomto vztahu je UV<sub>TH</sub> prahové napětí pro komparátor, který detekuje nízké napětí. Po dosazení do vzorce je hodnota rezistoru R<sub>20</sub> = 1,44 MΩ. Rezistory se však vyrábějí v hodnotách 1,43 MΩ a 1,47 MΩ, pro návrh je vhodnější zvolit vyšší hodnotu. Velikost rezistoru R<sub>18</sub> se určí

$$R_{18} = \frac{\left( \frac{U_{OS(UV)}}{I_{UV}} \right) + R_{20}}{OV_{TH}} \times 0,5. \quad (4.4)$$

Zde je OV<sub>TH</sub> maximální napětí, při kterém obvod vypne napájení. Výpočtem se získá hodnota 150 kΩ, to znamená, že když součet rezistorů R<sub>18</sub> a R<sub>19</sub> je 300 kΩ, hodnota rezistoru R<sub>19</sub> je také 150 kΩ.

Hlavním parametrem pro výběr externích tranzistorů pro obvod LTC4365 je jejich maximální proud drainem. Aby plnily svoji funkci při připojení napájecího napětí s jinou polaritou, musí mít integrovanou ochrannou diodu. Oba rezistory jsou totožné a byl zvolen typ IRLML62. Na obr. 13 je kompletní schéma napájecího bloku [20].

**Tato část není veřejná**

*Obr. 13 Schéma napájecího bloku*

#### 4.1.4 Hlídač napájecího napětí

Pro zajištění správného chodu modulu je nutné hlídat napájecí napětí. Jeho pracovní napětí je v rozmezí od 3 do 3,6 V, pokud napětí klesne pod mez 3 V, modul již nedokáže pracovat správně, proto je zařízení doplněno o hlídač napájecího napětí.

Tento obvod má za úkol, v případě poklesu napájecího napětí pod stanovenou mez, uvést mikrokontrolér v modulu do módu reset. Jako vhodný obvod byl vybrán MIC 6315. Tento obvod je dodáván v pouzdru SOT-143 se čtyřmi vývody, z toho dva piny jsou napájecí a zároveň měří napájecí napětí. Další vstupní pin slouží pro připojení tlačítka manuálního resetu modulu. Poslední pin je výstupní, je aktivní v nule, k tomuto výstupu je nutné připojit rezistor s hodnotou 10 k $\Omega$  připojený na napájecí napětí, protože na tento pin je v obvodu připojen unipolární tranzistor s otevřeným drainem. K zajištění přímé kontroly napájení modulu je tento obvod připojen na stabilizované napětí, v tomto případě, jakmile se baterie vybijí a na výstupu stabilizátoru bude nízké napětí, spustí se hlídač. Schéma zapojení hlídače je na obr. 14 [19].

**Tato část není veřejná**

*Obr. 14 Schéma zapojení hlídače napájecího napětí [19]*

## 4.2 Zapojení Wi-Fi modulu

**Tato část není veřejná**

Akcelerometr a gyroskop jsou připojeny k modulu přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Hlavní předností této sběrnice je, že je pouze dvou vodičová oproti sběrnici SPI, která je čtyřvodičová. Tím jsou ušetřeny vodiče na desce plošných spojů. Oba vodiče jsou na doporučení výrobce propojeny přes rezistor na napájecí napětí.

Mezi napájecími svorkami Wi-Fi modulu, akcelerometru a gyroskopu jsou připojeny páry kondenzátorů s hodnotami 100 nF a 10  $\mu$ F jako blokovací. Vstupní pin

SA0 je pevně připojen na kladný potenciál, a tím je nastavena adresa pro komunikaci. Aby mohl být modul programován na desce, je připojen na 6 pinový konektor. Schéma celého navrženého zařízení je na obr. 15.

**Tato část není veřejná**

*Obr. 15 Schéma zapojení Wi-Fi modulu a periférií*



### 4.3 Návrh desky plošných spojů

Při návrhu desky plošných spojů bylo bráno v úvahu především hledisko chlazení stabilizátoru a proudová zatížitelnost spojů na desce.

#### 4.3.1 Návrh chladiče stabilizátoru

Zde se ověřuje, jaká musí být plocha chladiče na desce plošných spojů, aby se stabilizátor dostatečně chladil. Základní podmínkou pro určení plochy chladiče je znalost ztrátového výkonu, který bude vyzářen jako teplo na stabilizátoru. Ten se určí podle

$$P_{D_{MAX}} = (U_{IN_{MAX}} - U_{OUT_{MIN}}) \times I_{LOAD_{MAX}} + U_{IN_{MAX}} \times I_{GND}, \quad (4.5)$$

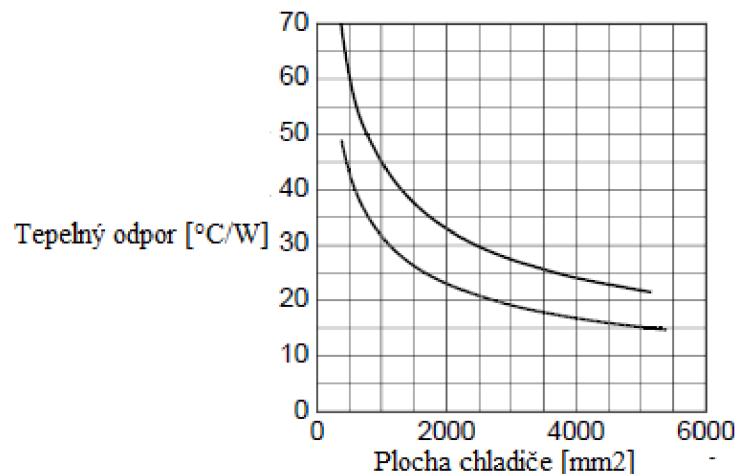
kde  $P_{D_{MAX}}$  je maximální ztrátový výkon, který může na stabilizátoru vzniknout. Napětí  $U_{IN_{MAX}}$  je maximální napětí, jaké se může objevit na vstupu stabilizátoru, to může být v USB portu až 5,25 V. Napětí  $U_{OUT_{MIN}}$  je minimální napětí na výstupu stabilizátoru. Proud  $I_{LOAD_{MAX}}$  je maximální proud procházející stabilizátorem a proud  $I_{GND}$  je proud, který protéká pinem GND stabilizátoru. Z katalogového listu se zjistí hodnoty  $U_{OUT_{MIN}}$  a  $I_{GND}$ . Proud  $I_{LOAD_{MAX}}$  je určen na základě spotřeby Wi-Fi modulu, kdy se zvolí větší hodnota k zajištění určité rezervy

$$P_{D_{MAX}} = (5,25 - 3,28) \times 0,3 + 5,25 \times 0,0002 = 0,6 \text{ W}. \quad (4.6)$$

Z tohoto výkonu se určí celkový tepelný odpor podle

$$\theta_{JA} = \frac{T_{J_{MAX}} - T_{A_{MAX}}}{P_{D_{MAX}}}, \quad (4.7)$$

kde  $\theta_{JA}$  je celkový tepelný odpor, maximální teplota přechodu obvodu  $T_{J_{MAX}}$  je u tohoto stabilizátoru 150 °C. Pracovní okolní teplota prostředí  $T_{A_{MAX}}$  je doporučena výrobcem 55 °C. Z těchto hodnot se vypočítá celkový tepelný odpor  $\theta_{JA} = 160 \text{ °C/W}$ . Podle grafu na obr. 16 je vidět, že při tomto vypočítaném tepelném odporu stačí pro chlazení stabilizátoru velikost pájecí plochy vývodu TAB [19].



Obr. 16 Závislost tepelného odporu na ploše desky plošných spojů [19]

### 4.3.2 Proudová zatížitelnost plošného spoje

Vše je podřízeno proudu tekoucího do Wi-Fi modulu a do baterie při nabíjení. U nabíjení teče do baterie proud až 500 mA. Z tohoto důvodu nelze použít stejně široký spoj jako u signálových spojů. Hlavním parametrem pro určení šířky spoje je tloušťka měděné vrstvy. Ta je zvolena podle dostupnosti u výrobců plošných spojů. Byla zvolena tloušťka 18  $\mu\text{m}$  a pro tuto tloušťku s odpovídajícím proudem je šířka vodiče přibližně 0,5 mm.

### 4.3.3 Navržený plošný spoj

Výsledná navržená deska plošných spojů je dvouvrstvá s rozměry 65 x 40 mm. Kvůli úspoře místa byly zvoleny základní součástky v pouzdrech 0805 a součástky jsou umístěné na obou stranách desky. K zajištění co nejmenšího vyzařování nežádoucích signálů jsou po okraji prokovy. Deska je vybavena otvory pro montáž do krabičky. Výsledný motiv strany top je na obr. 17.

**Tato část není veřejná.**

*Obr. 17 Navržená deska plošných spojů ze strany TOP*

## **5 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ**

**Tato část není veřejná.**

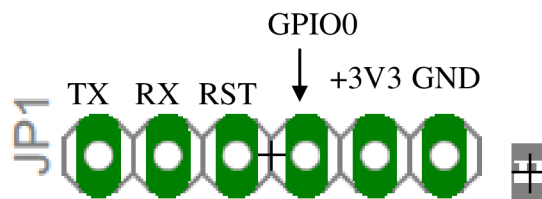
**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

## 5.1 Nahrání programu

Tento modul bývá již z výroby vybaven firmwarem, avšak s tímto firmwarem nemůže pracovat samostatně, musí k němu být připojena řídicí jednotka, jako mikrokontrolér nebo počítač a je řízen pomocí AT příkazů. Proto se do něj musí nahrát nový bootloader, aby bylo možno plně využít možnosti integrovaného mikrokontroléru. Přestože tento modul podporuje několik rozhraní, tak v základním režimu komunikuje pouze po sériové lince. Přes toto rozhraní lze nahrát nový firmware nebo přímo programovat tento modul. Je několik řešení, jež lze použít pro přeprogramování modulu, může se použít prostředí přímo od výrobce tohoto modulu nebo firmy NodeMCU či Arduino. V tomto případě bylo zvoleno prostředí Arduino, protože je uživatelsky nejpřívětivější a má velkou podporu od výrobce a uživatelů. Postup nahrání programu nebo nového firmwaru je pro všechna prostředí a pro jiné verze modulů stejný.

Navržené lokalizační zařízení má za tímto účelem šestipinový programovací konektor, popis pinů je na obr. 21. Kromě vyvedené sériové linky a napájení jsou zde vyvedeny piny modulu RST a GPIO0. Před samotným naprogramováním je nutné připojit pin GPIO0 na zem, tím se nastaví do programovacího režimu, jinak je na tomto vstupním pinu nastavena logická jednička. Po naprogramování je nutné pin GPIO0 odpojit od země a uvést modul do modu reset. To je možné buď odpojením napájení, nebo připojením pinu RST na zem. Po resetu začne modul normálně pracovat s nahaným programem.



Obr. 21 Rozložení pinů na programovacím konektoru lokalizačního zařízení

## 5.2 Programové struktury

Hlavními programovými strukturami je měření vzdálenosti na základě síly signálu a trilaterace pro tři a čtyři referenční body.

### 5.2.1 Měření vzdálenosti

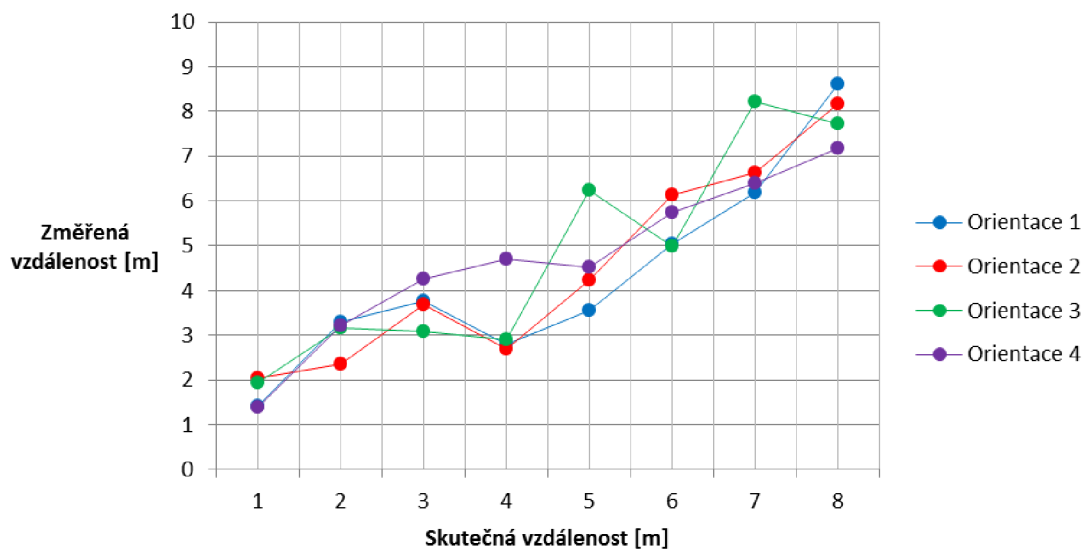
K tomuto účelu je v programu vytvořena funkce, viz příloha B.2, která používá vzorec pro výpočet vzdálenosti na základě útlumu podobný vzorci 2.2. Vstupní parametry, ze kterých funkce vypočítá vzdálenost, jsou označeny  $rssi$  a  $n$ . Na místo  $rssi$  se přiřadí aktuálně změřený útlum a na místo  $n$  se přiřadí exponenciální koeficient pro šíření Wi-Fi signálu v budově. Výsledný vzorec je

$$d = 10^{\left(\frac{P_0 - F_m - P_r - 10 \times n \times \log(f) + 30 \times n - 32,44}{10 \times n}\right)}, \quad (5.1)$$

kde je  $d$  hledaná vzdálenost, změřený útlum při nulové vzdálenosti od vysílače je označen  $P_0$ . Další proměnnou označenou  $F_m$  je rozdíl mezi změřeným útlumem a citlivostí Wi-Fi přijímače, ten bývá pro členěnou budovu 10. Změřená hodnota útlumu je  $P_r$ . Koeficient  $n$  má stejný význam jako v předchozím vzorci. Frekvence Wi-Fi signálu je označena  $f$  v jednotkách kHz [21].

Tomuto procesu musí být věnována velká pozornost, protože podle přesnosti změření vzdálenosti je se stejnou přesností určená poloha v budově. Na přesnost měření může mít vliv několik faktorů jako členitost prostředí, velikost místností, typ použitých vysílačů nebo i orientace zařízení. Proto se provedla kontrolní měření, jak přesně dokáže navržené zařízení určovat vzdálenost.

Na obr. 22 je závislost změřené vzdálenosti od vysílače na skutečné vzdálenosti, byl použit jako vysílač další Wi-Fi modul. Toto měření proběhlo v běžném domě ve vzdálenostech v rozmezí od 1 metru do 8 metrů přes dvě spojené místnosti. Měřilo se při různém nasměrování lokalizačního zařízení, aby se zjistil vliv orientace zařízení na měření. Modrým průběhem je označeno měření, které probíhalo při takové orientaci lokalizačního zařízení, kdy modul na desce byl orientován svisle (delší strana lokalizačního modulu je rovnoběžná s podlahou) a antény obou modulů byly proti sobě. Červený průběh zobrazuje změřené hodnoty při stejné orientaci, ale antény modulů byly k sobě kolmé. Ve třetím případě byl modul orientován tak, že kratší strana lokalizačního zařízení byla rovnoběžná s podlahou, změřená závislost má zelenou barvu. Nakonec byl modul natočen tak, že strana bottom modulu byla namířena na vysílač. Vysílací modul vždy směřoval k lokalizačnímu zařízení.



Obr. 22 Změřená vzdálenost při použití vysílacího modulu

Pro vyobrazenou závislost změřené vzdálenosti na skutečné byl použit koeficient šíření Wi-Fi signálu v prostředí  $n = 3$ . K této hodnotě se došlo experimentálním zkoušením, při kterém se tento koeficient optimalizoval. V případě, kdy byl koeficient zvolen větší nebo menší než 3, rozdíl mezi skutečnou a změřenou vzdáleností byl při určitých vzdálenostech menší, ale u jiných zase příliš velký. Výsledkem je maximální rozdíl  $\pm 1,5$  m. Jednotlivé vzdálenosti byly odvozeny z průměrů deseti změřených hodnot útlumů na každé pozici a při každé orientaci lokalizačního zařízení. Z grafu je patrné, že se naměřené hodnoty poměrně měnily v závislosti na poloze lokalizačního

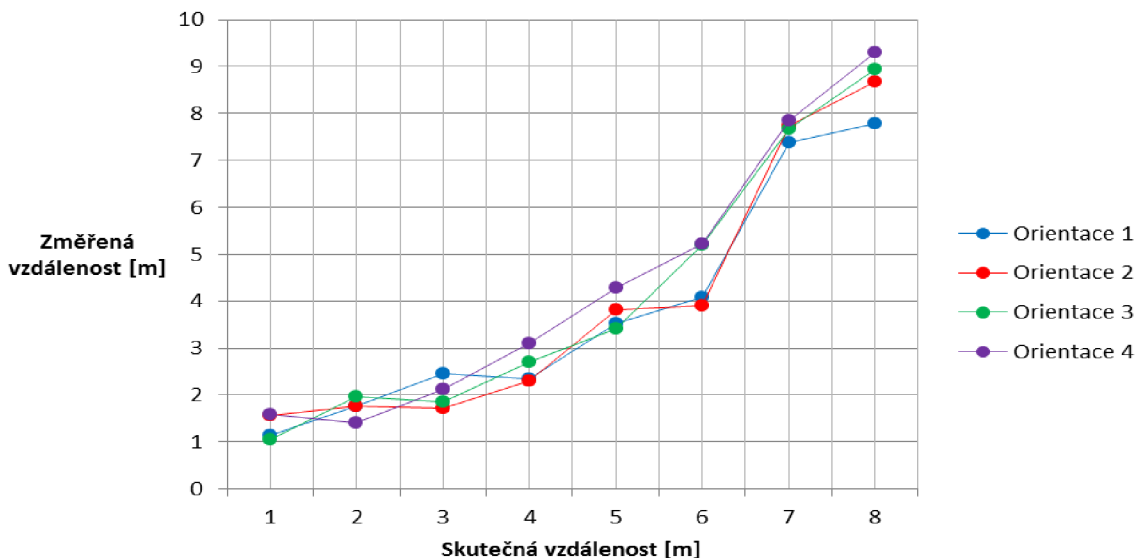
zařízení. Největší rozdíly byly právě u předposlední orientace, hlavní vliv na to má pravděpodobně vysílací modul, kvůli jeho anténě s malým výkonem.

V tab. 1 jsou naměřené průměrné hodnoty útlumů a jejich směrodatné odchylky. Z nich vyplývá, že útlum je poměrně proměnlivý, nejmenších odchylek je dosaženo v relativní blízkosti, avšak ve větších vzdálenostech je proměnlivější.

Tab. 1 Změřené průměrné útlumy a jejich směrodatné odchylky pro vysílací modul

Skutečná vzdálenost [m]	Průměrný útlum - orientace 1 [dBm]	$\delta_1$ [dBm]	Průměrný útlum - orientace 2 [dBm]	$\delta_2$ [dBm]	Průměrný útlum - orientace 3 [dBm]	$\delta_3$ [dBm]	Průměrný útlum - orientace 4 [dBm]	$\delta_4$ [dBm]
1	-35,5	0,8	-40,2	0,7	-39,4	0,5	-35,1	0,8
2	-46,4	1,3	-42,0	0,8	-45,8	0,6	-46,1	0,7
3	-48,1	0,5	-47,8	0,6	-45,5	1,2	-49,7	1,4
4	-44,3	0,5	-43,7	0,8	-44,7	0,6	-51,0	0,8
5	-47,4	0,8	-49,6	0,7	-54,7	0,8	-50,5	0,9
6	-51,9	1,3	-54,5	1,9	-51,8	0,4	-53,6	1,2
7	-54,6	1,3	-55,5	0,9	-58,3	3,0	-55,0	1,3
8	-58,9	2,5	-58,2	1,6	-57,5	0,9	-56,5	2,0

Běžně se však používají Wi-Fi vysílače s klasickou všesměrovou anténou. V tomto případě byl použit modem ZyXEL 660. Měření probíhalo za stejných podmínek jako v předchozím případě. Výsledný průběh je na obr. 23. Vzdálenosti změřené lokalizačním zařízením při různé orientaci jsou i stejně označeny.



Obr. 23 Průběh změřených vzdáleností při použití běžného vysílače

V tomto případě zřejmě docházelo více k odrazům od stěn budovy, a to mírně zhoršovalo výsledky měření útlumu. Vliv orientace lokalizačního zařízení už nemá na útlum takový vliv.

Experimentální metodou se došlo k závěru, že pro toto vyhodnocení vzdálenosti byl použit koeficient  $n$  o velikosti 3. U tohoto typu vysílače došlo k největší nepřesnosti



ve vzdálenosti 6 m, kde je nepřesnost přibližně  $\pm 2,1$  m, dále už chyba není taková a pohybuje se kolem  $\pm 1,7$  m.

I zde se změřil soubor deseti hodnot útlumu na každé pozici a při všech orientacích. V tab. 2 jsou změřené hodnoty a směrodatné odchylky změřených útlumů. Ze směrodatných odchylek vyplývá, že útlum je o něco méně stabilní, než útlum vysílacího modulu.

Tab. 2 Změřené průměrné hodnoty a směrodatné odchylky routeru ZyXEL 660

Skutečná vzdálenost [m]	Průměrný útlum – orientace 1 [dBm]	$\delta_1$ [dBm]	Průměrný útlum – orientace 2 [dBm]	$\delta_2$ [dBm]	Průměrný útlum – orientace 3 [dBm]	$\delta_3$ [dBm]	Průměrný útlum - orientace 4 [dBm]	$\delta_4$ [dBm]
1	-32,6	1,3	-36,7	2,4	-31,6	0,5	-36,8	0,9
2	-38,2	0,6	-38,2	1,2	-39,6	0,5	-35,3	0,8
3	-42,6	1,2	-37,9	2,2	-38,9	0,8	-40,7	0,9
4	-41,9	0,5	-41,7	1,8	-43,8	0,9	-45,6	0,5
5	-47,3	0,9	-48,3	0,8	-46,8	0,6	-49,8	0,7
6	-49,2	2,7	-48,6	1,4	-52,3	1,5	-52,4	1,3
7	-56,9	0,9	-57,5	0,7	-57,4	1,4	-57,7	1,0
8	-57,6	0,8	-59,0	3,7	-59,4	0,7	-59,9	0,7

## 5.2.2 Trilaterace

Trilaterační proces vypočítá souřadnice lokalizačního zařízení na základě známých souřadnic referenčních bodů a jejich vzdáleností. Pracuje tak, že využívá soustavy matic. První matice označena  $A$  s rozměry  $N-1 \times 2$  ( $N$  je počet referenčních bodů) se sestaví

$$A = -2 \times \begin{bmatrix} x_1 - x_N & y_1 - y_N \\ \vdots & \vdots \\ x_{N-1} - x_N & y_{N-1} - y_N \end{bmatrix}. \quad (5.2)$$

Zde  $x_i$  a  $y_i$  jsou souřadnice prvního referenčního bodu, ty se odečtou od souřadnice posledního referenčního bodu. Další řádek se vypočítá stejným způsobem, pouze se použijí souřadnice dalšího bodu, dokud se neodečítají souřadnice předposledního a posledního bodu. Z toho vyplývá, že pro trilateraci tří bodů bude tato matice mít rozměr  $2 \times 2$  a pro čtyři referenční body bude mít rozměr  $3 \times 2$ .

Druhou matici, která se sestavuje, je matice označená  $b$ , která má rozměry  $N-1 \times 1$ . Ta je určena

$$b = \begin{bmatrix} d_1^2 - x_1^2 - y_1^2 - d_N^2 + x_N^2 + y_N^2 \\ \vdots \\ d_{N-1}^2 - x_{N-1}^2 - y_{N-1}^2 - d_N^2 + x_N^2 + y_N^2 \end{bmatrix}, \quad (5.3)$$

kde je  $d$  označení vzdálenosti od daných bodů a postup je shodný, jako při tvorbě předchozí matice. Po sestavení těchto matic se už proces vypočítá pomocí běžných

matematických operací souřadnice. Vzorce pro výpočet se však liší pro tři a pro čtyři referenční body. Poloha na základě tří referenčních bodů je vypočítána podle

$$p = A^{-1} \times b. \quad (5.4)$$

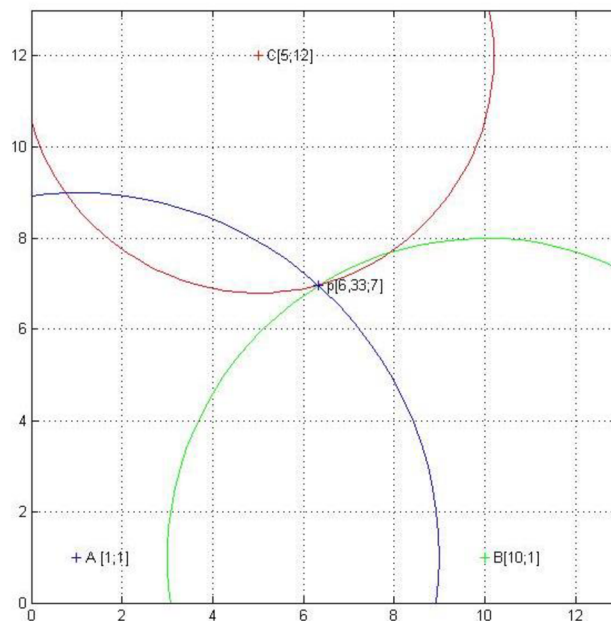
V tomto vztahu znamená  $A^{-1}$  inverzní matici k matici  $A$  a  $b$  je již sestavená matice. Z tohoto součinu se získá matice  $p$  o rozměrech  $2 \times 1$ . V prvním řádku výsledné matice je hledaná  $x$  souřadnice a v druhém řádku  $y$  souřadnice. Proces trilaterace pro tři referenční body je v příloze B.3.

Výpočet souřadnic ze čtyř referenčních bodů už je složitější, v tomto případě se pozice vypočítá takto

$$p = (A^T \times A)^{-1} \times A^T \times b. \quad (5.5)$$

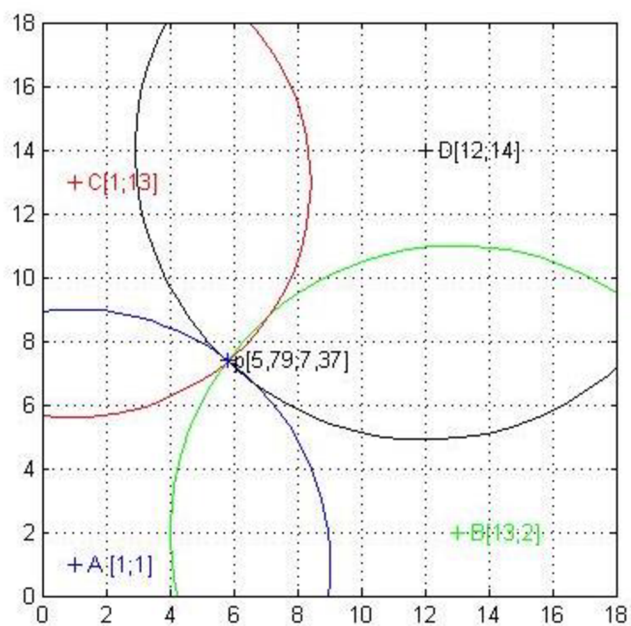
Zde  $A^T$  znamená transponovaná matice  $A$ . Program výpočet pozice je v příloze B.4 [22].

Simulace tohoto procesu je na obr. 24. Jsou známy tři body A, B, C. První bod A má souřadnice [1;1], druhý má souřadnice [10;1] a poslední má souřadnice [5;12]. Vzdálenosti neznámého bodu od jednotlivých referenčních bodů jsou  $d_A = 8$  m,  $d_B = 7$  m a  $d_C = 5,2$  m. Pak je výsledná pozice  $p$  [6,33;7].



Obr. 24 Simulace trilaterace pro tři referenční body

Simulace procesu trilaterace pro čtyři referenční body je na obr. 25. Souřadnice referenčních bodů jsou A [1;1], B [13;2], C [1;13], D [12;14]. A hledaný bod je vzdálen od referenčních bodů  $d_A = 8$  m,  $d_B = 9$  m,  $d_C = 7,4$  m a  $d_D = 9,1$  m. Z toho se určí, že souřadnice hledaného bodu jsou  $p$  [5,79;7,37].



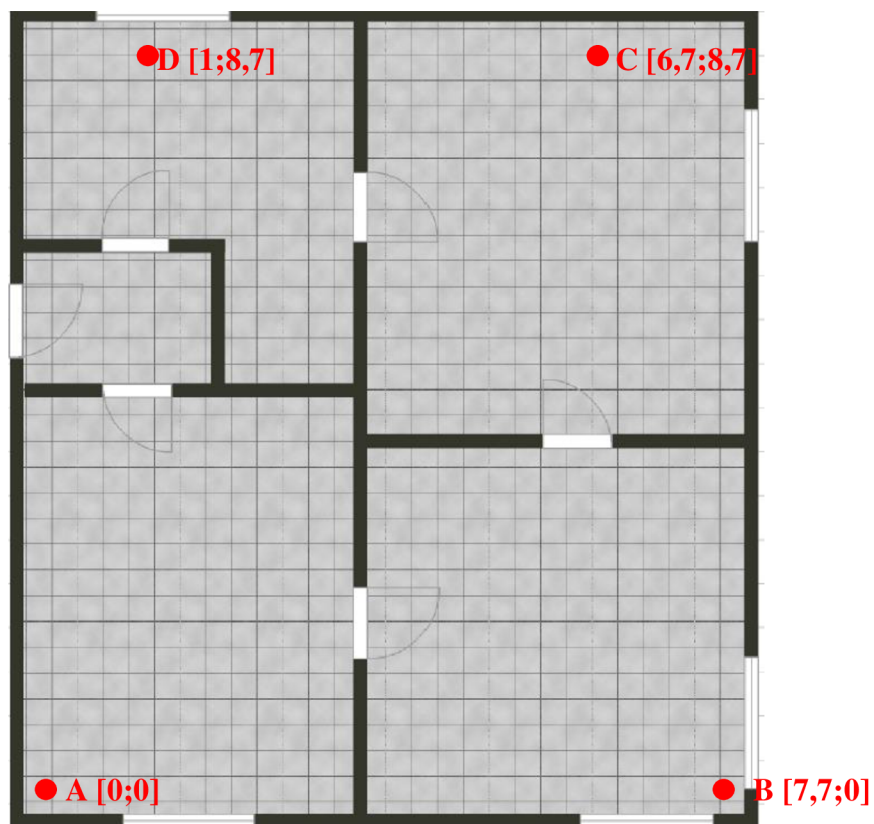
Obr. 25 Simulace trilaterace pro čtyři referenční body

### 5.2.3 Další programové struktury

**Tato část není veřejná.**

## 6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI ZAŘÍZENÍ

Celá tato kapitola je věnována ověření funkčnosti lokalizačního zařízení. Bylo testováno především to, jak přesně dokáže toto zařízení určit polohu na základě útlumu Wi-Fi signálu. Za tímto účelem byly v budově s půdorysem vyobrazeným na obr. 26 umístěny ve výšce 1,5 m nad podlahou referenční body na zobrazených souřadnicích. Rozložení referenčních bodů bylo zvoleno tak, aby bylo rozmístění Wi-Fi vysílačů rovnoměrné a lokalizační zařízení se nacházelo vždy uvnitř tohoto uskupení. Půdorys budovy má rozměry 8 x 9 m s tloušťkou zdi 15 cm. Byly použity tři Wi-Fi moduly označeny A, B a C a jeden Wi-Fi router označen D. V tomto stejném prostředí bylo testováno i měření vzdálenosti lokalizačním zařízením.



Obr. 26 Půdorys budovy

**Tato část není veřejná.**

Tato část není veřejná.

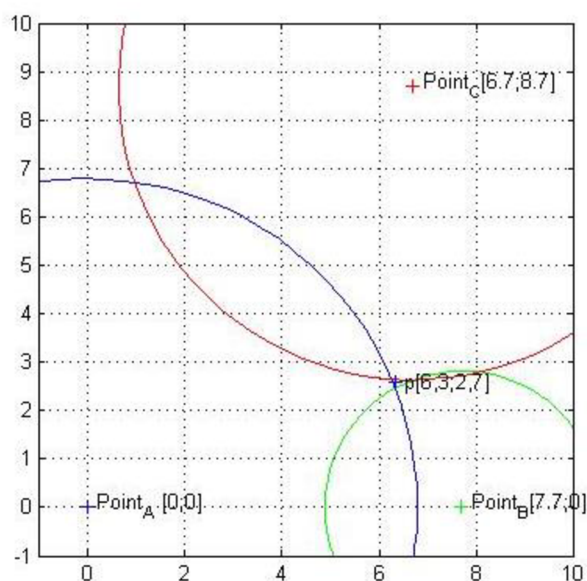
## 6.1 Určení polohy se třemi referenčními body

U tohoto testu se použily pouze referenční body A, B a C, čtvrtý bod D byl vypnut. Bylo změřeno pět po sobě jdoucích hodnot na pěti různých pozicích. Výsledné hodnoty jsou v tab. 3. Naměřené hodnoty ukazují, že odchylky od průměrných hodnot jsou malé. Ojedinele je chyba větší než  $\pm 2$  m, jinak je ve většině případů menší.

Tab. 3 Změřené pozice při použití tří referenčních bodů

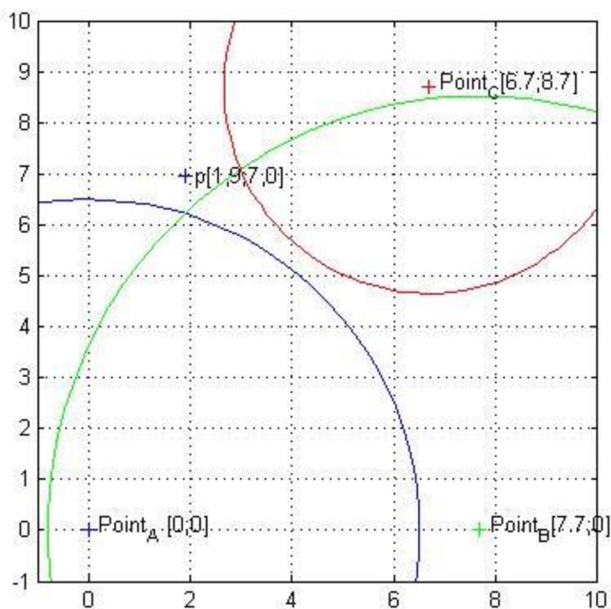
Skutečná poloha [m]	1. měření [m]	2. měření [m]	3. měření [m]	4. měření [m]	5. měření [m]	Průměrné hodnoty [m]	Směrodatná odchylka [m]
x=1,0 y=3,0	x=1,9 y=4,2	x=2,0 y=3,9	x=1,9 y=4,2	x=1,7 y=4,5	x=1,6 y=4,1	x $\approx$ 1,8 y $\approx$ 4,1	$\delta x=0,2$ $\delta y=0,2$
x=5,0 y=1,0	x=6,3 y=2,7	x=6,0 y=3,3	x=6,5 y=2,8	x=5,7 y=2,8	x=6,1 y=3,0	x $\approx$ 6,1 y $\approx$ 2,9	$\delta x=0,3$ $\delta y=0,2$
x=6,0 y=2,5	x=6,5 y=4,3	x=6,9 y=4,3	x=6,5 y=4,2	x=7,0 y=3,9	x=7,6 y=4,1	x $\approx$ 6,9 y $\approx$ 4,1	$\delta x=0,4$ $\delta y=0,2$
x=6,0 y=5,0	x=5,9 y=5,6	x=5,6 y=5,7	x=7,9 y=5,5	x=7,9 y=5,4	x=7,6 y=4,1	x $\approx$ 7,0 y $\approx$ 5,5	$\delta x=1,1$ $\delta y=0,1$
x=1,5 y=7,0	x=1,1 y=8,3	x=0,4 y=8,6	x=1,9 y=7,0	x=2,3 y=7,6	x=0,1 y=7,0	x $\approx$ 1,2 y $\approx$ 7,8	$\delta x=0,8$ $\delta y=0,6$

Na obr. 27 je vyobrazení trilaterace pro výslednou polohu  $x = 6,3$  m a  $y = 2,7$  m, u které byla reálná pozice  $x = 5$  m a  $y = 1$  m. Lokalizační zařízení změřilo tyto vzdálenosti  $d_A = 6,79$  m,  $d_B = 2,82$  m a  $d_C = 6,07$  m. Zde je chyba určena hlavně přesností změření vzdálenosti.



Obr. 27 Trilaterace změřené pozice  $x = 6,3$  m a  $y = 2,7$  m.

Trilaterace jako výpočetní technika dokáže vypočítat polohu, přestože se všechny kružnice neprotínají, a určí pozici s dobrou přesností. Příklad tohoto jevu je zachycen na obr. 28, kde je vyobrazena trilaterace pro změřenou pozici  $x = 1,9$  m a  $y = 7,0$  m. Tato pozice byla vypočítána ze změřených vzdáleností  $d_A = 6,50$  m,  $d_B = 8,52$  m a  $d_C = 4,05$  m. Reálná pozice byla  $x = 1,5$  m a  $y = 7,0$  m.



Obr. 28 Trilaterace změřené pozice  $x = 1,9$  m a  $y = 7,0$  m

## 6.2 Určení polohy se čtyřmi referenčními body

V testu byly použity všechny dostupné referenční body A, B, C a D. Postup měření byl stejný jako u měření se třemi referenčními body. V tab. 4 jsou naměřené hodnoty.

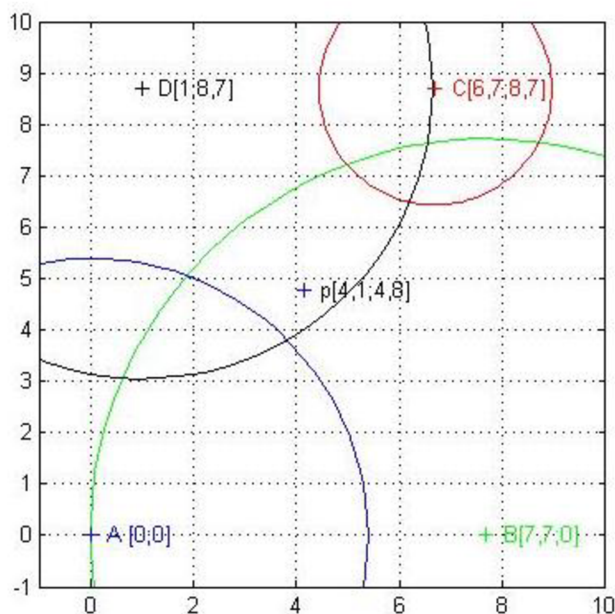
Tab. 4 Změřené pozice při použití čtyř referenčních bodů

Skutečná poloha [m]	1. měření [m]	2. měření [m]	3. měření [m]	4. měření [m]	5. měření [m]	Průměrné hodnoty [m]	Směrodatná odchylka [m]
x=2,0 y=2,0	x=3,5 y=2,9	x=3,4 y=3,5	x=3,6 y=3,5	x=3,6 y=3,3	x=3,5 y=3,5	x≈3,5 y≈3,3	$\delta x=0,1$ $\delta y=0,3$
x=6,0 y=2,0	x=5,6 y=3,3	x=5,8 y=3,3	x=5,6 y=3,4	x=5,6 y=3,6	x=5,3 y=3,6	x≈5,6 y≈3,4	$\delta x=0,2$ $\delta y=0,1$
x=5,0 y=6,0	x=4,0 y=6,4	x=5,4 y=6,2	x=4,6 y=6,5	x=4,0 y=6,8	x=4,1 y=4,8	x≈4,4 y≈6,1	$\delta x=0,6$ $\delta y=0,7$
x=1,5 y=7,0	x=1,6 y=6,2	x=0,2 y=8,2	x=1,6 y=7,2	x=1,6 y=6,2	x=1,3 y=7,2	x≈1,3 y≈7,0	$\delta x=0,6$ $\delta y=0,8$
x=6,0 y=6,0	x=7,2 y=5,3	x=7,5 y=5,8	x=7,2 y=5,2	x=6,8 y=4,8	x=7,5 y=4,3	x≈7,2 y≈5,0	$\delta x=0,2$ $\delta y=0,5$

Při použití čtyř referenčních bodů se přesnost ještě více zlepšila. U žádné ze změřených pozic již chyba není větší než  $\pm 2$  m. Došlo i ke zlepšení stálosti změřených pozic, směrodatné odchylky jsou menší než lokalizace se třemi referenčními body. To je

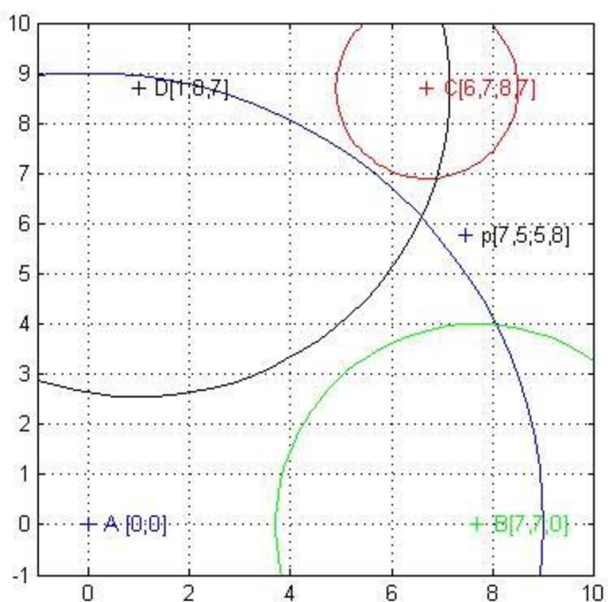
způsobeno vlastnostmi trilaterálního procesu. Čím více je referenčních bodů, tím je lokalizace přesnější, je však matematicky náročnější.

Příklad, jak dokáže zmenšovat chybu lokalizace je na obr. 29. V tomto případě je výsledná pozice  $x = 4,1$  m a  $y = 4,8$  m zjištěná ze změřených vzdáleností od jednotlivých bodů  $d_A = 5,39$  m,  $d_B = 7,72$  m,  $d_C = 2,27$  m a  $d_D = 5,65$  m. Ale v případě použití trilaterace pouze pro tři body a při vynechání například bodu D, by lokalizační zařízení v tomto případě určilo polohu  $x = 1,9$  m a  $y = 7,48$  m. Při stejné skutečné poloze  $x = 5$  m a  $y = 6$  m.



Obr. 29 Trilaterace změřené pozice  $x = 4,1$  m a  $y = 4,8$  m

Další příklad jak dokáže tato metoda vyhodnocovat pozici, je na obr. 30. Zde byly naměřeny vzdálenosti  $d_A = 9,48$  m,  $d_B = 4,96$  m,  $d_C = 1,80$  m a  $d_D = 6,15$  m a z těchto vzdáleností určená poloha  $x = 7,5$  m a  $y = 5,8$  m. Reálná pozice byla  $x = 6$  m a  $y = 6$  m.



Obr. 30 Trilaterace změřené pozice  $x = 7,5$  m a  $y = 5,8$  m

## 7 VIZUALIZACE ZMĚŘENÝCH DAT

Samotné souřadnice nebo úhel uživateli mnoho neřeknou, a proto je žádoucí tato data odeslaná na server nějakým způsobem vykreslovat. Za tímto účelem byla pro ukládání dat použita platforma ThingSpeak od společnosti MathWorks. Tato platforma umožňuje ukládání, zobrazování dat a provádění matematických operací. Hlavní výhodou tohoto řešení je možnost zobrazení dat na jakémkoliv zařízení, které má přístup k internetu. Ale aby bylo možno tyto služby využívat, je nutné si zde vytvořit zdarma účet.

Data odeslaná z lokalizačního zařízení se na tento server do jednotlivých polí ukládají pod určitým vygenerovaným identifikačním číslem. Toto číslo slouží k nasměrování na uložená data. Aby bylo možné uložená data číst nebo přepisovat, je potřeba ještě znát vygenerované API klíče, jeden slouží pro čtení a druhý pro zápis.

ThingSpeak poskytuje celkem dvě možnosti jak data vykreslovat. První možností je použití již připravených grafů přímo od MathWorks. Tyto grafy však dokážou pouze vykreslovat jednotlivé veličiny v závislosti na čase. Druhou možností je vytvoření vlastní aplikace, která by data na tomto serveru zpracovávala. Tato možnost je zde použita.

Tyto aplikace se vytváří v jazyku JavaScript, který se vkládá jako součást XML kódu webové stránky. JavaScript je podobný jazyku XML, ale na rozdíl od něj tento jazyk umožňuje, relativně snadno, vytvářet jakékoliv grafické aplikace. Vytvořené aplikace tak jsou spouštěny přímo v internetovém prohlížeči. Aplikace je označena v těle XML kódu `<script type="text/javascript">` a `</script>`, mezi tyto závorky se následně píše syntaxe JavaScriptu [25], [26].

### 7.1 Vytvoření zobrazovací aplikace

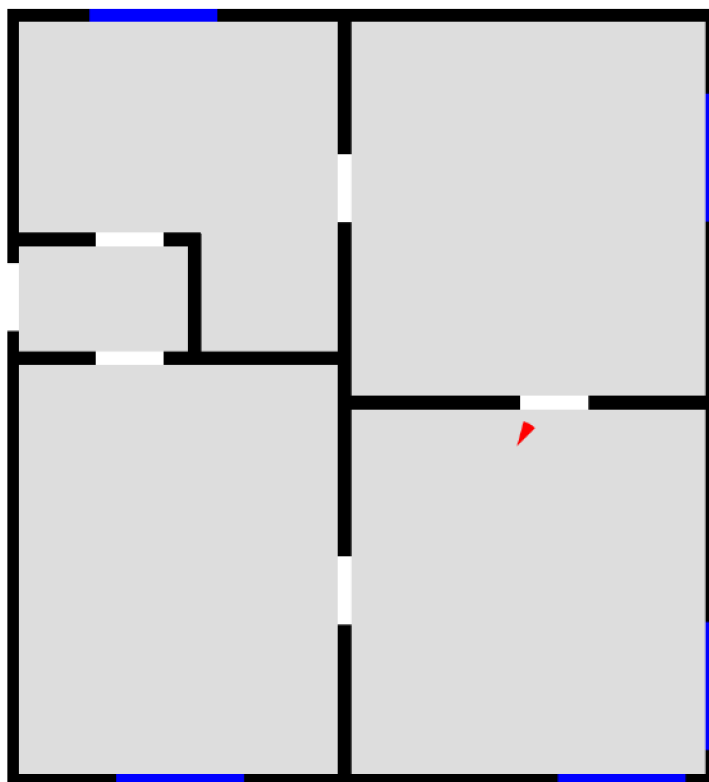
**Tato část není veřejná.**



**Tato část není veřejná.**

## 7.2 Grafická podoba lokalizačního systému

Na obr. 32 je vyobrazení grafického prostředí lokalizačního systému při změřené poloze  $x = 5,6$  m,  $y = 3,6$  m a při orientaci směřované přímo na sever. Měřítko této mapy je 1 cm na 1 pixel. Půdorys se vykresluje na základě proměnné určující patro.



*Obr. 32 Mapa lokalizačního systému*

V mapě jsou barevně odlišeny stěny, okna, dveře a poloha. Stěny jsou označeny černou barvou, okna modrou a dveře bílou. Pozice je vykreslena červeným trojúhelníkem, jehož vrchol označuje natočení lokalizačního zařízení.

System vždy zobrazuje poslední zjištěnou polohu, i v případě, že je lokalizační zařízení v režimu spánku. Ale současně, jakmile přijde nově změřená pozice na server, je ihned zobrazena.

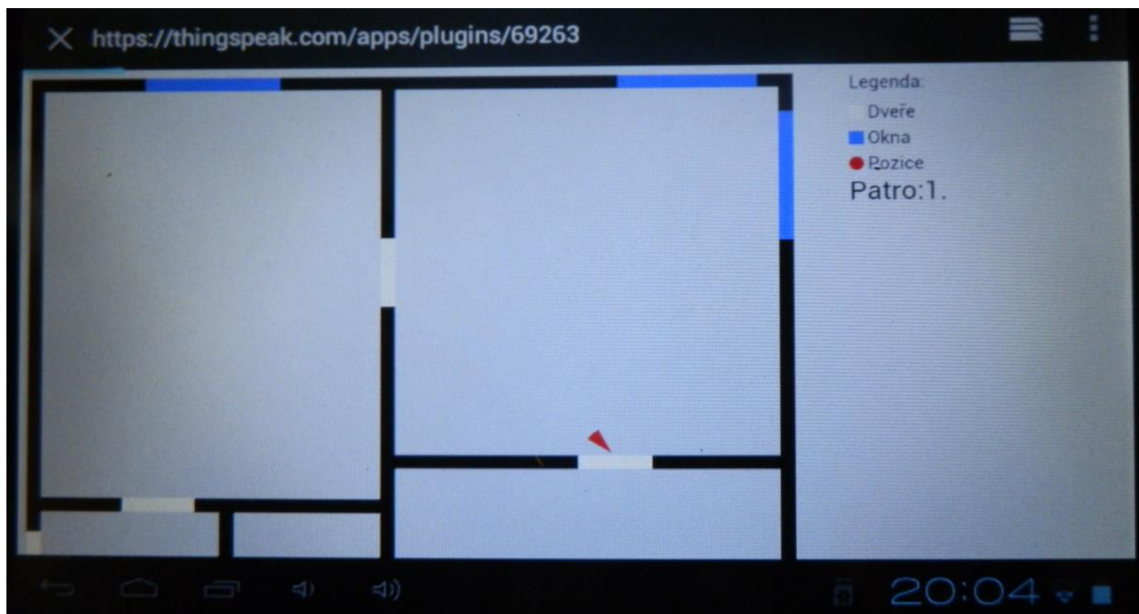
Data zůstávají uložena na serveru po dobu jednoho měsíce. Tato data je možné stáhnout a poté libovolně vykreslovat v různých programech.

### 7.3 Pomocná aplikace

Přístup na vytvořenou aplikaci je poměrně zdlouhavý. Uživatel se musí nejdříve přihlásit a pak projít různými rozcestníky. Na běžném osobním počítači je to relativně snadné, ale na mobilním telefonu už je to složitější. Z toho důvodu byla vytvořena aplikace Wipoz\_SDK pro mobilní telefony s operačním systémem Android.

Tato aplikace umožňuje okamžité připojení na server a zobrazení mapy s polohou lokalizačního zařízení.

Práce s touto aplikací je jednoduchá. Před spuštěním aplikace musí mít telefon zapnutý přístup k internetu. Po instalaci ji stačí spustit a potvrdit tlačítkem „Zjistí pozici“. Posléze tato aplikace spustí nainstalovaný internetový prohlížeč a přejde přímo na mapu s polohou. Grafické prostředí aplikace je na obr. 33.



Obr. 33 Prostředí aplikace pro mobilní telefony

## 8 KONSTRUKCE LOKALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Na obr. 34 je výsledné lokalizační zařízení s připojenou baterií zakomponované do plastové krabičky. Vyrobená deska má pro snadné pájení povrchovou úpravu z imerzního zlata. Samotné lokalizační zařízení včetně baterie váží celkem 37 g. Lokalizační zařízení je připevněno v plastové krabičce plastovými distančními sloupky. Použitá krabička má vnější rozměry 128 x 67 x 28 mm, a celková váha i s krabičkou je 106 g.



Obr. 34 Výsledné lokalizační zařízení zakomponované v krabičce

Přepínač je připájen na pohyblivých přívodech pro snadnější uchycení v krabičce. Obě krajní diody LED jsou červené a prostřední má barvu oranžovou. Jedna z červených diod LED signalizuje nabíjení baterie, takovým způsobem, že po připojení napájení k portu USB se tato dioda rozsvítí a zhasne, jakmile je baterie plně nabita. Nabítí plně vybité baterie trvá přibližně 2,5 hodiny. Druhá červená dioda LED je právě ta indikační, kterou se ovládá mikroprocesor modulu. Prostřední oranžová dioda LED indikuje zapnuté napájení.

### 8.1 Kalkulace nákladů

Další částí řešení je kalkulace nákladů na navržené zařízení, protože v dnešní době je kladen velký důraz na cenu a snižování nákladů.

V tab. 5 jsou sepsány součástky a jejich cena bez DPH na jedno, na deset a sto kusů lokalizačních zařízení. V této tabulce je i uvedena cena desky plošných spojů, baterie a plastové krabičky. Z kalkulace vyplývá, že při výrobě 100 ks již je cena jednoho lokalizačního zařízení téměř poloviční v porovnání s cenou za 1 kus.

*Tab. 5 Kalkulace nákladů za materiál*

**Tato část není veřejná.**

## ZÁVĚR

V této práci jsem představil technologie, jaké jsou v dnešní době dostupné pro určení polohy osoby v budově. Dále jsem popsal možnosti zlepšení přesnosti lokalizace a vysvětlil jsem možnosti zpracování dat ke zjištění polohy. V následující části jsem uvedl dostupné systémy na trhu.

V další části jsem se věnoval samotnému návrhu lokalizačního zařízení. Zvolil jsem technologii založenou na měření síly signálu Wi-Fi. Při návrhu jsem se snažil dosáhnout toho, aby toto zařízení mělo co nejmenší rozměry, dokázalo měřit polohu s největší přesností a vydrželo dlouho pracovat bez nutnosti nabíjení baterie.

Srdcem tohoto lokalizačního zařízení je modul Wi-Fi s integrovaným mikroprocesorem. Celý systém pracuje ve dvou režimech, nejdřív změří útlum od vysílačů a zpracuje je. V druhém režimu se připojí do internetové sítě a odešle data na internet. Jako rozhraní pro zobrazování dat slouží vytvořená aplikace na webovém serveru. Pro usnadnění přístupu k těmto datům jsem vytvořil i aplikaci pro mobilní telefony nebo tablety s operačním systémem Android.

Navržené zařízení dosahuje maximální chyby  $\pm 2$  m podle dostupnosti a počtu referenčních bodů.

Průměrný odebíraný proud z baterie při měření a zpracování výsledků je 68 mA a při odesílání dat na server je 76 mA. Doba režimu spánku je nastavena na hodnotu 5 minut. V tomto režimu dokáže zařízení pracovat na jedno nabití baterie 86 hodin.

Celý navržený systém se může libovolně rozšiřovat. Lze ho použít po nahrání vhodného programového vybavení jako krokoměr, protože je kromě magnetometru doplněn akcelerometrem a gyroskopem. I softwarové vybavení je možno libovolně rozšiřovat. Pro použití v jiných budovách stačí pouze vytvořit mapu, nadefinovat pozice referenčních bodů a změřením hraničních útlumů. V závislosti na situaci se může libovolně programově změnit doba spánku.

Je zde také prostor pro zlepšení návrhu hardwaru, jak z hlediska zmenšení rozměrů desky plošných spojů, použití vícevrstvé desky nebo doplnění dalších funkcí. Například doplnění systémem GPS, aby systém fungoval i mimo budovu. Dále se může použít vhodnější krabička s menšími rozměry a hmotností. Je možno použít i menší baterii v případě nastavení větší doby spánku, pro zachování výdrže baterie. Zmenšením baterie se může dosáhnout i snížení nákladů.

Nakonec jsem zpracoval i kalkulaci nákladů na lokalizační zařízení.

# LITERATURA

- [1] SCHUTZBERG, Adena, *Ten Things You Need to Know About Indoor Positioning* [online]. Directions Magazine, 6.5.2013 [cit. 10.10.2015]. Dostupné z: <http://www.directionsmag.com/entry/10-things-you-need-to-know-about-indoor-positioning/324602>
- [2] The Economist, *Finding the way inside*, [online] 1.12.2012 [cit. 11.10.2015]. Dostupné z: <http://www.economist.com/news/technology-quarterly/21567197-navigation-technology-using-satellites-determine-your-position-only-works>
- [3] IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, *A Survey of Inoor Localization Techniques* [online]. ACADEMIA. May/June 2013 [cit. 12.10.2015]. ISSN: 2320-3331. Dostupné z: [http://www.academia.edu/4815506/A\\_Survey\\_of\\_Indoor\\_Localization\\_Techniques](http://www.academia.edu/4815506/A_Survey_of_Indoor_Localization_Techniques)
- [4] RETSCHER, Guenther a Qing, Fu. Active RFID trilateration for indoor positioning. In: *Coordinates*[online]. 9.5.2008 [cit. 12.10.2015]. Dostupné z: <http://mycoordinates.org/active-rfid-trilateration-for-indoor-positioning/all/1/>. Path: homepage; Sections; LBS.
- [5] PBS print:Tisk bez hranic...[online] PBS print s.r.o, 2015 [cit. 12.10.2015]. Dostupné z: <http://www.pbsprint.cz/cs/>
- [6] RYVAL, Jan. Aktivní RFID – 3. část seriálu. In: *ITBiz.cz* [online]. 11.8.2008 [cit. 13.10.2015]. Dostupné z: <http://www.itbiz.cz/aktivni-rfid-serial>. Path: homepage; články.
- [7] SOMMEROVÁ, Martina. *Základy RFID technologií*. [online]. Logistická akademie, 2015 [cit. 20.10.2015]. Dostupné z: [http://rfid.vsb.cz/export/sites/rfid/cs/informace/RFID\\_pro\\_Logistickou\\_akademii.pdf](http://rfid.vsb.cz/export/sites/rfid/cs/informace/RFID_pro_Logistickou_akademii.pdf).
- [8] WONG, Lawrence W.C., *Indoor Localization Methods* [online] National University of Singapore, 2015 [cit. 25.10.2015]. Dostupné z: <http://www.ewh.ieee.org/reg/10/conferences/Workshop201103/Indoor%20Localization%20Methods.pdf>
- [9] *Ekahau: Real-Time Location Systém* [online]. Ekahau, Inc. , 2015 [cit. 26.10.2015]. Dostupné z: <http://www.ekahau.com/real-time-location-system>
- [10] *AssetWorks:We manage what you manage* [online] AssetWorks, 2015 [cit. 26.10.2015] Dostupné z: <http://assetworks.com/>
- [11] CONNELL, Ciaran. What's The Difference Between Measuring Location By UWB, Wifi, and Bluetooth? In: *Electronic design*[online]. 6.2.2015 [cit. 1.11.2015]. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/communications/what-s-difference-between-measuring-location-uwb-wi-fi-and-bluetooth> . Path: homepage; Technologies; Communications.
- [12] HOLEŠINSKÝ, Pavel, KOMOSNÝ, Dan, ŠIMEK, Milan. Lokalizační techniky bezdrátových senzorových sítí založené na triangulačním mechanismu. *Elektrorevue*. 2009, **66**, 1-9. ISSN 1213-1539.
- [13] Cisco Systems, Inc.. *Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide* [online]. 20. 5. 2008 [cit. 11.11.2015]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG.pdf>

- [14] CHUNG Jaewoo, DONAHOE Matt, SCHMANDT, KIM Ig-Jae, RAZAVAI Pedram, WISEMAN Micaela. *Indoor Location Sensing Using Geo-Magnetism* [online]. MIT Media Laboratory, 2011 [cit. 12.11.2015]. Dostupné z: <https://www.media.mit.edu/speech/papers/2011/positioning.systems.pdf>
- [15] *PLUS Location Systems* [online]. PLUS Location Systems LLC, 2015 [cit 18.11.2015]. Dostupné z: <http://pluslocation.com/>
- [16] Espressif Systems IOT Team, *ESP8266EX Datasheet* [online] 2015 [cit. 29.11.2015]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/b59db7982fa024a36c8c53ed6350d443/ESP8266.pdf>
- [17] *STlife.augmented* [online]. STMicroelectronics, 2015 [cit. 30.11.2015] Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/home.html>
- [18] *Vishay.Build Vishay into your Design* [online]. Vishay Intertechnoly, 2015 [cit. 1.12.2015] Dostupné z: <http://www.vishay.com/>
- [19] *Microchip* [online]. Microchip Technology Inc., 2015 [cit. 1.12.2015]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>
- [20] Linear Technology, *LTC4365* [online]., 2013 [cit. 28. 2. 2016]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/4365fa.pdf>
- [21] JARVIS Robert, MASON Arthur, THORNHILL Kevin, ZHANG Bobby, *Indoor Positioning System* [online]. School of Electrical Engineering and Computer Science Louisiana State University, 2011 [cit. 20.3.2016]. Dostupné z: [https://www.ece.lsu.edu/scalzo/FDR\\_Final.pdf](https://www.ece.lsu.edu/scalzo/FDR_Final.pdf)
- [22] *Pozyx Accurate positioning* [online]. Pozyx Labs, 2016 [cit. 22.3.2016]. Dostupné z: <https://www.pozyx.io/>
- [23] *Pololu Robotics & Electronics* [online]. Pololu Corporation, 2016 [cit. 20.4.2016]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/>
- [24] *Arduino* [online] Arduino 2016 [cit. 20.4.2016] Dostupné z: <http://arduino.cc>
- [25] ČÁPKA, David. Základní konstrukce jazyka JavaScript. In: *ITnetwork.cz* [online]. 2013 [cit. 29.4.2016]. Dostupné z: <http://www.itnetwork.cz/javascript/zaklady>. Path: Homepage;JavaScript.
- [26] *ThingSpeak™* [online].The MathWorks, Inc., 2016 [cit. 29.4.2016]. Dostupné z: <https://thingspeak.com/>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>RFID</i>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<i>UWB</i>	<i>Ultra-Wideband</i>
<i>UART</i>	<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter</i>
<i>I<sup>2</sup>C</i>	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
<i>I<sup>2</sup>S</i>	<i>Integrated Interchip Sound</i>
<i>SPI</i>	<i>Seriál Peripheral Interface</i>
<i>PWM</i>	<i>Pulse Width Modulation</i>
<i>ADC</i>	<i>Analog to Digital convertor</i>
<i>IR</i>	<i>iffrared</i>
<i>A/D</i>	<i>analog/digital</i>
<i>I/O</i>	<i>input/output</i>
<i>MEMS</i>	<i>microelectromechanical sensors</i>
<i>LGA</i>	<i>Land Grid Array</i>
<i>SOT</i>	<i>Small Outline Transistor</i>
<i>USB</i>	<i>Universal Seriál Bus</i>
<i>RC</i>	<i>resistor capacitor</i>
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode</i>
<i>d</i>	<i>délka/vzdálenost</i>
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i>
<i>JSON</i>	<i>JavaScript Object Notation</i>
<i>DPH</i>	<i>daň z přidané hodnoty</i>



# **A SEZNAM SOUČÁSTEK**

**Tato část není veřejná**

**Tato část není veřejná**

## **B PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ**

### **B.1 Proces „vyhodnocení“**

**Tato část není veřejná.**

### **B.2 Funkce pro měření vzdálenosti**

**Tato část není veřejná.**

### **B.3 Proces trilaterace pro tři referenční body**

**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

## **B.5 Proces hledání vhodných referenčních bodů**

**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

## **B.6 Proces připojení do internetové sítě a odeslání dat na server**

**Tato část není veřejná.**

**Tato část není veřejná.**

## **B.7 Získání dat ze serveru-Javascript**

**Tato část není veřejná.**

## **B.8 Převedení dat-Javascript**

**Tato část není veřejná.**



**Tato část není veřejná.**