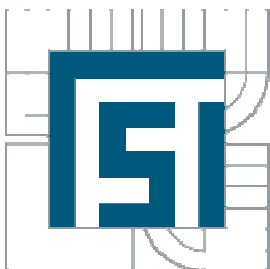


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# NÁVRH A KONSTRUKCE MAJÁKŮ PRO INDOOR NAVIGACI MOBILNÍCH ROBOTŮ

DESIGN OF ACTIVE BEACONS FOR INDOOR NAVIGATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL RŮŽIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. STANISLAV VĚCHET PH.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Růžička Michal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh konstrukce majáků pro indoor navigaci mobilních robotů**

v anglickém jazyce:

#### **Design of active beacons for indoor navigation**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je vytvoření majáků pro indoor navigaci autonomního mobilního robotu. Majáky slouží jako tzv. „landmarky“ podle kterých je robot schopen určit absolutní polohu a orientaci ve zvolené oblasti. Majáky mají být přenosné s vlastním zdrojem napájení, aby bylo možno je umístit na libovolné místo v místnosti.

Cíle bakalářské práce:

Prostudujte možnosti a využití takových majáků v mobilní robotice

Proveďte návrh majáků dle zvolené specifikace

Vybraný návrh prakticky realizujte

Ověřte funkčnost vybraného řešení

Seznam odborné literatury:

www.robotika.cz

www.hobbyrobot.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne

27. 11. 2009

L.S.



*Šeda*

prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.  
Ředitel ústavu

*M. Doupovec*

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem indoor navigačního systému pro autonomní mobilní roboty, založeném na bázi infračerveného světla. Speciálně návrhem majáků, což jsou značky v prostředí, díky kterým se robot dokáže zorientovat a rozeznat svoji absolutní polohu v prostředí, ve kterém se pohybuje.

## **Abstract**

This thesis deals with design of navigation system for autonomic mobile robots, which is based on the infrared light. Especialy by designing beacons, which are landmarks in environment. Landmarks help robot with orientation and knowing himself absolute position.

## **Klíčová slova**

Majáky, IrDA, infračervené světlo, Virtual Wall Lighthouse, navigace, lokalizace.

## **Keywords**

Beacon, IrDA, infrared light, Virtual Wall Lighthouse, navigation, localization



## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Stanislavu Věchetovi Ph.D za vydatnou pomoc při řešení problémů, týkajících se této práce.





## **Věnování**

Věnováno mým rodičům, kteří mě během studia podporovali a byli mi silnou oporou i v těžkých situacích. Bez jejich podpory by tato práce nevznikla.



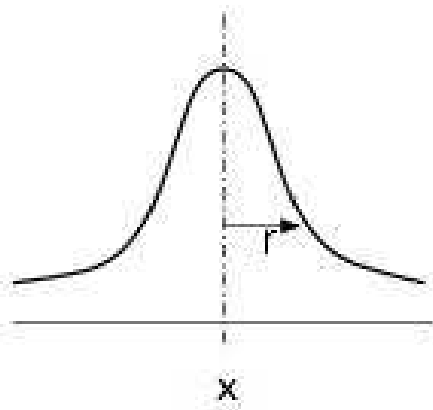
## Obsah

Zadání bakálářské práce.....	3
Licenční smlouva.....	5
Abstrakt.....	7
Klíčová slova .....	7
Poděkování.....	9
Věnování.....	11
Obsah .....	13
1 Úvod .....	15
2 Infračervené světlo .....	17
3 Standard IrDA .....	19
3.1 Protokoly pro standard IrDA.....	19
3.1.1 IrLAP (IrDA Infrared Link Access Protocol).....	19
3.1.2 IrLMP (IrDA Infrared Link Management Protocol).....	19
3.1.3 TinyTP (IrDA Transport Protocols) .....	19
3.1.4 IrOBEX (IrDA Object Exchange Protocol).....	19
3.1.6 Ir Tran – P (Infrared Transfer Picture).....	19
3.2 Typy modulací standardu IrDA .....	20
3.2.1 Pulsní modulace.....	20
3.2.2 FSK (frequency shift keying) .....	20
3.2.3 Bi – phase modulace .....	20
3.2.4 Pulsně šířková modulace .....	21
3.3 Prvky pro přenos dat pro standard IrDA .....	21
4 Bezdrátové technologie v robotice .....	25
4.1 IrDA .....	25
4.1.1 Senzory překážek.....	25
4.1.2 Lokalizační technologie.....	26
4.2 VF moduly .....	29
4.2.1 AM VF moduly.....	29

4.2.2	FM VF moduly .....	30
5	Návrh .....	33
5.1	Použité technologie .....	33
6	Praktický experiment:.....	35
6.1	Část měření: .....	35
6.2	Část vyhodnocení: .....	38
6.3	Závěr experimentu: .....	42
7	Závěr.....	47
	Použitá literatura .....	49

## 1 Úvod

V dnešní době se rozmáhá trend autonomních mobilních robotů, kteří mohou být nasazeni v různých odvětvích průmyslu, nebo budou lidem pomáhat při jejich všedních záležitostech. Mohou to být například robotické vysavače, které za vás vysají celý dům, nebo reklamní roboti, kteří se budou pohybovat na veřejných místech, kde budou lidem poskytovat nejrůznější informace. Blíží se doba, kdy se stanou tito roboti součástí našeho každodenního života. Výraz, blíží, je možná trochu zavádějící, protože některé výše zmíněné stroje si můžete zakoupit již dnes. Ovšem ještě nedošlo k jejich masovému rozšíření do všech domácností, jak tomu bylo například v případě rádií, nebo televizorů, které má už dnes v domácnosti každý člověk. Je jen otázkou času, kdy se tak stane a roboti se stanou součástí našeho života. Nezbytnou součástí takového robota, aby vůbec mohl v daném prostředí operovat, je lokalizační systém. To znamená, že robot musí při pohybu znát svou současnou polohu na mapě, ve které plní své úkoly. Odhad pozice robota určujeme pomocí informací z jeho senzorů. Každý takový jednotlivý údaj není dokonale přesný a je zatížen chybou. Při pohybu robota se tyto chyby kumulují a výsledná pozice se výrazně liší od té skutečné. Tyto chyby jsou v robotice velmi závažný problém, proto je naším cílem tyto chyby co nejvíce zredukovat. Budeme předpokládat, že naměřené chyby mají gaussovský charakter, kde vystupuje střední hodnota  $\mathbf{0}$  a rozptyl  $\mathbf{r}$ . Řekněme, že  $\mathbf{x}$  bude správná hodnota, tudíž můžeme napsat, že reálná hodnota, kterou naměříme, bude  $\mathbf{x} \pm \mathbf{r}$ , což je zobrazeno na obrázku 1. [13] Návrh takového systému je hlavním cílem této práce.



Obr. 1 Gaussovo rozložení dáno střední hodnotou a rozptylem. [13]

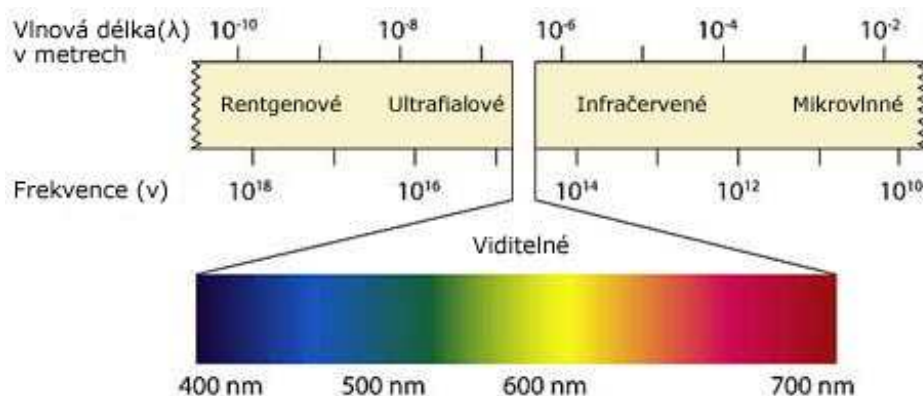
Prvním cílem této práce bylo prostudovat použitelné technologie pro konstrukci navigačního systému pro mobilní roboty. Úkolem bylo vybrat konkrétní technologie pro návrh systému. Dalším cílem bylo najít a seznámit se s podobnou technologií navigačního systému na trhu, která mě měla při návrhu inspirovat. Díky těmto nabytým poznatkům jsem měl navrhnout majáky pro indoor navigaci autonomních mobilních robotů. Majáky mají fungovat jako značky v prostředí, pomocí kterých robot rozezná svoji absolutní polohu a dokáže se díky nim zorientovat. Požadovanou specifikací bylo, aby každé toto zařízení mělo vlastní zdroj energie a tudíž ho bylo možné postavit na jakémkoliv místě v oblasti, kde se budou majáky používat. Po praktické realizaci majáků jsem měl s tímto navigačním systémem provést praktický experiment na reálném robotu, který měl ověřit jeho funkčnost, popřípadě měl pomoci odhalit slabé stránky

systemu. Výsledky experimentu nám měly také říci, jestli má smysl ve vývoji tohoto systému v budoucnu pokračovat. První krok experimentu spočíval ve zvolení vhodného místa bez dynamických překážek, ve kterém se budou nacházet rušivé elementy, jako například nevhodné umístění některých majáků. K vyhodnocení naměřených dat v takto zvolené oblasti jsem měl zvolit vhodnou metodu. Podrobně s provedeným experimentem a jeho výsledky se můžete přesvědčit v kapitole 6.

## 2 Infračervené světlo

Pro náš lokalizační systém bylo vybráno za nositele signálu infračervené světlo, a proto mu v této práci věnuji zvláštní kapitolu.

Infračervené - anglicky infrared. Slovo „infra“ v latině znamená pod. Jedná se o elektromagnetické záření s vlnovou délkou v intervalu od 760nm do 1mm. Tento interval je omezen zdola intervalem vlnových délek viditelného světla a shora intervalem vlnových délek mikrovlnného záření. Infračervené světlo se nachází mimo interval vlnových délek viditelného světla, tudíž je lidským okem neviditelné. Tento druh světla můžeme pocítit ve formě tepelného účinku svými receptory na pokožce. Infračervené světlo lze pozorovat například přes čočky fotoaparátů. Pro infračervené světlo bychom v technické oblasti našli mnoho druhů využití. V této práci nás však bude zajímat využití pro standard IrDA, o kterém pojednává následující kapitola.



Obr. 2 Rozdělení elektromagnetických záření podle vlnové délky a frekvence.  
[18]

Infračervené světlo můžeme dělit do tří pásem podle jejich vlnové délky:

- blízké (0,76 – 5  $\mu\text{m}$ )
- střední (5 – 30  $\mu\text{m}$ )
- dlouhé (30 – 1000  $\mu\text{m}$ )

[9]





## 3 Standard IrDA

Standard IrDA (Infrared Data Association) byl vyvinut pro bezdrátovou komunikaci mezi zařízeními. Pro přenos dat využívá pulzní modulaci infračerveného světla o vlnové délce většinou kolem 875 nm. Standard IrDA, proto patří do blízkého pásma infračerveného světla. Data se přenáší stejným způsobem, jako je tomu u sériového přenosu. Asi nejznámější aplikací infračerveného světla, která využívá právě standard IrDA, je dálkový ovladač například od televizoru, nebo od videorekordéru. V tomto případě je v televizoru zabudována infračervený přijímač a v ovladači je vysílací infračervená dioda. Vysílací dioda vysílá pulzně modulovaný signál a přijímač jej zpracovává. Pro standard IrDA máme několik typů protokolů. [7]

### 3.1 Protokoly pro standard IrDA

#### 3.1.1 IrLAP (IrDA Infrared Link Access Protocol)

Tento protokol obsahuje procedury pro navázání, ukončení spojení a nastavení parametrů přenosu. Stará se o to, aby nedocházelo ke kolizím mezi jednotlivými zařízeními. Dále se stará o zapouzdření rámců. Pokud komunikuje více zařízení mezi sebou, tak pouze jedno je master a ostatní jsou slave. [7]

#### 3.1.2 IrLMP (IrDA Infrared Link Management Protocol)

Jedná se o nejvyšší vrstvu protokolů IrDA. Detekuje zařízení, která nabízí nějakou službu. Hlavním úkolem je řešení změny konfigurace IrDA zařízení při běhu. [7]

#### 3.1.3 TinyTP (IrDA Transport Protocols)

Tento protokol je schopen opravovat chyby na lince vzniklé například ztrátou paketu. Zároveň data rozděljuje do paketů a znovu je sestavuje. Funguje podobně jako protokol TCP. [7]

#### 3.1.4 IrOBEX (IrDA Object Exchange Protocol)

Protokol umožňující binární přenos dat mezi zařízeními pouze pomocí příkazů PUT a GET. Tento protokol je ještě rozšířen pro potřeby komunikace mezi mobilními zařízeními a definuje, jak přenášet informace vztahené k síti GSM. [7]

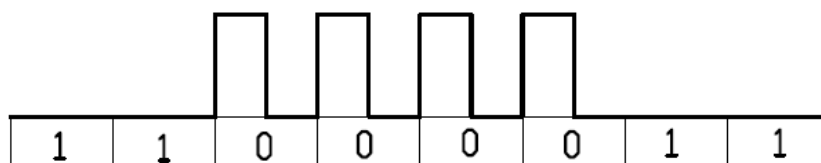
#### 3.1.6 Ir Tran – P (Infrared Transfer Picture)

Protokol určený pro přenos obrázků například z fotoaparátu pomocí infračerveného portu. [7]

## 3.2 Typy modulací standardu IrDA

### 3.2.1 Pulzní modulace

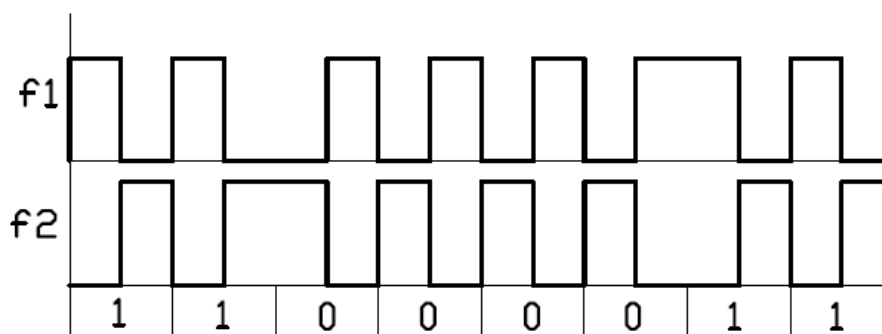
Jedná se o nejjednodušší způsob přenosu kódu pomocí infračerveného světla. Při tomto způsobu modulace se signál rozdělí na stejně velké časové bloky. V takovém bloku se může vyskytnout impuls konstantní délky. V takovém případě se tento výskyt hodnotí logickou nulou. Pokud se v bloku nic neobjeví, tak je to hodnoceno jako logická jednička. Graficky tento princip zobrazuje obrázek 3. [8]



Obr. 3 Graficky znázorněn princip pulzní modulace.

### 3.2.2 FSK (frequency shift keying)

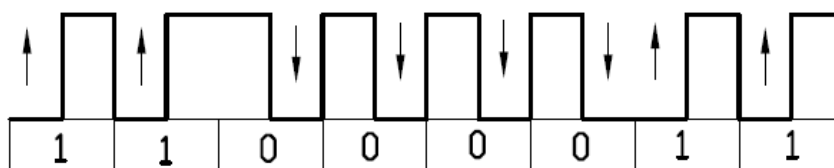
Jedná se o velice bezpečnou metodu přenosu dat. Modulování bitů probíhá pomocí dvou frekvencí. Princip vysvětluje obrázek 4. [8]



Obr. 4 Graficky znázorněn princip frequency shift keying modulace.

### 3.2.3 Bi – phase modulace

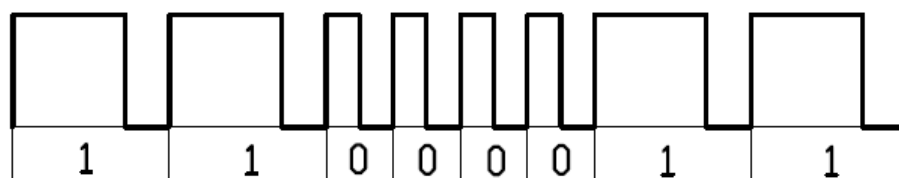
Signál je tu rozdělen do časových bloků stejné délky. Při vyhodnocení, zda se jedná o logickou jedničku, či logickou nulu, se zohledňuje změna úrovně signálu uvnitř každého časového bloku. Pokud se jedná o změnu z nuly na jedničku, je tento bit vyhodnocen jako logická jednička. Pokud bude změna z jedničky na nulu, tak bude bit vyhodnocen jako logická nula. Situaci znázorňuje obrázek 5. [8]



Obr. 5 Graficky znázorněn princip Bi - phase modulace.

### 3.2.4 Pulzně šířková modulace

Při tomto typu modulace se opět signál rozdělí do časových bloků. Tyto bloky už ale nejsou stejně velké. Přidělení logické hodnoty jednotlivým bitům se vyhodnocuje podle délky časových bloků. Kratší blok je vyhodnocen jako logická nula a delší blok jako logická jednička. Princip modulace znázorňuje obrázek 6. [8]



Obr. 6 Graficky znázorněn princip pulzně šířkové modulace.

## 3.3 Prvky pro přenos dat pro standard IrDA

Infračervené prvky můžeme rozdělit na dva základní druhy:

- přijímací (infračervená led fotodioda)
- vysílací (infračervená vysílací led dioda)

Infračervený přijímač SFH 5110:

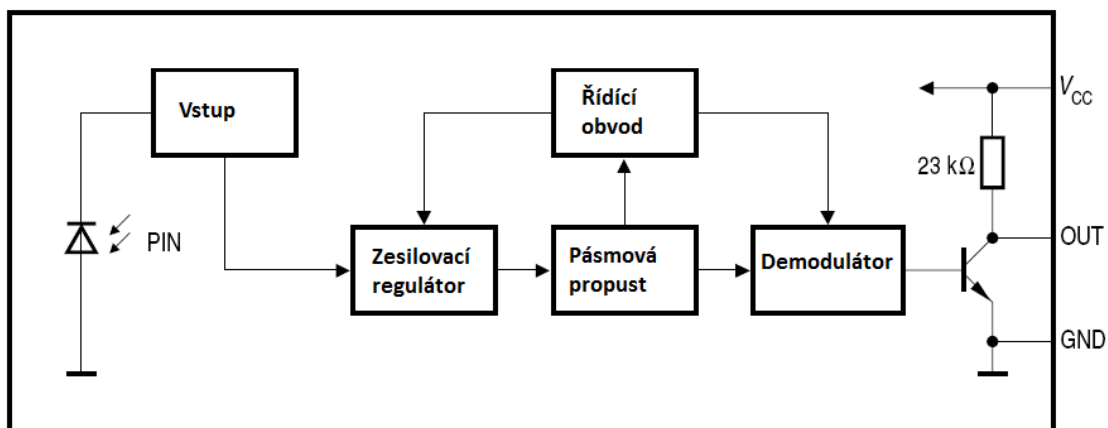


Obr. 7 Infračervený přijímač SFH 5110. [1]

Při nákupu tohoto prvku se většinou nesetkáme pouze se samostatnou infračervenou fotodiódou, ale setkáme se rovnou s celým infračerveným přijímačem. Viz Obr. 7. Přijímač obsahuje tyto prvky:

- infračervenou fotodiódu
- předzesilovač
- automatický zesilovací regulátor
- pásmovou propust
- demodulátor

Schéma zapojení těchto členů můžete vidět na obrázku 8.



Obr. 8 Schéma zapojení IR přijímače SFH 5110. [1]

Parametr	Označení	Hodnota			Jednotka
		Min.	Doporučeno	Max.	
<b>Optimální provozní teplota</b>	$T_{op}$	-10	-	75	°C
<b>Napájecí napětí</b>	$V_{cc}$	4.5	5.0	5.5	V
<b>Odebíraný proud</b>	$I_{cc}$	-	1.3	-	mA
<b>Vlnová délka s největší citlivostí</b>	$\lambda_{s\ max}$	-	940	-	nm
<b>Rozsah citlivosti</b>	$\lambda$	830	-	1100	nm

Tab. 1 Přehled několika základních charakteristik infračerveného přijímače SFH 5110. [1]

Vysílací infračervená led dioda SFH 485-2:

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
<b>Provozní teplota</b>	$T_{op}$	-55 až +100	°C
<b>Napájení napětí</b>	$V_{cc}$	1.5	V
<b>Odebíraný proud</b>	$I_{cc}$	100	mA
<b>Vlnová délka</b>	$\lambda$	880	nm

*Tab. 2 Přehled několika základních charakteristik infračervené vysílací diody SFH 485 - 2. [2]*

Pomocí této led diody na obrázku číslo 9 je možné vysílat pulzně modulovaný signál směrem k přijímači a tím je zajistit přenos dat. Na trhu se prodává v několika verzích.



*Obr. 9 Infračervená vysílací led dioda. [2]*



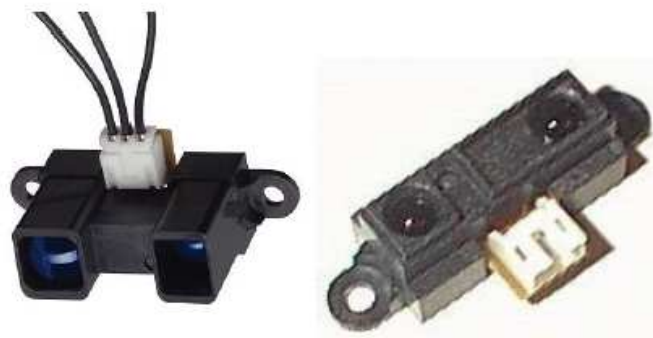
## 4 Bezdrátové technologie v robotice

V této kapitole se omezím pouze na některé bezdrátové technologie, které jsou založeny na infračerveném světle a radiových vlnách. Dále se také omezením na technologie, které by mohly být potencionálně využity pro návrh lokalizačního systému, nebo jeho doplnění o technologie pro detekci překážek. Bezdrátové technologie nahrazují metalické, či optické kabely. Přenos dat probíhá na dálku pomocí nosného média a tím nám usnadňuje manipulaci s roboty, kteří nejsou omezováni v pohybu. V robotice se používají i další bezdrátové technologie jako například bluetooth, nebo wifi. Bezdrátové technologie se už dnes běžně používají pro mnoho aplikací.

### 4.1 IrDA

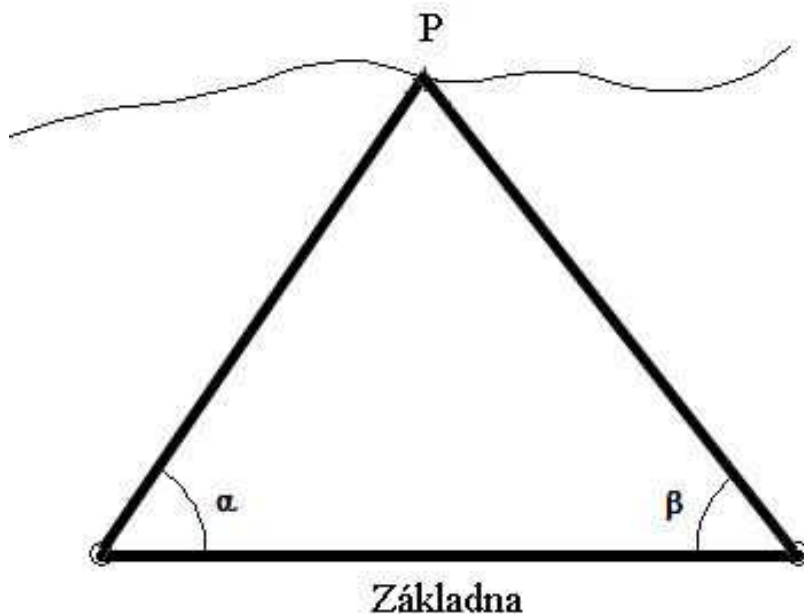
#### 4.1.1 Senzory překážek

V robotice se standardu IrDA využívá pro senzory na detekci překážek a měření jejich vzdáleností. Pro robota je to mimo lokalizace velice důležitý prvek, protože lokalizace mu sděluje pouze informace o jeho přibližné poloze. Pokud by se před robotem vyskytla nějaká překážka, tak by došlo ke kolizi s touto překážkou, což by mohlo vést k poškození robota, nebo k jeho úplnému zničení.



Obr. 10 Infračervené senzory pro detekci překážek. [12]

Tyto senzory fungují na principu optické triangulace. Tento princip je dán řešením obecného rovinného trojúhelníka, přičemž známe délku základny, která je pevně daná. Dále známe jeden k ní přilehlý úhel. Druhý přilehlý úhel dopočítáváme. Senzor je složený z infračerveného přijímače a z vysílací infračervené led diody. Vysílací dioda vyšle signál, který se odrazí od překážky zpět do přijímače. Vzdálenost os těchto dvou diod je právě pevně daná základna rovinného trojúhelníka. Osy těchto diod jsou natočeny. Viz. Obrázek 11. Čím dále je překážka od senzoru, tím je měření vzdálenosti nepřesnější. Senzory pracují ve dvou módech. První je určen pouze na detekci překážky a druhý překážku nejen detekuje, ale měří i její vzdálenost od senzoru. Senzory se prodávají s různými měřitelnými rozsahy.



Obr. 11 Optická triangulace. [17]

#### 4.1.2 Lokalizační technologie

Další velice významná využití standardu IrDA v robotice jsou pro infračervené lokalizační systémy. Asi nejnámějším infračerveným systémem v současnosti na trhu je Virtual Wall Lighthouse. Slovo „virtual wall“ se dá do češtiny přeložit jako „virtuální zeď“ a slovo „lighthouse“ jako maják. O tomto systému výrobce uvádí pouze základní informace. Nedávno se na celosvětovém trhu objevili robotické vysavače Roomba od firmy iRobot, které tuto technologii využívají. Nemám na mysli levné verze těchto robotických vysavačů, kde tato technologie není. Myslím tím nejvyšší řady těchto vysavačů. Tyto vysavače dokážou vysát dům nebo byt, aniž by majitel musel být doma. Stačí pouze robota nastavit, kdy má začít pracovat a na jakém místě, popřípadě na více místech.

K lokalizaci robota vysavače slouží právě zmíněná technologie Virtual Wall Lighthouse. Jednou její funkcí je vymezení místa, na kterém má robot operovat rozestavením infračervených vysílačů po domě. Vysílače vytvoří, jak už vyplývá z názvu, takzvanou virtuální zeď. Za takto vytvořenou zdí, která vymezení polygon pro operování robota, nemá robot povoleno operovat. Virtuální zeď vytvořenou jedním z infračervených vysílačů systému Virtual Wall Lighthouse můžete vidět na obrázku číslo 12.





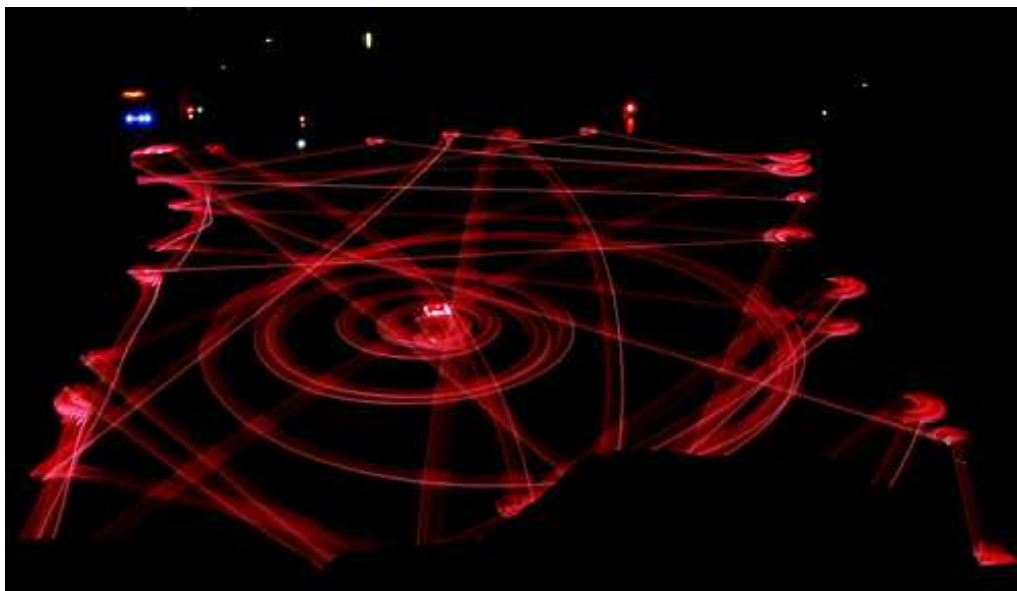
*Obr. 12 Znáznornění vytvoření takzvané virtuální zdi. [11]*

Příkladem použití této funkce je umístění vysílače do dveřního otvoru. To znamená, že vysavač nepojede pracovat do další místnosti. Stejného efektu by šlo dosáhnout postavením nějaké překážky do dveřního otvoru, protože robot obsahuje čidla detekující překážku. Další funkce tohoto systému spočívá v navedení robota do dokovací stanice a to ať už z důvodu vybití jeho baterie, nebo z důvodu dokončení jeho úkolu. Dokovací stanice, na které je též umístěn infračervený vysílač, má dva typy světelných paprsků. První je paprsek, který je aktivován po vyjetí robota z doku. V této situaci je baterie robota plně nabita. Paprsek zabraňuje robotovi najet zpět do stanice. Po ukončení úkolu, nebo při vybití baterie při plnění úkolu začne dokovací stanice vysílat druhý typ paprsku. Je to naváděcí paprsek, který navede robota zpět do stanice, aby se nabil. Viz. Obr 13.



*Obr. 13 Navádění robota pomocí paprsku do dokovací stanice. [10]*

Díky zmíněné technologii se robot dokáže lokalizovat, a tudíž si pamatuje, na jakých místech ve vymezeném polygonu už byl. To znamená, jaká místa už vysál. Díky tomuto dokáže vysavač vysát daný polygon, aniž by nějaké místo vynechal. K vyhodnocení polohy tento systém používá měření vzdálenosti mezi přijímačem a vysílačem. Na obrázku 14 můžete vidět stopy infračerveného světla po osmiminutovém vysávání robota.



*Obr. 14 Stopy infračerveného světla zaznamenané během osmiminutového vysávání robota. [14]*

## 4.2 VF moduly

Na trhu je velká škála modulů, které využívají k přenosu dat radiové vlny. Základní dva typy modulace radiových vln jsou:

- AM (amplitudová modulace)
- FM (frekvenční modulace)

Amplitudová modulace má nevýhodu v menší odolnosti vůči rušení. Její silná stránka je však ve schopnosti přenášet data kódem. Další výhodou je nízká cena modulů využívajících tento druh modulace. Frekvenční modulace je naopak odolná vůči rušení, ale je sama o sobě neschopna přenášet data pomocí kódu. Moduly, které využívají tuto modulaci, jsou velice drahé. Pro ukázkou jsem vybral běžně dostupné přijímací a vysílací moduly pro AM a FM. Zmíněné typy modulů jsou ty nejlevnější na trhu.

### 4.2.1 AM VF moduly

Vysílací modul TX – SAW 433:



Obr. 15 AM VF modul vysílač. [3]

Parametr	Min.	Doporučeno	Max.	Jednotka
<b>Napájecí napětí</b>	3 - 5	5 - 8	8 - 12	V
<b>Odebíraný proud</b>	3.5 – 7.5	3.5 - 4	7.5 - 9.5	mA
<b>Pracovní frekvence</b>	-	433.92	-	MHz
<b>Modulační kmitočet</b>	3	3	4	KHz
<b>Operační teplota</b>	-20	-	+80	°C
<b>Dosah</b>	-	-	100	m

Tab. 3 Přehled několika základních charakteristik modulu TX – SAW 433. [3]

Přijímací modul RX – BC – NBK:



Obr. 16 AM VF modul přijímač. [4]

Parametr	Min.	Doporučeno	Max.	Jednotka
Napájecí napětí	4.5	5.0	5.5	V
Odebíraný proud	-	-	3	mA
Frekvenční citlivost	220	-	434	MHz
Maximální modulační kmitočet	-	-	2	KHz
Operační teplota	-20	-	+80	°C
Dosah	-	-	100	m

Tab. 4 Přehled několika základních charakteristik modulu RX – BC – NBK. [4]

#### 4.2.2 FM VF moduly

Vysílací modul RTFQ1 – 433.92

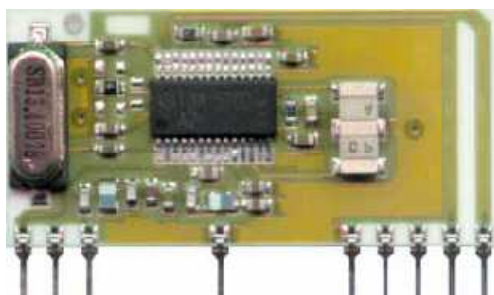


Obr. 17 FM VF modul vysílač. [5]

Parametr	Min.	Doporučeno	Max.	Jednotka
<b>Napájecí napětí</b>	2.1	3.3	4	V
<b>Odebíraný proud</b>	-	7	8	mA
<b>Pracovní frekvence</b>	-	433.92	-	Mhz
<b>FM odchylka</b>	25	30	35	Mhz
<b>Operační teplota</b>	-25	-	+80	°C
<b>Dosah</b>	75	-	300	m

*Tab. 5 Přehled několika základních charakteristik modulu RTFQ1. [5]*

Přijímací modul RRFQ1 – 433.9



*Obr. 18 FM VF modul přijímač. [5]*

Parametr	Min.	Doporučeno	Max.	Jednotka
<b>Napájecí napětí</b>	4.5	5.0	5.5	V
<b>Odebíraný proud</b>	-	5.7	6.8	mA
<b>Operační teplota</b>	-25	-	+80	°C
<b>Dosah</b>	75	-	300	m

*Tab. 6 Přehled několika základních charakteristik modulu RRFQ1. [5]*



## 5 Návrh

Každý maják má fungovat jako takzvaný „landmark“, což je značka v prostředí podle které se robot dokáže zorientovat a rozeznat svojí absolutní polohu. Pro přenos signálu bylo zvoleno infračervené světlo. Naše majáky musí být zařízení, které budou vysílat infračervený modulovaný signál z určených míst v prostředí, kde se bude navigovaný robot pohybovat. Jedním z našich cílů bylo, aby každý maják byl přenosný. To znamená, že musí obsahovat vlastní zdroj energie.

### 5.1 Použité technologie

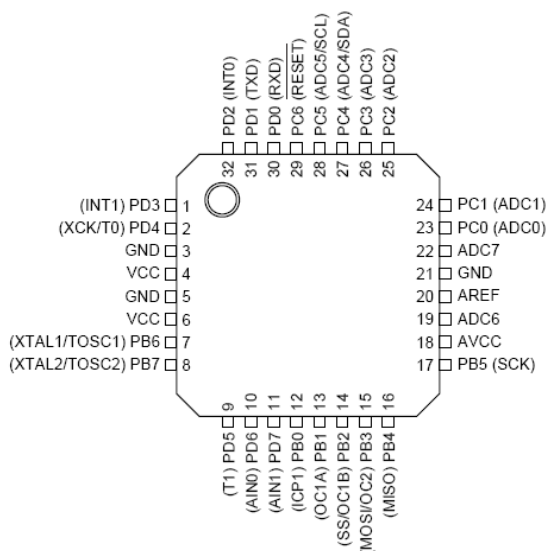
Při návrhu našeho lokalizačního systému se vycházelo ze systému Virtual Wall Lighthouses, viz. kapitola 3, a to ve smyslu rozmístění vysílačů v okolí robota. Ústřední člen, což je přijímač, je také umístěn na robotu. Dále mě tento systém inspiroval ve využití vysílaného signálu na bázi infračerveného světla. Infračervené světlo bylo vybráno z důvodu jeho nízkého rušení vnějšími vlivy a nízké ceny potřebných součástí.

Pokud má robot rozeznat svoji absolutní polohu na dané mapě, musí vidět alespoň jeden maják, popřípadě více majáků. Čím více majáků vidí, tím je jeho schopnost rozeznat svoji absolutní polohu přesnější. Robot zná mapu prostředí, ve které operuje, dále zná rozmístění majáků po mapě. Robot při přijetí signálu z majáků musí tyto majáky nějakým způsobem rozlišit, aby se dokázal na mapě zorientovat. Majáky tudíž musí být od sebe nějakým způsobem rozlišeny. K identifikaci jednotlivých majáků zavedeme každému majáku své identifikační číslo. To znamená, že signály z jednotlivých majáků budou pouze jinak pulzně modulovány a robot bude vědět, z jakého místa na mapě signál přišel. Jako vysílací infračervená led dioda byla při návrhu zvolena dioda s označením SFH 485-2. Viz kapitola 3. Tento typ byl vybrán z důvodu poměrně nízké ceny a dobré dostupnosti na českém trhu. Jedna dioda ovšem infračerveným světlem pokryje pouze malý prostor, proto byl pro pokrytí většího prostoru zvolen větší počet těchto diod, zapojených v sérii. Na jednom prototypu je umístěno pět diod a na druhém deset. Při tomto počtu diod je vysoký odebíraný proud.

Dalším krokem bylo co nejvíce snížit odběr energie. Každý maják bude obsahovat baterie, které se budou časem muset měnit, či dobíjet. Pro delší životnost baterií bude dobré maják dálkově aktivovat pouze v případě, kdy ho robot bude schopen vidět. Pro dálkovou aktivaci majáků byl zvolen vysokofrekvenční přijímací modul RX – BC – NBK od firmy Aurel, se kterým jste se mohli setkat v kapitole 4. Tento modul byl zvolen, protože pracuje s amplitudovou modulací, pomocí které lze přenášet aktivační, či deaktivční kód pro každý maják zvlášť. Dalším parametrem pro výběr tohoto modulu byla jeho nízká cena oproti jiným modulům. K modulu byla pro lepší signál připojena externí anténa. Robot si pomocí svého vysílacího modulu od firmy Aurel TX – SAW 433, který je umístěn uvnitř robota, sám aktivuje majáky díky těmto přijímačům.

Jako vlastní zdroj energie byly zvoleny čtyři tužkové baterie. Napájecí napětí je tedy 6 voltů. Tyto baterie zabírají asi polovinu celého zařízení, proto se časem nahradí kompaktní lithiovou baterií, což umožní razantní zmenšení všech zařízení.

Pro pulzní modulaci infračerveného signálu byl z důvodu zachování jednotné konstrukce všech majáků použit mikrokontroler. Při výběru této součástky byla zohledněna jeho cena, dostatečný počet pinů a zkušenosti. Byl vybrán mikrokontroler od firmy Atmel z rodiny procesorů ATmega. Jedná se osmibitový procesor ATmega8 s označením 16AU. Viz. Obr 19. Jedná se tedy o smd verzi.



Obr. 19 ATmega8 s popisky pinů. [6]

Procesor sám o sobě má nastavitelný takt 0 až 16Mhz. Tento takt ovšem není stabilní, proto byl použit externí krystal s taktem 15Mhz. Nyní lze modulovat infračervený signál za účelem přidělení každému majáku jedinečného identifikačního čísla díky tomuto procesoru. Stačí pouze do něj nahrát příslušný software.

K návrhu tištěných spojů majáků bylo využito prostředí Eagle 5.6 Light, které je k tomuto účelu určeno. Nejprve bylo sestaveno schéma zapojení součástek a následně bylo převedeno do grafické formy návrhu desky. Jedná se o jednovrstvou desku, která je osazena již výše zmíněnými součástkami. Pro ochranu bylo toto zařízení zavřeno do plastové krabičky.



## 5 Praktický experiment:

V této kapitole budu popisovat provedený experiment infračervených majáků. Tuto kapitolu jsem rozdělil na tři části, a sice část měřící, kde popíšu prováděný experiment, část vyhodnocující, kde popíšu, jakým způsobem byla data vyhodnocena, a závěr, kde vyvodím závěry z vypočtených hodnot. Cílem tohoto testu bylo zjistit, zda infračervený signál jednotlivých vysílačů dopadá na správné infračervené přijímače, protože na tyto dopady mohou mít vliv odrazy infračerveného světla od okolních předmětů, zejména bílých stěn. Přesné dopady signálu jsou důležité pro lokalizaci robota, což je cílem tohoto projektu.

### 5.1 Část měření:

Test majáků probíhal na mobilním robotu názvem Leela, na obrázku číslo 20, ve kterém byly přijímače uloženy. Nejprve jsem vybral místo pro experiment. Byla to jedna z laboratoří na ústavu automatizace a informatiky. V laboratoři jsem vytyčil mapu a na ní menší polygon, ve kterém jsem měřil dopady signálů z infračervených vysílačů na jednotlivé infračervené přijímače uložené v robotu.



*Obr. 20 Autonomní mobilní robot Leela.*

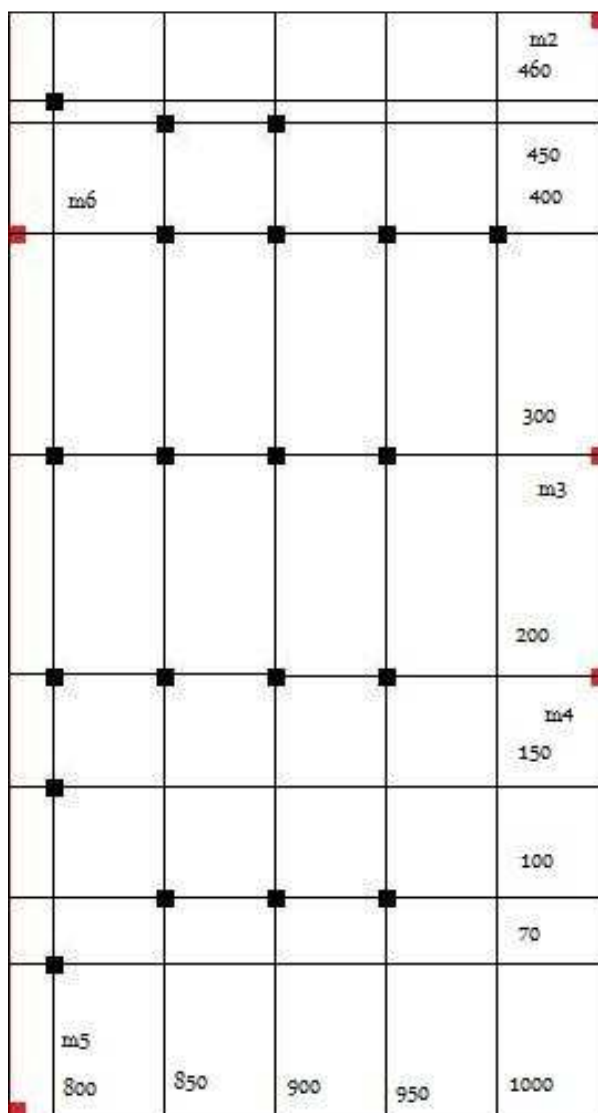
Celá naše mapa měla rozměry 1050 cm na námi zvolené ose x a 600 cm na ose y. Počátek vztažné soustavy našeho polygonu byl na souřadnicích 780 cm na ose x a 0 cm na ose y. Polygon končil na souřadnicích 1050 cm na ose x a 500 cm na ose y. To znamená, rozměry našeho polygonu byly 270 cm na 500 cm. Viz. Obr. 21. Na okrajích polygonu jsme rozmístili pět majáků. Dále budu psát polohu udanou v souřadnicích ve tvaru [osa x, osa y]

- maják 2 na souřadnicích [1050, 500]
- maják 3 na souřadnicích [1050, 300]
- maják 4 na souřadnicích [1050, 200]
- maják 5 na souřadnicích [780, 0]
- maják 6 na souřadnicích [780, 400].

Pro měření jsme v našem polygonu vybrali 20 různých souřadnic, viz Tab. 1. Na každé souřadnici jsme změřili 4 natočení v kladném směru a to pro úhly ve stupních 0, 90, 180, 270.

Číslo souřadnice:	Souřadnice x:	Souřadnice y:
1	800	70
2	800	150
3	800	200
4	800	300
5	800	460
6	850	100
7	850	200
8	850	300
9	850	400
10	850	450
11	900	100
12	900	200
13	900	300
14	900	400
15	900	450
16	950	100
17	950	200
18	950	300
19	950	400
20	1000	400

Tab. 7 Tabulka měřených souřadnic.



Obr. 21 Polygon s měřenými souřadnicemi (černě) a s rozmístěnými majáky (červeně).

Pro přenos naměřených dat z robota do počítače jsem využil bezdrátové technologie bluetooth. Přijímače odesílaly naměřená data do řídicí jednotky robota, která byla vybavena bluetooth modulem. Ten posílal data do počítače. Pomocí skriptu, napsaném v Pythonu, jsem data ukládal do jednotlivých souborů pro všechny souřadnice při jednotlivých natočeních. To znamená, že bylo po testu získáno 80 souborů s naměřenými daty. Přijímaná data, nebo li vzorky, byly přijímány ve tvaru šestnácti prvkového pole, kde jednotlivé prvky pole vyjadřují jednotlivé přijímače. Pokud na daný přijímač nedopadl žádný signál, tak na daném indexu v poli přišla 0. Pokud na daný přijímač dopadl signál z nějakého vysílače, tak na daném indexu přišlo identifikační číslo vysílače, jehož signál byl zachycen.

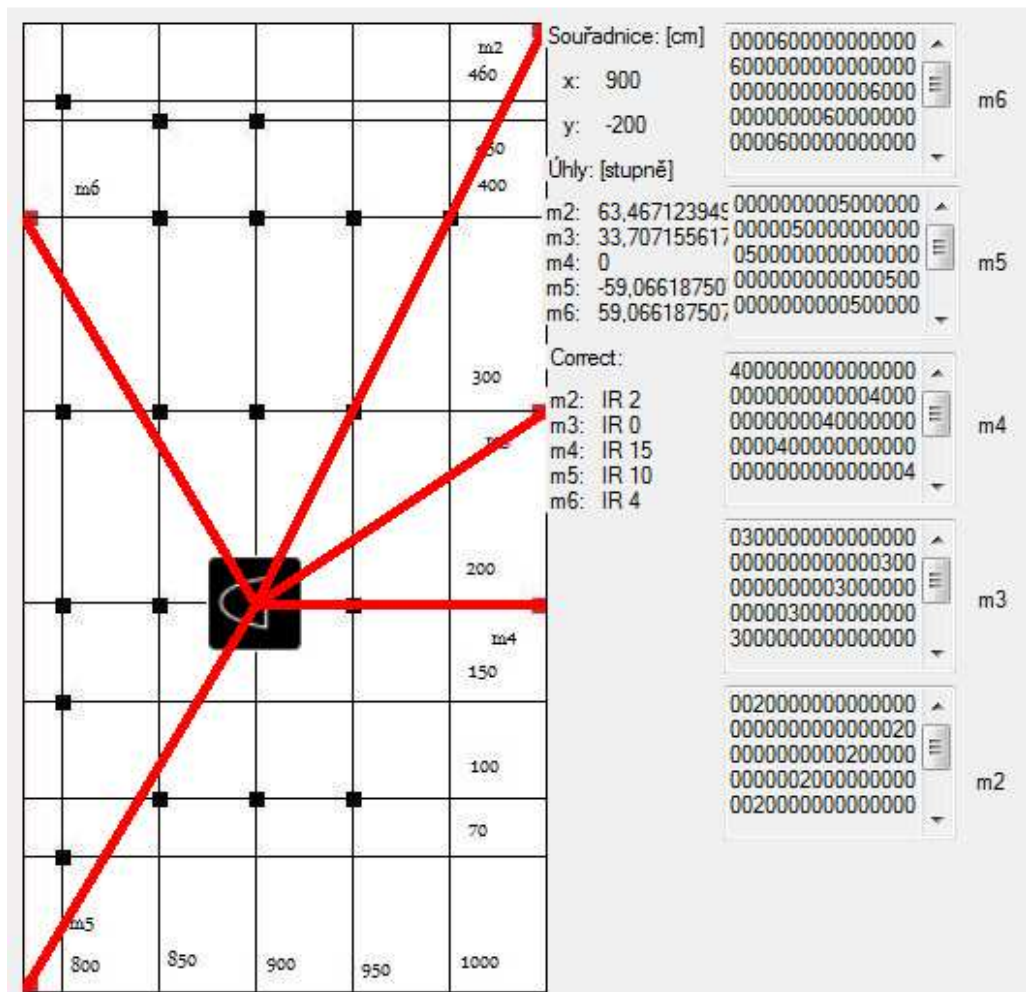
Například: "[0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]" Tento zápis znamená, že signál z majáku číslo 4 byl zachycen na čtvrtém přijímači, ovšem na indexu 3 (první index pole začíná nulou).

Pro každé měření jsem naměřil 100 takovýchto vzorků. Tudíž každý uložený soubor měl 100 řádků. Celkem bylo pořízeno 8000 vzorků.

## 5.2 Část vyhodnocení:

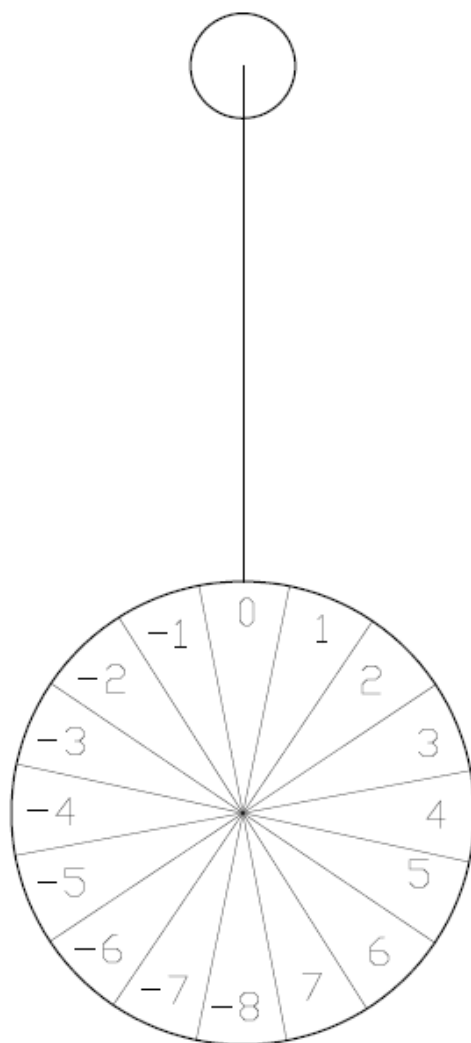
Nyní nastala chvíle pustit se do rozboru naměřených dat. Prvním krokem bylo nasimulovat správné dopady signálu na jednotlivé přijímače z majáků. Druhým krokem bylo porovnat tyto simulační hodnoty s hodnotami naměřenými a vymyslet metodu ke zpracování výsledků.

Za tímto účelem jsem v C# napsal vyhodnocovací software, který má dvě už zmíněné části. Tou první je část simulační a tou druhou je část porovnávací a vyhodnocující data. Cílem tohoto softwaru nebylo, aby dokázal vyhodnotit data jen pro již zmíněnou mapu. Cílem bylo, aby dokázal vyhodnotit naměřená data na jakékoliv mapě a při libovolném množství dat ke zpracování. Tudíž software musel být univerzální. Simulační software jsem chtěl navrhnout co nejjednodušeji. Proto jsem zvolil grafickou formu simulace, která spočívá v manuálním ovládní robota z klávesnice, kdy pomocí šipek ovládáme robota nahoru, dolů, doleva a doprava. Díky tomu můžeme s robotem najet na souřadnice, které potřebujeme. Ty se zobrazují ve dvou labelech. Dále můžeme robota otáčet doleva a doprava, tím dosáhneme žádaného natočení. Pokud stiskneme klávesu L, robot se lokalizuje a začne přijímat data z majáků. Klávesou F1 data ukládáme a klávesou F2 nasimulovaná data vytiskneme do pěti různých textboxů, pro každý maják. Zároveň aplikace na disku vytvoří pět textových souborů se jmény majáků a do nich uloží nasimulovaná data. Ukázková aplikace je zobrazena na obrázku číslo 22. V softwaru stačí zadat pouze velikost polynomu a souřadnice majáků. Dopady signálu z majáků na přijímač, a tudíž na jednotlivé IR přijímače, jsou přepočítávány pomocí úhlů mezi robotem a signálem. Jak víme, tak přijímač má 16 IR přijímačů. To znamená, že jednotlivé IR diody jsou rozmístěny po 11,25 stupních. Při pohybu robota se úhly průběžně mění a signály dopadají na jiné IR přijímače. Při otáčení robota to funguje podobně. Jen se při tom cyklicky posouvá šestnácti prvkové pole. Pro jednu souřadnici a pro jedno natočení se nám vypíše jen jeden řádek. Jak jsem poznamenal výše, při měření reálných dat jsme měli řádků, nebo chcete-li vzorků sto. To zde není potřeba, protože by všechny vzorky vypadaly stejně.



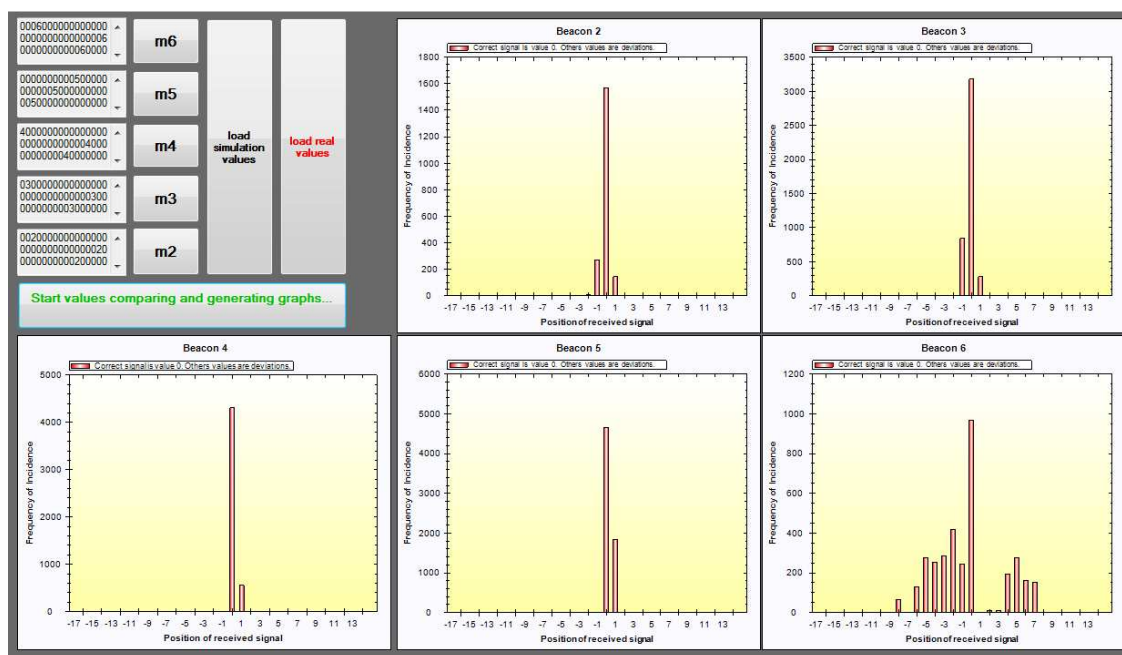
Obr 22 Simulační software.

K vyhodnocení naměřených reálných dat jsem použil následující metodu. Pokud vím, že v danou chvíli na dané souřadnici při daném natočení byl například maják 5 viděn ve výseči přijímače s indexem 8, což zjistíme ze simulačních dat, tak můžeme zjistit, jestli tomu tak bylo i v reálném měření, a pokud ne, tak o kolik výsečí byl signál viděn vedle a na jakou stranu. Pokud signál dopadl do správné výseče, tak tento jev ohodnotíme nulou. Například pokud signál dopadl vedle o jednu výseč doprava, tak hodnocení tohoto jevu bude kladná jednička. Jestliže signál dopadne například o tři výseče vlevo, tak hodnocení jevu bude záporná trojka. Reálná data se nám od simulačních budou jistě lišit a to z důvodu odrazů infračerveného světla, nebo také z důvodu zákrytu přijímače rameny robota.



*Obr. 23 Ilustrační znázornění použité vyhodnocovací metody (dopad signálu z majáku na správnou výšeč).*

Ve vyhodnocujícím softwaru na obrázku 24 si postupně načteme data ze souborů, které jsme získali při simulaci do dvourozměrných polí. Pro každý maják jedno pole. V našem případě se jedná o pole velikosti šestnácti řádků a osmdesáti sloupců, protože test byl proveden pro dvacet souřadnic při čtyřech natočeních. Následně načtu najednou všechny soubory s reálnými daty. Ty se budou zpracovávat podle jejich názvu podle abecedy, takže nemusíme řešit, který vybereme první.



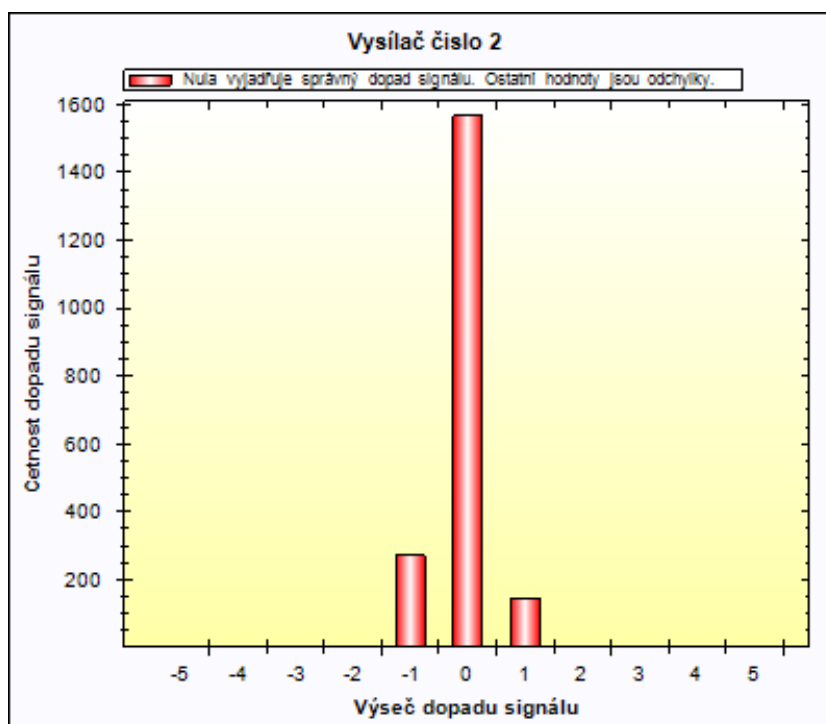
Obr. 24 Software pro vyhodnocení naměřených dat.

Nejprve tato data upravíme pro načtení do dvourozměrných polí. Opět zde platí jedno pole pro jeden maják. Postupně projedeme soubory po řádcích a odstraníme z nich nežádoucí znaky. V našem případě se jedná o hranaté závorky, čárky a mezery. Dále zjistíme četnosti výskytů majáků na jednotlivých pozicích. To znamená, že nám ze sta řádků pro každý soubor vznikne řádek jeden obsahující již zmíněné četnosti. Těmito řádky již naplníme dvourozměrná pole. Nyní máme pole naplněné simulačními daty, které přísluší danému majáku. K tomuto jednomu poli vždy přísluší právě jedno pole naplněné četnostmi reálných dat. Pole se simulačními daty převedeme do jednorozměrného pole o osmdesáti prvcích, které vyjadřují indexy jednotlivých řádků, tak že v jedné indexu bude hodnota vyjadřující polohu majáku v daném řádku dvourozměrného pole. V tuto chvíli použijeme výše zmíněnou vyhodnocovací metodu a to tak, že budeme současně procházet právě ty dvě pole, které k sobě patří. To znamená dvourozměrné pole četností reálných dat a pole jednorozměrné dat simulačních s hodnotami o poloze. Pokud v poli s četnostmi nebude na daném indexu nula, uložíme číslo indexu a od něho odečteme hodnotu pole s hodnotami o poloze s příslušným indexem. Ve výsledku to může být nula, kladné nebo záporné číslo. Toto číslo použijeme jako index dalšího pole, přičemž do těchto indexů budeme postupně přičítat hodnoty z polí četností. Tímto získáme námi požadovaný výsledek zvolené metody. Nakonec jsem k zobrazení výsledku použil komponenty ZedGraphs, která jde zdarma importovat do prostředí Visual C# od firmy Microsoft. Použil jsem sloupcové grafy, které jsou zobrazeny na obrázcích 25, 26, 27, 28 a 29.

### 5.3 Zhodnocení provedeného experimentu:

V závěru bych chtěl vyvodit závěry z naměřených dat s využitím grafů zobrazujících dopady signálů z majáků na jednotlivé výšeče přijímače. Dopad do správné výšeče je v grafu znázorněn nulou. Celkem bylo pořízeno 8000 vzorků

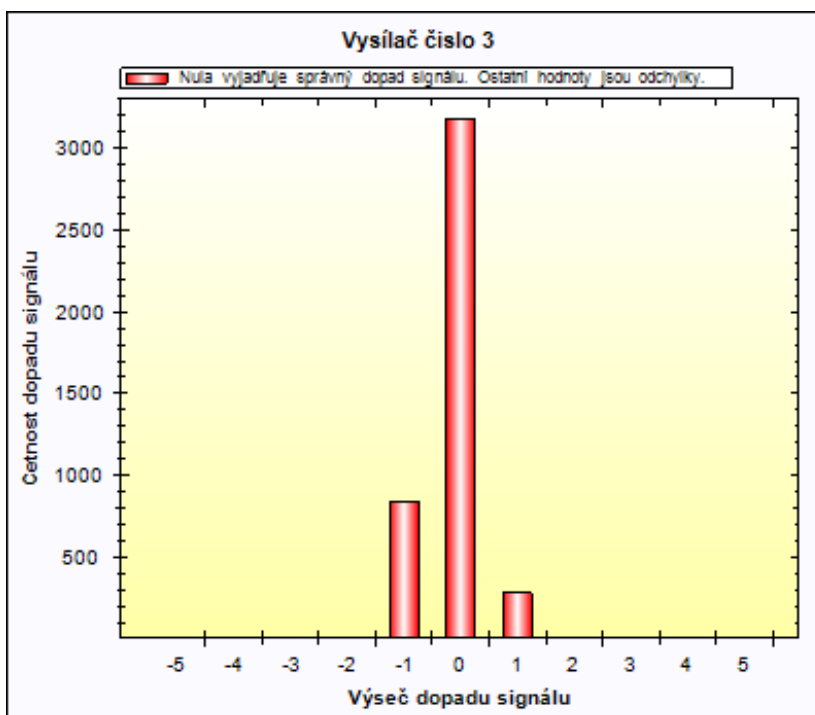
Na obrázku číslo 25, který nám znázorňuje maják číslo 2, dopadal signál ve většině případů do správné výšeče přijímače a občas dopadl o jednu výšeč vlevo, nebo vpravo. Celkový počet dopadů nám ale říká, že maják 2 byl viděn zřídka. Tohle bylo dáno špatným umístěním a natočením majáku do mapy, což bylo součástí experimentu.



Obr. 25 Graf s vyhodnocením správnosti dopadu signálu pro maják 2.

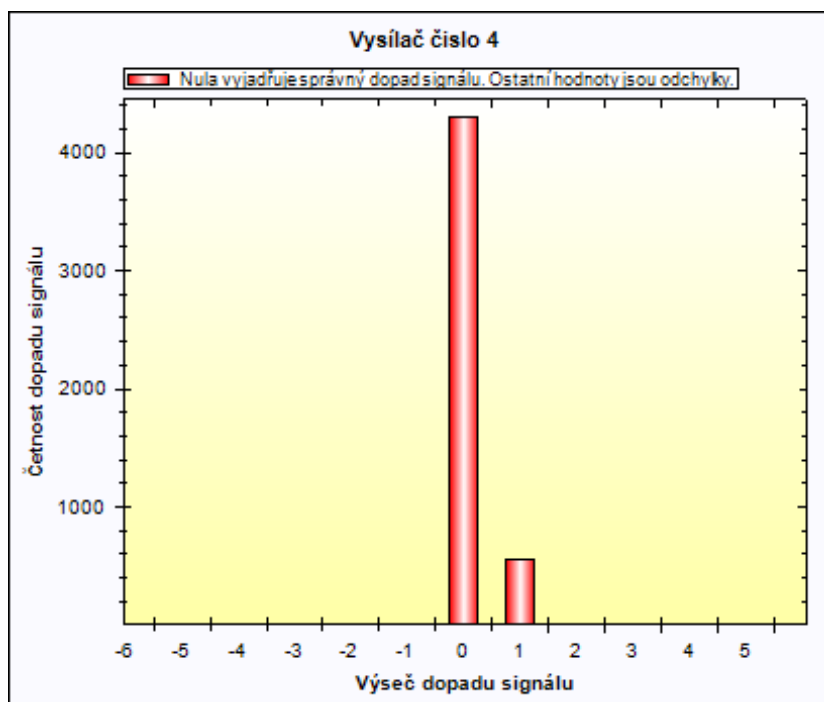
Na obrázku číslo 26, který nám znázorňuje maják číslo 3, signál dopadl ve většině případů do správné výšeče, podobně jako v předchozím případě a to asi 3300 krát. Celkový počet dopadů je razantně vyšší, než tomu bylo u majáku číslo 2. Maják 3 byl během experimentu na pozici s dobrou viditelností.





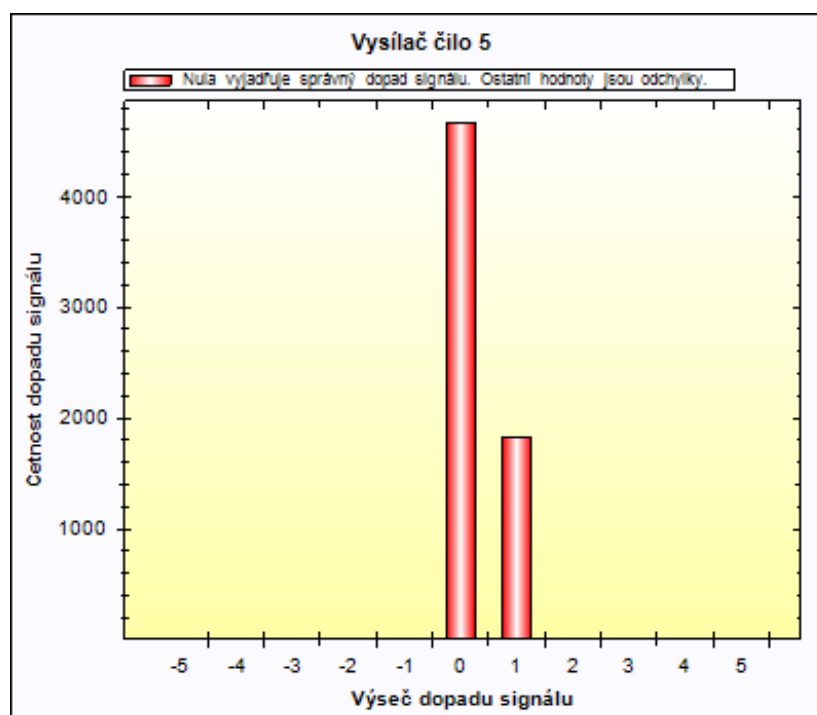
Obr. 26 Graf s vyhodnocením správnosti dopadu signálu pro maják 3.

Na obrázku číslo 27, který nám znázorňuje maják číslo 4, můžeme vidět, že většina signálů byla viděna ve správné výšce, a to asi přes 4 900. Počet špatných signálů, které se liší pouze o jednu pozici vpravo, je zanedbatelný. Tento maják dosáhl při experimentu nejlepších výsledků, což bylo dáno jeho nejlepším umístěním.



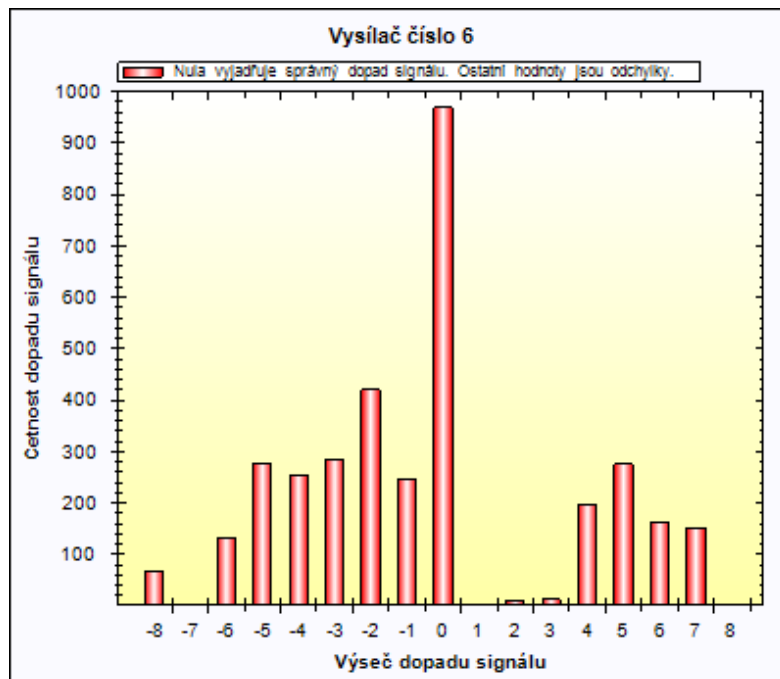
Obr. 27 Graf s vyhodnocením správnosti dopadu signálu pro maják 4.

Na obrázku číslo 28, který nám znázorňuje maják číslo 5, vidíme, že maják byl viděn asi 5000 krát na správné výšeci a 2000 krát ve výšeci o pozici vpravo.



Obr. 28 Graf s vyhodnocením správnosti dopadu signálu pro maják 5.

Na obrázku číslo 29, který nám znázorňuje maják číslo 6, vidíme obrovský vliv odrazů, což bylo dáno umístěním majáku číslo 6 kolmo proti bílé zdi. Přičemž robot operoval právě mezi majákem a zdí. Signál se ode zdi odrazil a dopadal na jiné výšeče přijímače. Zmíněné umístění majáku bylo součástí experimentu. Počet dopadů signálu do správné výšeče je v tomto případě asi 1000.



Obr. 29 Graf s vyhodnocením správnosti dopadu signálu pro maják 6.

Dosažené výsledky z experimentu potvrzují funkčnost navigace.



## 7 Závěr

Všechny zadané cíle práce se podařilo splnit v požadovaném rozsahu. Prostudoval jsem technologie, které by mohli být využity k sestavení majáků a jejich praktické realizaci. Na trhu není k dispozici navigační systém pracující na podobném principu. Většina dostupných a běžně používaných technologií využívá pouze možnosti virtuálních zdí a jím obdobných principů.

Navigační systém Virtual Wall Lighthouse, který byl inspirací pro návrh majáků, využívají robotické vysavače Roomba od firmy iRobot. Materiálů, které se zabývají tímto systémem, nejsou na internetu dostupné, což je zcela jistě v zájmu firmy iRobot. K tomuto lokalizačnímu systému jsem našel pouze základní informace týkající se jeho funkce.

Pro přenos signálu z majáků do robota, na kterém systém funguje, bylo zvoleno infračervené světlo. Kvůli snížení spotřeby energie byl zvolen vysokofrekvenční modul, který zajistí možnost, dálkové aktivace majáků. To znamená, že majáky budou vysílat jen tehdy, pokud je robot může vidět. Pro pulzní modulaci infračerveného světla z vysílacích diod byl použit mikrokontroler. Díky použití mikrokontroleru bude každý maják vysílat pomocí pulzní modulace jedinečný identifikační kód a to kvůli rozlišení jednotlivých majáků v prostředí.

Tato zařízení byla sestavena a byl s nimi učiněn praktický experiment, u kterého byl proveden rozbor naměřených dat. Navigační systém je plně funkční a je nainstalován v reálném robotu. V kapitole 6 bylo prostřednictvím jednoduchého experimentu ukázáno na funkčnost našeho prototypu. V současnosti probíhají další mnohem náročnější experimenty, které umožňují postupné odlaďování navigačního systému. V poslední době se výsledky neustále zlepšují, což zvyšuje možnosti pro komerční využití.

Navržený lokalizační systém pracuje na jiném principu, než je tomu u systému Virtual Wall Lighthouse. Princip určování polohy u systému Virtual Wall Lighthouse je založen na měření vzdálenosti mezi přijímačem v robotu a jednotlivými vysílači. Princip našeho systému je založen na měření úhlů mezi přijímačem a jednotlivými majáky. V budoucnu dojde k vylepšení majáků ve formě zmenšení jejich velikosti a k úpravě jejich designu.



## Použitá literatura

- [1] IR – SFH 5110. *Datasheet* [online]. 2007 [cit. 20. 4. 2010] Dostupný z WWW: < <http://www.alldatasheet.com> >
- [2] SFH 485 - 2. *Datasheet* [online]. 1997 [cit. 22. 4. 2010] Dostupný z WWW: < <http://www.alldatasheet.com> >
- [3] TX-SAW 433. *Datasheet* [online]. [cit. 10. 5. 2010] Dostupný z WWW: < [http://www.ges.cz/sheets/t/tx\\_saw\\_s.pdf](http://www.ges.cz/sheets/t/tx_saw_s.pdf) >
- [4] RX-BC-NBK 433. *Datasheet* [online]. [cit. 10. 5. 2010] Dostupný z WWW: < [http://www.ges.cz/sheets/r/rx\\_bc\\_nb.pdf](http://www.ges.cz/sheets/r/rx_bc_nb.pdf) >
- [5] RTFQ1, RRFQ. *Datasheet* [online]. 2002 [cit. 11. 5. 2010] Dostupný z WWW: < [http://www.sagitron.es/data\\_sheet/fm\\_rftq.pdf](http://www.sagitron.es/data_sheet/fm_rftq.pdf) >
- [6] ATmega8 16AU. *Datasheet* [online]. 2003 [cit. 11. 5. 2010] Dostupný z WWW: < <http://www.ges.cz/sheets/m/mega8.pdf> >
- [7] MYSLÍK, Vladimír. IrDA – Kompletní popis. hw [online]. 1998, říjen [cit. 21. 4. 2010]. Dostupný z < <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART784-IrDa---Kompletni-popis.html> >
- [8] ŠÁRA, Zdeněk. Normy pro IR datový přenos. hw [online]. 1999, březen [cit. 21. 4. 2010]. Dostupný z < [http://hw.cz/docs/ir\\_prenos/ir\\_protokoly.html](http://hw.cz/docs/ir_prenos/ir_protokoly.html) >
- [9] Infračervené záření [online]. 2010, duben [cit. 20. 4. 2010]. Dostupný z < [http://cs.wikipedia.org/wiki/Infračervené\\_záření](http://cs.wikipedia.org/wiki/Infračervené_záření) >
- [10] Obr. 13. [online]. 2009 [cit. 2. 5. 2010] Dostupný z WWW: < <http://www.roboticvacuumcleaners.co.uk/robotic-vacuum-reviews/irobot-roomba-530-vacuum.php> >
- [11] Obr. 12. [online]. 2009, srpen [cit. 2. 5. 2010] Dostupný z WWW: < <http://www.upgradenation.com/images/resources/709985/e9179fbee18d4901b779bbf43491ebc2.jpg> >
- [12] SHARP GP2Y0A02YK, SHARP GP2D12. *Datasheet* [online]. 2008 [cit. 20. 4. 2010] Dostupný z WWW: < <http://datasheet4u.com/> >
- [13] WINKLER, Zbyněk. Lokalizace. *robotika* [online]. 2003, listopad [cit. 20. 4. 2010]. Dostupný z WWW: < <http://robotika.cz/guide/localization/cs> >

- [14] Obr. 14. [online]. 2009, květen [cit. 2. 5. 2010] Dostupný z WWW: <  
<http://www.flickr.com/photos/samsteele/3731184025/>>
- [15] *Robotika* [online]. [cit. 8. 5. 2010] Dostupné z WWW: <  
<http://www.robotika.cz>>
- [16] *Hobbyrobot* [online]. [cit. 2. 5. 2010] Dostupné WWW:  
<<http://www.hobbyrobot.cz> >
- [17] TOPIČ, Pavel. *Provedení ověřovacích experimentů lokalizace mobilního robotu*  
[online]. 2007 [cit. 6. 5. 2010] Dostupné WWW: < <http://uai.fme.vutbr.cz>>
- [18] Obr. 2. [online]. 2008, srpen [cit. 2. 5. 2010] Dostupný z WWW: <  
<http://www.netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/img/svetelne-spektrum.jpg>  
>