



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 REALIZACE NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU PRO AUTONOMNÍ MOBILNÍ ROBOT.

THE NAVIGATION SYSTEM DESIGN FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOT.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL RŮŽIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. STANISLAV VĚCHET, PH.D.

BRNO 2012

Zadání diplomové práce

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem indoor navigačního systému pro autonomní mobilní robot, který je založen na bázi infračerveného světla. Systém je dále založen na měření relativních úhlů pomocí značek v prostředí, díky kterým se robot dokáže zorientovat a rozeznat svojí absolutní polohu v prostředí, ve kterém se pohybuje.

Abstract

This thesis deals with design of navigation system for autonomous mobile robots, which is based on the infrared light. The system is based on measuring the relative angles using landmarks in the environment that make the robot can orient and recognize its absolute position in an environment in which it operates.

Klíčová slova

Maják, reflektor, IrDA, navigační systém, navigace, lokalizace, autonomní mobilní robot, přijímač, vysílač.

Keywords

Beacon, Reflector, IrDA, navigation system, navigation, localization, autonomous mobile robot, receiver, transmitter.

Prohlášení o originalitě

Prohlašuji, že jsem uvedenou práci zpracoval samostatně pod vedením Ing. Stanislava Věcheta, Ph.D. a použil jsem pouze uvedené zdroje.

Květen 2012

Bc. Michal Růžička

.....

Bibliografická citace

RŮŽIČKA, M. *Návrh a realizace navigačního systému pro autonomní mobilní robot..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Věchet, Ph.D..

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové 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 diplomové práce.....	3
Abstrakt.....	5
Klíčová slova	5
Prohlášení o originalitě	7
Bibliografická citace	7
Poděkování.....	9
Věnování.....	11
Obsah	13
1 Úvod	15
2 Navigační systém.....	17
2.1 Historie a vývoj systému	17
2.2 Komponenty	17
2.2.1 Přijímač	17
2.2.2 Vysílač	19
2.3 Funkce systému	21
2.3.1 Princip určení relativních úhlů.....	21
2.3.2 Simulační software pro určování úhlů	22
3 Ir modulace	25
3.1 Parametry modulace	25
3.2 Popis primárního filtru	25
3.3 Simulace činnosti primárního filtru v C#.....	26
4 Radiová komunikace	29
4.1 Aurel moduly	29
4.2 TR moduly	29
4.2.1 Co to jsou TR moduly.....	29
4.2.2 Modul TR-52B.....	29
4.2.3 Funkce v navigačním systému	32
5 Aplikace na reálném robotu	35
5.1 Popis robotu	35
5.1.1 Podvozek.....	35

5.1.2	Senzory robotu	37
5.1.3	Řídící jednotka	37
5.2	Software	38
5.2.1	Diagnostický software pro Windows.....	39
5.2.2	Diagnostický software pro Android.....	40
6	Experimenty	43
6.1	Použitý hardware.....	43
6.2	Použitý software.....	43
6.3	Výdrž reflektoru na baterie	44
6.3.1	Popis experimentu.....	44
6.3.2	Výsledky	45
6.4	Dosah vysílače	45
6.4.1	Popis experimentu.....	45
6.4.2	Výsledky	45
6.5	Měření úhlů	45
6.5.1	Popis experimentu.....	45
6.5.2	Výsledky	46
6.6	Experiment na reálném robotu	47
6.6.1	Použitý software	47
6.6.2	Popis experimentu.....	49
6.6.3	Výsledky	49
7	Závěr.....	53
	Použitá literatura	55

1 Úvod

Pro provoz autonomního mobilního robotu je zapotřebí mnoho systémů. Jedním ze stěžejních systémů je navigace. Navigační systém určuje aktuální polohu robotu v mapě, ve které robot operuje. Mapu si lze představit jako obecný polygon daný n body. Trajektorie pohybu robotu je vypočtena plánovačem. Při pohybu ze startovního stavu do cílového musí robot pro dosažení cíle projít obecně n stavů. Každý stav je reprezentován souřadnicemi a absolutním natočením robotu v daném polygonu. Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat navigační systém pro reálný autonomní mobilní robot. Ve vnitřních prostorech nelze využít konvenčních metod určování polohy robotu. Nejznámější konvenční metodou je systém GPS. Pro vnitřní prostory musí být použita alternativní metoda určování polohy robotu.

Navržený systém je založen na určování polohy v dané mapě pomocí značek v prostředí. Poloha je určována měřením vztažných úhlů mezi jednotlivými značkami a robotem. Systém sestává ze dvou hlavních komponent. První komponentou je vysílač, který funguje jako značka v prostředí. Předpokládá se znalost přesné polohy ve známé mapě každého z vysílačů. Druhou komponentou je přijímač, který je umístěn v robotu. Funkcí přijímače je měření vztažných úhlů mezi n vysílači a robotem. Pro měření vztažných úhlů je použito modulované infračervené světlo. Žádné vysílače nevysílají infračervený signál ve stejnou dobu. O tom, který z vysílačů bude aktivován, rozhoduje robot. Přijímač, který je umístěn v robotu, postupně aktivuje všechny vysílače v dané mapě a provede měření.

Pro ověření funkce systému bylo provedeno několik experimentů, které dokazují funkčnost systému. Navigační systém byl aplikován na reálném robotu. Před návrhem systému byly zadány základní specifikace. Systém měl být odolný vůči rušení v prostředí a měl být provozuschopný na baterie alespoň jeden den. Tato práce je rozšířením bakalářské práce, která se zabývala stejnou tematikou. V rámci předešlé práce byl vyvinut základní navigační systém. V původní práci jsou obsaženy ověřovací experimenty, které dokazují funkčnost navigace. Nová práce rozšiřuje možnosti původního navigačního systému. Hlavními vylepšeními jsou: větší dosah mezi přijímačem a vysílačem, možnost provozu více robotů v rámci jednoho navigačního systému a možnost volit *ID* vysílače pomocí panelu, který je umístěn přímo na zařízení.

2 Navigační systém

V této kapitole bude vysvětlena funkce navigačního systému. Detailní popis a rozbor použitých technologií budou rozebrány v následujících kapitolách. Jedná se o navigační systém pro vnitřní prostory budov k určování polohy a navigaci autonomních mobilních robotů. Určování polohy probíhá pomocí měření vztažných úhlů mezi přijímačem a několika vysílači. Tento systém byl testován na reálném robotu.

2.1 Historie a vývoj systému

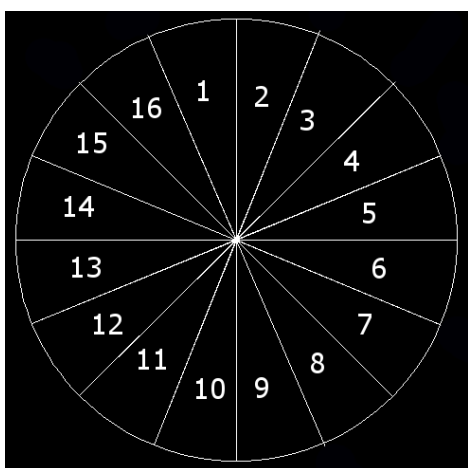
Tato práce rozšiřuje možnosti systému, který byl řešen v rámci bakalářské práce s názvem “Návrh a konstrukce majáků pro indoor navigaci mobilních robotů”. [8] Hlavním vylepšením systému je větší dosah mezi přijímačem a vysílačem. Zatímco u původního systému byl dosah 5 metrů, u nového je to 15 metrů. Delší dosah umožňuje pohyb robotu v rozsáhlejší prostředí za použití menšího počtu vysílačů. Další významnou úpravou je možnost navigace více než jednoho robotu. Méně podstatnou, ale praktickou změnou, je možnost změny *ID* vysílače bez nutnosti modifikace firmwaru.

2.2 Komponenty

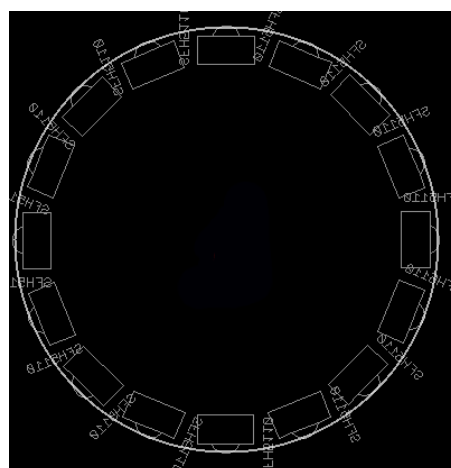
Systém je složen ze dvou hlavních komponent. Tou první je přijímač, který je umístěn v robotu, a dále několik vysílačů, které jsou rozmístěny v předem známém polygonu, kde se robot pohybuje.

2.2.1 Přijímač

Hlavními komponentami jsou infračervené přijímače s pásmovou propustí 36 kHz. Šestnáct přijímačů je rozmístěno do kruhu se stejnými rozestupy. Tím je úhel 360 stupňů diskretně rozdělen do šestnácti výsečí po 22.5 stupních. Díky této topologii je možné určit vztažný úhel k jednotlivým vysílačům. Samotný infračervený přijímač je na obrázku 3.



Obr. 1 Ukázka rozdělení do 16 výsečí.



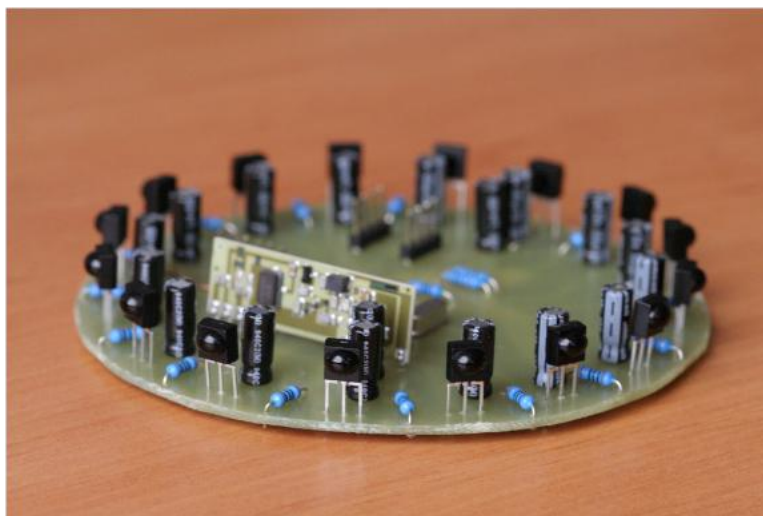
Obr. 2 16 přijímačů rozmístěných do kruhu.

Další hlavní komponentou je radiový modul, pomocí kterého lze postupně zadávat povely jednotlivým vysílačům, aby začaly vysílat. Celé zařízení je řízeno mikrořadičem ATmega8, který obsahuje firmware nezbytný pro funkci celého zařízení. Firmware obsahuje primární filtr, který vyhodnocuje šířkově modulovaný signál na jednotlivých přijímačích a rozhoduje o tom, zda lze signál považovat za platný, či ne. Výstupy tohoto filtru jsou zároveň vstupy do filtru sekundárního. Primární filtr bude podrobně rozebrán v kapitole 3.2. Sekundární filtr provádí výpočet relativního úhlu dopadu signálu a jeho důvěryhodnosti. Ze zařízení jsou zasílána data přes USART do řídicí jednotky robotu, kde se s nimi dále pracuje. Výstupem celého navigačního systému je naměřený relativní úhel k danému vysílači a jeho důvěryhodnost. Přijímací prvek je uložen v robotu. Na obrázku 4 je přijímač navigačního systému.

Změnou oproti předchozí verzi je náhrada primárního filtru za efektivnější a využití nového radiového modulu, který podporuje zesíťování všech prvků v systému a tím umožňuje provoz více robotů v rámci jednoho systému. Touto problematikou se podrobně zabývá kapitola 4.



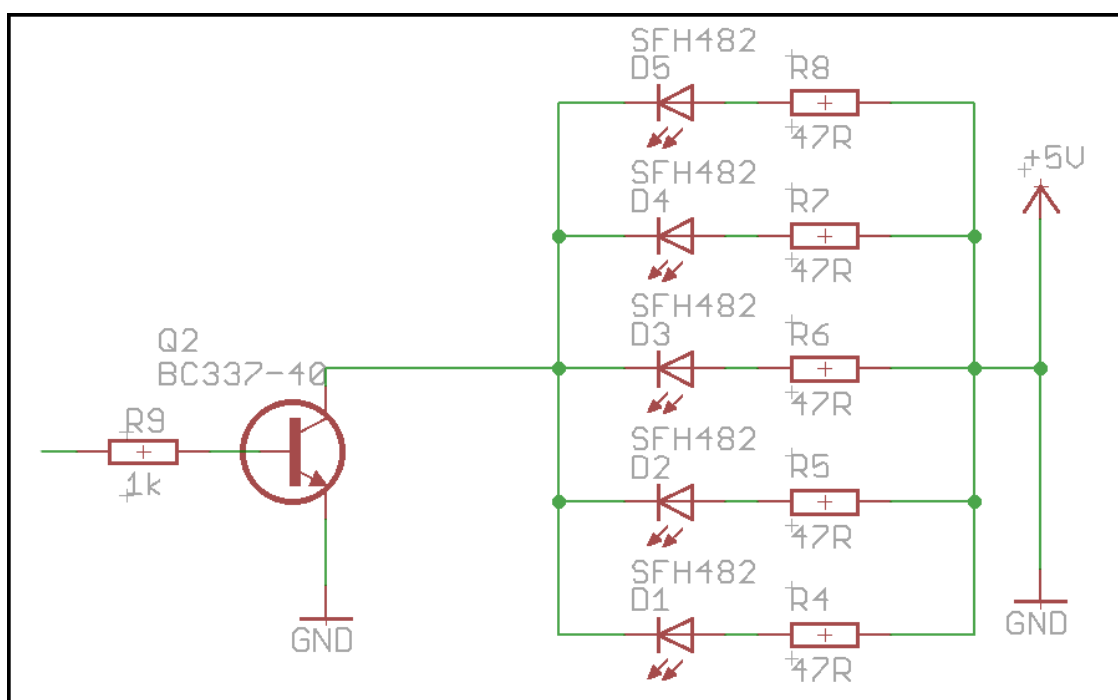
Obr. 3 Infračervený přijímač SFH- 5110. [1]



Obr. 4 Ukázka přijímače navigačního systému. [2]

2.2.2 Vysílač

Hlavní funkcí tohoto zařízení je vysílání širkově modulovaného infračerveného signálu na povel přijímače. Tyto povely jsou přenášeny pomocí radiového signálu. Přenos a modulace infračerveného signálu jsou zajištěny pomocí bipolárního tranzistoru typu NPN se zapojením se společným emitorem a několika infračervených vysílacích led prvků. Tranzistor je spínán pomocí pinu mikrokontroleru. Firmwarem mikrokontroleru je určena doba svitu diody, logické jedničky, a doba zhasnutí, logické nuly. Přesnými parametry modulace se zabývá následující kapitola.



Obr. 5 Zapojení tranzistoru a vysílacích led prvků.

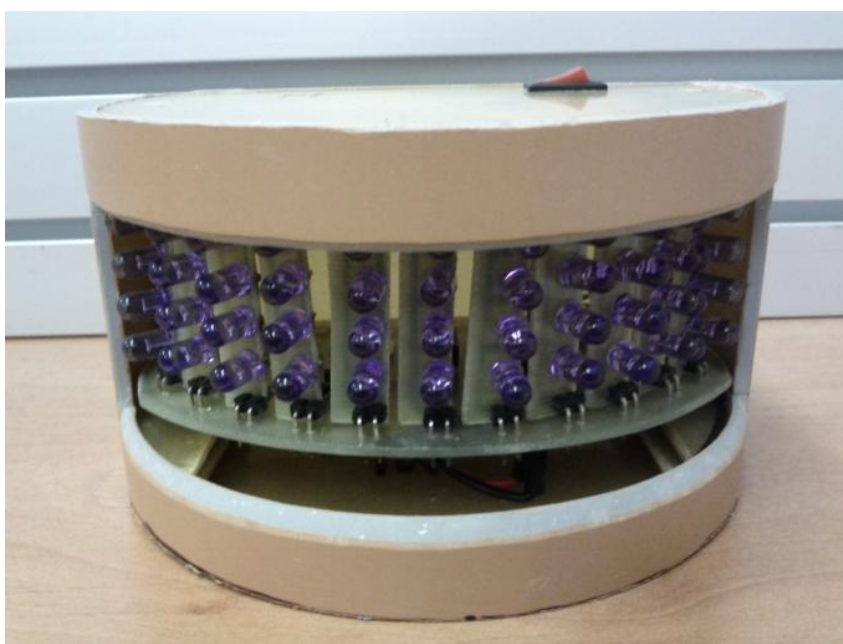


Obr. 6 Vysílací prvek SFH 482-5.
[3]

Byly vyvinuty dva typy vysílačů. Maják obsahuje 5 infračervených vysílacích led prvků. Reflektor jich obsahuje 44. Jejich funkční obvody a firmware jsou totožné. Maják je určen pro menší prostory. Reflektor pro rozsáhlejší prostory.



Obr. 7 Maják. [2]



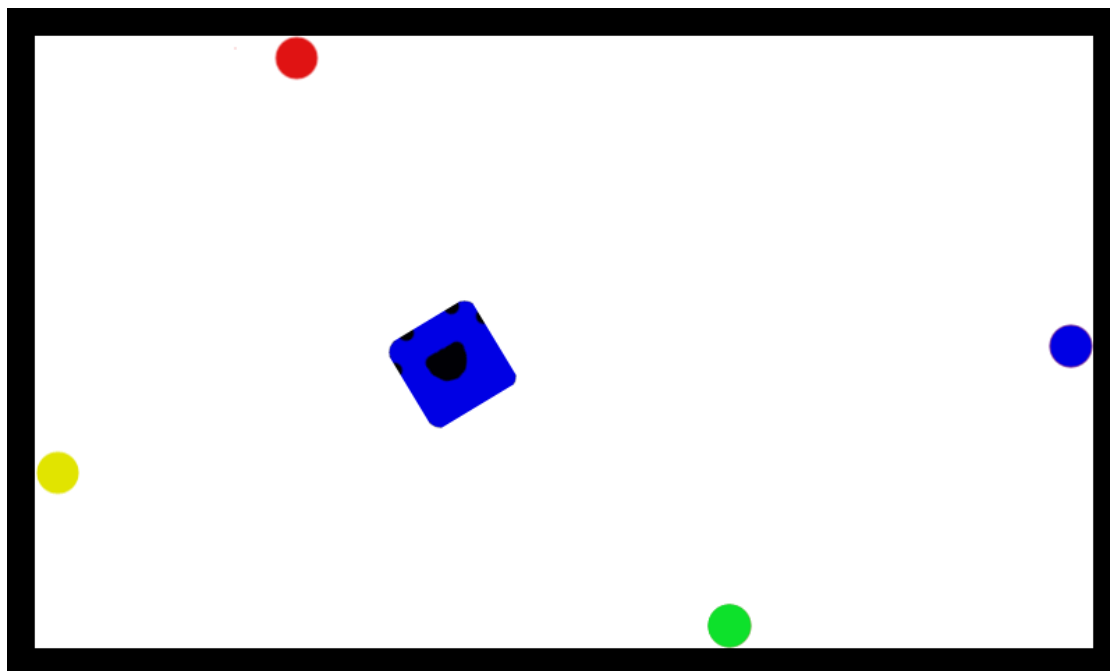
Obr. 8 Reflektor.

Jednou z inovací předchozí verze systému je přítomnost panelu, pomocí kterého lze navolit v binárním kódu *ID* jednotlivých zařízení. Další inovací je použití programovatelného rádiového modulu, který umožňuje navigaci více robotů v rámci jednoho navigačního systému.

U druhého typu vysílače je díky zvýšenému počtu vysílacích prvků dosaženo nárůstu intenzity signálu a tím také dosahu vysílače. Zvýšení intenzity signálu rapidně zvýšilo odběr proudu. Z jedné diody je při jejím svitu odebírán proud 100 mA. V zařízení tedy jenom samotný obvod s infračervenými diodami odebírá 4.4 A.

2.3 Funkce systému

K zajištění funkce systému je nutná znalost mapy a přesné rozmístění jednotlivých vysílačů v mapě. K eliminaci vnějších vlivů prostředí, například odrazy signálu, nebo zastínění výhledu na vysílač, zapříčiněných kolemjdoucími lidmi, je nutné umístit vysílače dostatečně vysoko. Každému z vysílačů je přiřazeno unikátní *ID*, na které bude daný vysílač při volání reagovat. Přijímač postupně podle *ID* aktivuje jednotlivé vysílače, které po aktivaci začnou vysílat. Každý vysílač se po odvysílání signálu sám deaktivuje. Po naměření všech aktivovaných vysílačů jsou z přijímače odeslány naměřené úhly a jejich důvěryhodnosti, pomocí nichž je dále určena poloha a relativní natočení robota vůči vysílačům. Přepočítání na absolutní natočení je určeno právě díky znalosti rozmístění vysílačů.



Obr. 10 Ukázka rozmístění vysílačů v mapě.

2.3.1 Princip určení relativních úhlů

V této podkapitole bude stručně popsána funkce sekundárního filtru. Vstupem do filtru je šestnáct stavů jednotlivých infračervených přijímačů. Stavby mohou nabývat hodnot 1, aktivní, nebo 0, neaktivní. Tyto hodnoty určuje primární filtr. Výstupem

sekundárního filtru je změřený relativní úhel k danému vysílači a důvěryhodnost jeho měření. Ke každému ze šestnácti stavů je přiřazena jedna kruhová výseč. Pozice každého z přijímačů je transformována do Kartézských souřadnic (1). [2] Pro každou osu zvlášť se vypočte průměr a výsledný úhel je přepočten zpět (2). [2] Důvěryhodnost měření je vypočtena jako délka výsledného vektoru úhlu (3). [2]

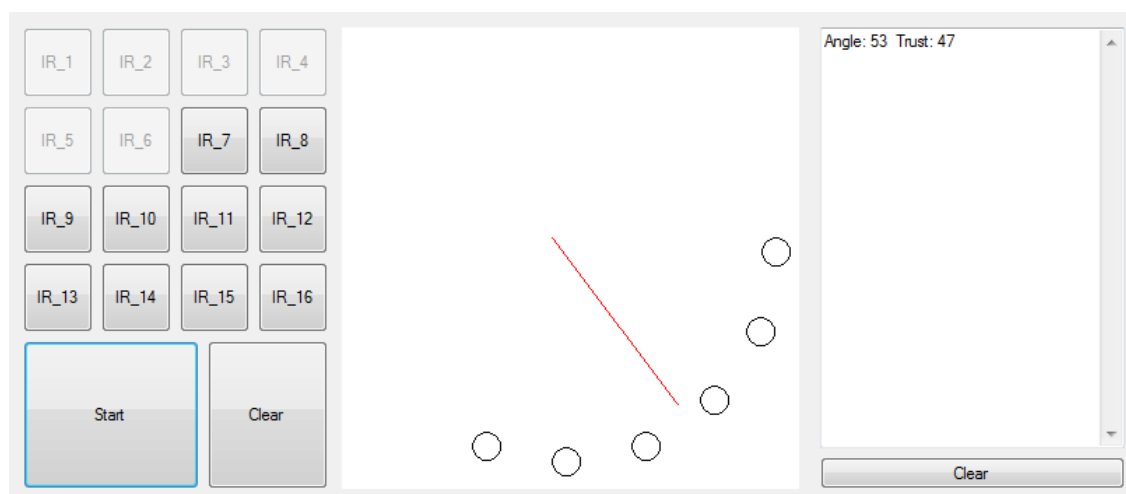
$$c = \sum_{i=1}^M D_i \cos \varphi_{ri}, \quad s = \sum_{i=1}^M D_i \sin \varphi_{ri}, \quad (1)$$

$$\varphi_{rel} = \text{atan2}(s, c), \quad (2)$$

$$val = \sqrt{s^2 + c^2} \quad (3)$$

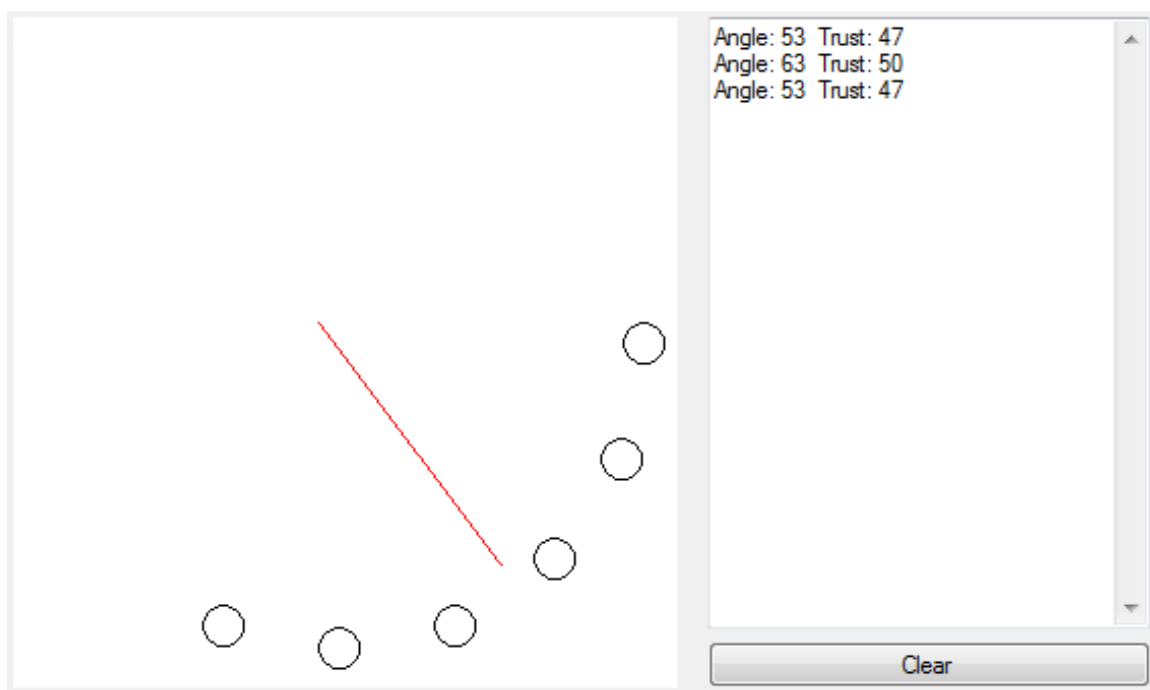
2.3.2 Simulační software pro určování úhlů

Tento software slouží jako nástroj na odladění použité metody určování relativních úhlu dopadu signálu. V reálném přijímači je použita stejná metoda. Jedná se o sekundární filtr. V uživatelském prostředí aplikace se nachází tlačítka s označením IR_1 až IR_16, kde každé z nich představuje jeden infračervený přijímač na reálném přijímači. Při stisku tlačítek je možné simulovat stavy na jednotlivých přijímačích, tedy výstup z primárního filtru. Aplikace vypíše naměřený úhel a jeho důvěryhodnost. Důvěryhodnost nabývá hodnot 0 až 100. Výsledek není brán v potaz v případě poklesu důvěryhodnosti pod 19. Pomocí aplikace lze například simulovat stavy, při kterých vznikají odrazy infračerveného světla.



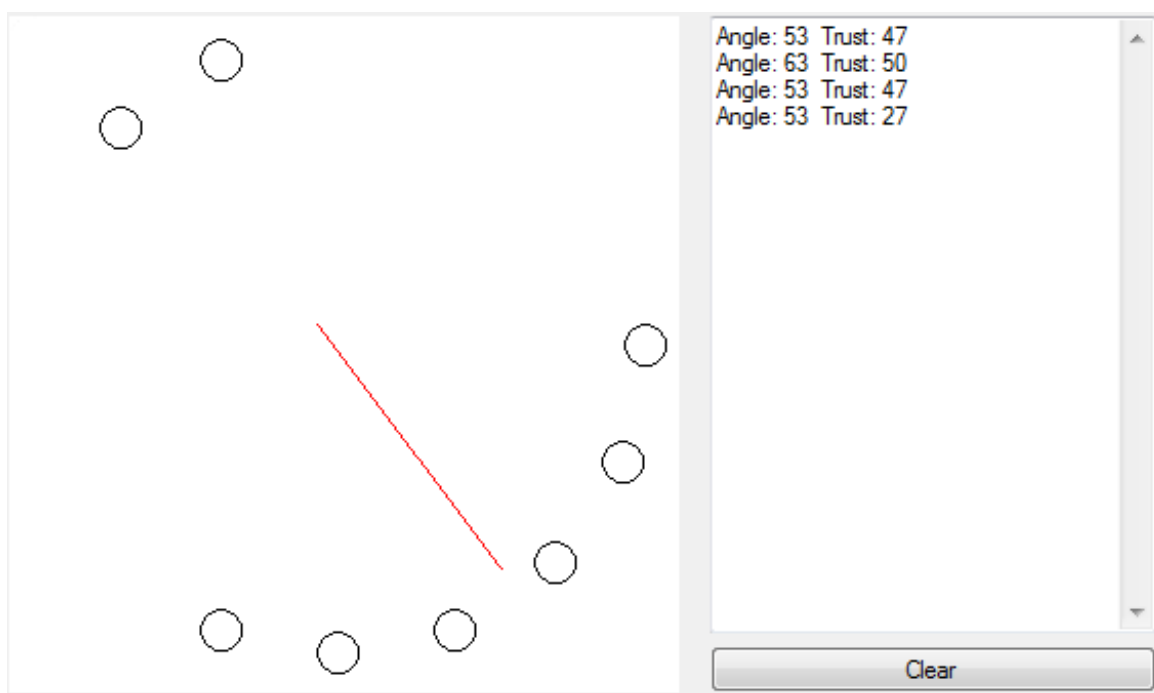
Obr. 12 Ukázka aplikace.

Na obrázku 12 je ideální stav, kdy signál není ovlivněn odrazy. Byl naměřen úhel 53 stupňů a důvěryhodnost 47.



Obr. 13 Ideální stav bez odrazů.

Na obrázku 13 je znázorněna ukázka, jak vypadají výstupní hodnoty, nastanou li odrazy infračerveného světla. Naměřený úhel se nezmění, ale důvěryhodnost se sníží na 27.



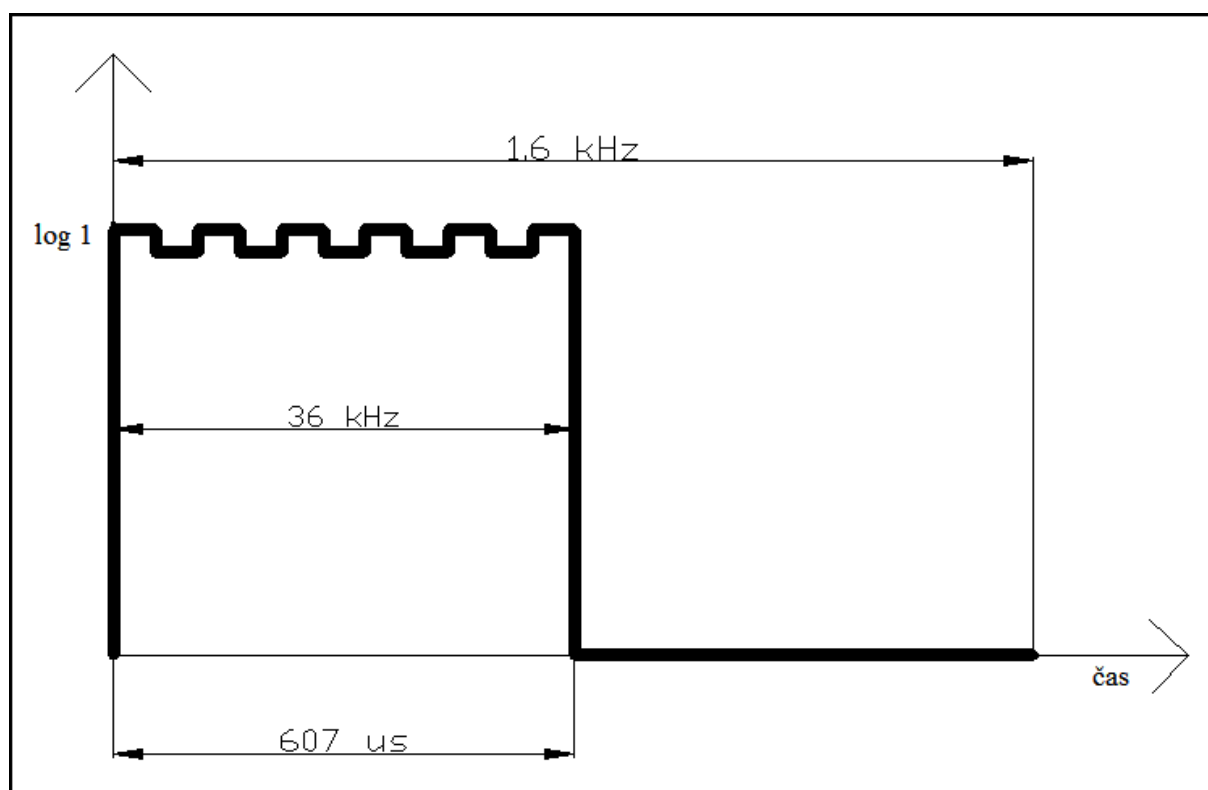
Obr. 14 Stav s odrazy.

3 Ir modulace

Jak bylo zmíněno výše, přenos signálu, podle kterého je určen vztažný úhel robotu k vysílači, probíhá pomocí infračerveného symetricky šířkově modulovaného signálu.

3.1 Parametry modulace

Vysílačem je na výzvu vysláno 40 pulzů o frekvenci 1.6 kHz. Doba trvání logické jedničky a logické nuly je stejná a to 607 μ s. Při vysílání logické jedničky je provedena sekundární modulace o frekvenci 36 kHz. Sekundární modulace byla použita z důvodu citlivosti přijímačů na pásmovou propust na 36 kHz. Tímto lze docílit odolnosti vůči rušení jiným zdrojem infračerveného signálu.



Obr. 15 Ukázka modulace.

3.2 Popis primárního filtru

Primární filtr byl použit pro detekci stavů na jednotlivých přijímačích. Stavby mohou nabývat hodnot 1, aktivní, a 0, neaktivní. Přijímač s pásmovou propustí na 36 kHz detekuje pouze logické jedničky vyslané vysílačem díky jejich sekundární modulaci na tuto frekvenci. U každého přijímače jsou kontinuálně snímány vzorky. Celkem je sejmuto 160 vzorků. Snímání probíhá o frekvenci 12.6 kHz. Celkem je tedy prověřeno 20 pulzů ze 40 vyslaných vysílačem. Toto předimenzování je nutné z důvodu, aby se snímání vzorků vešlo do intervalu vysílání. Každý sejmутý vzorek může nabývat stavů 1, aktivní, nebo 0, neaktivní. V ideálním případě by měl být počet

logických jedniček a nul stejný. Tohoto ideálního stavu není nikdy docíleno, protože je signál pod vlivem rušení okolního prostředí. Rušení je tím větší, čím je větší vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem. Dále je toto rušení způsobeno disperzí se slunečním zářením, ve kterém je obsažena právě infračervená složka. Rušení signálu se projevuje kolísáním změny doby trvání logických jedniček a nul. Tento fakt byl odpozorován pomocí osciloskopu. Toto kolísání se projeví právě při snímání vzorků z jednotlivých přijímačů nevyrovnaností počtu logických nul a jedniček. Úkolem primárního filtru je tedy rozhodnout, který signál ještě lze považovat za vyhovující. Výstupem filtru je šestnáct hodnot, které reprezentují stavy signálu na jednotlivých přijímačích. Zároveň jsou to vstupy pro sekundární filtr.

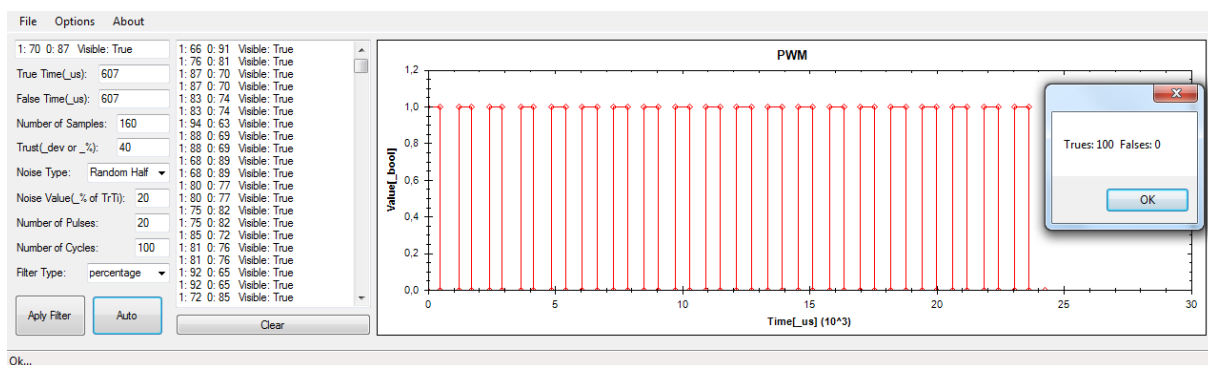
Původní filtr porovnával rozdíl počtu aktivních a neaktivních stavů. Pro tento filtr bylo možné nastavit mez, při které byl signál ještě vyhodnocen jako vyhovující. Filtr se ale neosvědčil jako efektivní, protože i při nastavení velké meze vyhodnocoval ještě přípustný signál jako nevyhovující. To způsobovalo nízký dosah vysílače. Ve vnitřních prostorách byl u majáku dosah okolo 5 metrů a na přímém slunci pouze 1.5 metru. U reflektoru byl dosah ve vnitřních prostorách okolo 10 metrů a na přímém slunci okolo 5 metrů.

Nový filtr pracuje na podobném principu. Ze sejmutých vzorků jsou počty aktivních a neaktivních stavů přepočítávány na procenta a dále od sebe odečteny. Pokud je výsledná hodnota menší než nastavená horní mez důvěry, tak je signál vyhodnocen jako vyhovující. Mez důvěry v příchozí signál je nastavitelná. Tento způsob je mnohem efektivnější než předchozí typ filtru. Pomocí nového filtru se podařilo zvýšit dosah vysílače. U majáku ve vnitřních prostorách na 7 metrů a na přímém slunci na 4. U reflektoru ve vnitřních prostorách na 16 metrů a na přímém slunci na 10 metrů.

3.3 Simulace činnosti primárního filtru v C#

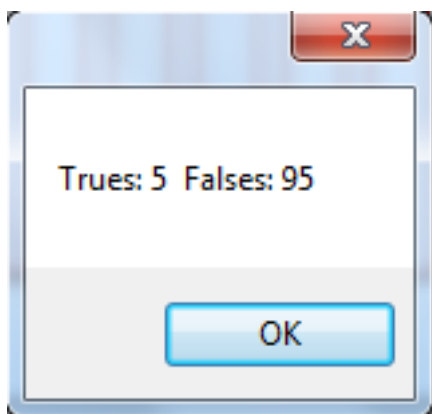
Tento simulační software sloužil k vývoji a odladění primárního filtru. Dále je tento nástroj vhodný na porovnání funkce původního a nového filtru.

V aplikaci je možné zadat čas trvání logické jedničky a nuly, počet pulzů, počet snímaných hodnot, počet cyklů simulace, důvěru v přijatý signál (pro původní i pro nový filtr) a hodnotu rušení signálu v procentech. Lze zde vybrat typ rušení signálu a typ použitého filtru. Aplikace obsahuje i grafický výstup, na němž lze pozorovat změny v signálu. Hodnota rušení se projevuje v kolísání doby trvání logické jedničky. V aplikaci je také obsažen textový výstup, ve kterém aplikace informuje o počtech nasnímaných logických jedniček a nul a o přípustnosti signálu. Po dokončení simulace aplikace informuje o počtu přípustných a nepřípustných měření. Simulované rušení signálu je téměř identické s reálným, které bylo odpozorováno při testech s reálným přijímačem pomocí osciloskopu a zakomponováno do simulace.

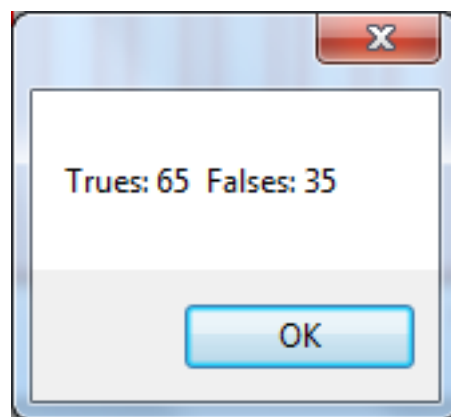


Obr. 16 Ukázka aplikace.

Na dvou obrázcích níže jsou srovnány oba filtry při hodnotě šumu 60 procent a hodnotě důvěry 40 procent.

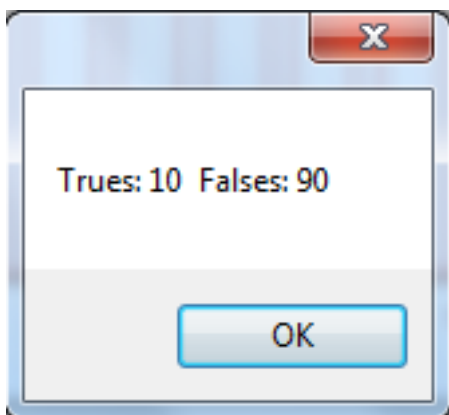


Obr. 17 Původní filtr.

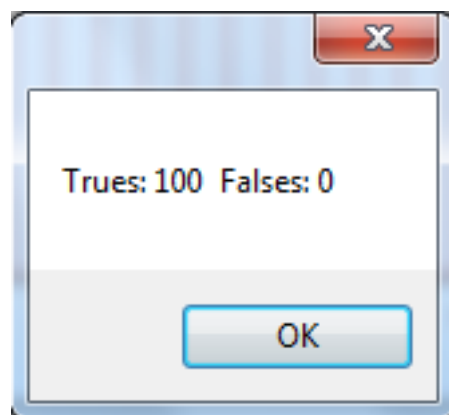


Obr. 18 Nový filtr.

Na dalších obrázcích níže jsou srovnány opět oba filtry při hodnotě šumu 60 procent a hodnotě důvěry 70 procent.



Obr. 19 Původní filtr.



Obr. 20 Nový filtr.

Typ filtru	Počet měření	Hodnota šumu [%]	Mez důvěryhodnosti měření [%]	Počet úspěšných měření	Počet neúspěšných měření
Původní	100	60	40	5	95
Nový				65	35
Původní		60	70	10	90
Nový				100	0

Tab. 1 Výsledky experimentu.

Nasimulované a naměřené hodnoty dokazují efektivnější filtraci nového filtru viz tabulka 1.

4 Radiová komunikace

4.1 Aurel moduly

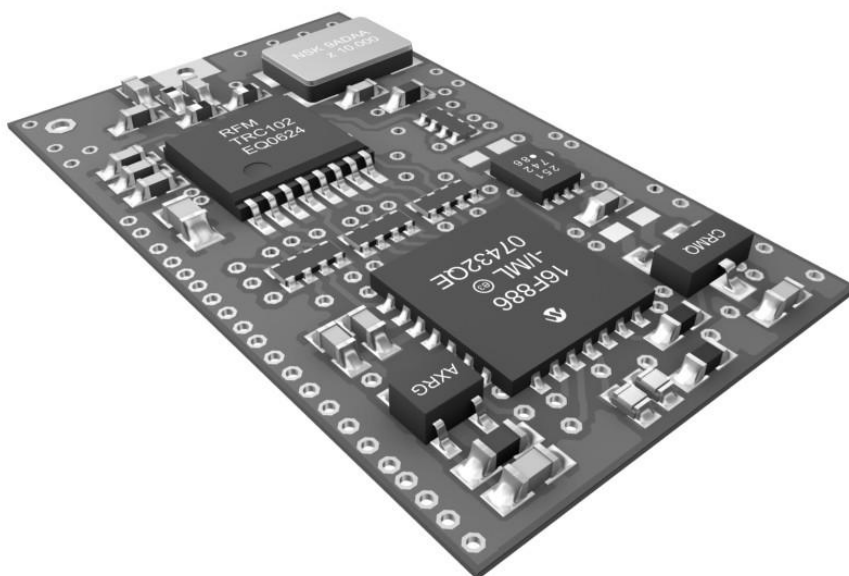
V původním navigačním systému byly použity k aktivaci jednotlivých vysílačů radiové moduly od firmy Aurel. Jednalo se o vysílací modul TX – SAW 433 a přijímací modul RX – BC – NBK. Tyto moduly používaly AM modulaci radiového signálu. Dosah mezi vysílačem a přijímačem byl ve volném prostoru 100 metrů, což bylo plně dostačující. Jejich silnou nevýhodou byl jednostranný přenos dat. Tento jednostranný přenos dat znemožňoval vytvoření sítě, která je nutná pro navigaci více robotů v rámci jednoho navigačního systému. Další nevýhodou bylo rušení okolních systémů jako dálkové centrální odemykání některých automobilů a deaktivace jistých bezpečnostních systémů v obchodních domech. Proto byla tato technologie nahrazena novou.

4.2 TR moduly

4.2.1 Co to jsou TR moduly

Jedná se o bezdrátové řešení od firmy IQRF. Moduly obsahují mikrořadič PIC, který umožňuje jejich programování. Dále je tu možnost snadného vytvoření sítě mezi moduly. Komunikace probíhá na frekvencích 868 a 916 MHz. Zařízení se programují v jazyce C.

4.2.2 Modul TR-52B



Obr. 21 TR modul T52B. [4]

Základní technické specifikace:**Napětí :** 3.0 V až 5.3 V**Teplotní rozsah:** 0°C až +70°C**Odebíraný proud:**

- **V módu spánku:** 2 μ A
- **Při spuštění stavu:**
 - 1 mA při 8 MHz
 - 170 μ A při 125 kHz
 - 17 μ A při 31 kHz
- **Rx mód:**
 - 13 mA (STD mód)
 - 400 μ A (LP mód)
 - 35 μ A max. (XLP mód)
- **Tx mód:**
 - 14 mA – 24 mA

RF citlivost:

- 110 dBm při 868 MHz, 1.2 kb/s
- 99 dBm při 868 MHz, 19.2 kb/s
- 109 dBm při 916 MHz, 1.2 kb/s
- 102 dBm při 916 MHz, 19.2 kb/s

RF dosah:

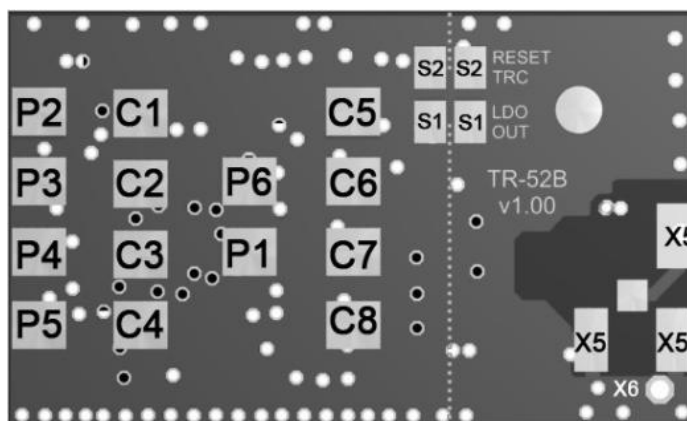
- přes 700 m při 1.2 kb/s
- přes 500 m při 19.2 kb/s

Podporované frekvence: 868.35 MHz, 916.50 MHz**RF modulace dat FSK (frequency-shift-keyed)****RF přenosová rychlost:**

- 1.2 kb/s
- 19.2 kb/s
- 57.6 kb/s
- 86.2 kb/s

Přesnost teplotního senzoru bez kalibrace: $\pm 2^\circ\text{C}$ max.**Přesnost teplotního senzoru s kalibrací:** $\pm 0.1^\circ\text{C}$ min.**Rozměry (délka x šířka x hloubka):** 25.0 mm x 14.9 mm x 3.0 mm

[4]



Obr. 22 Ukázka pinů TR modulu. [4]

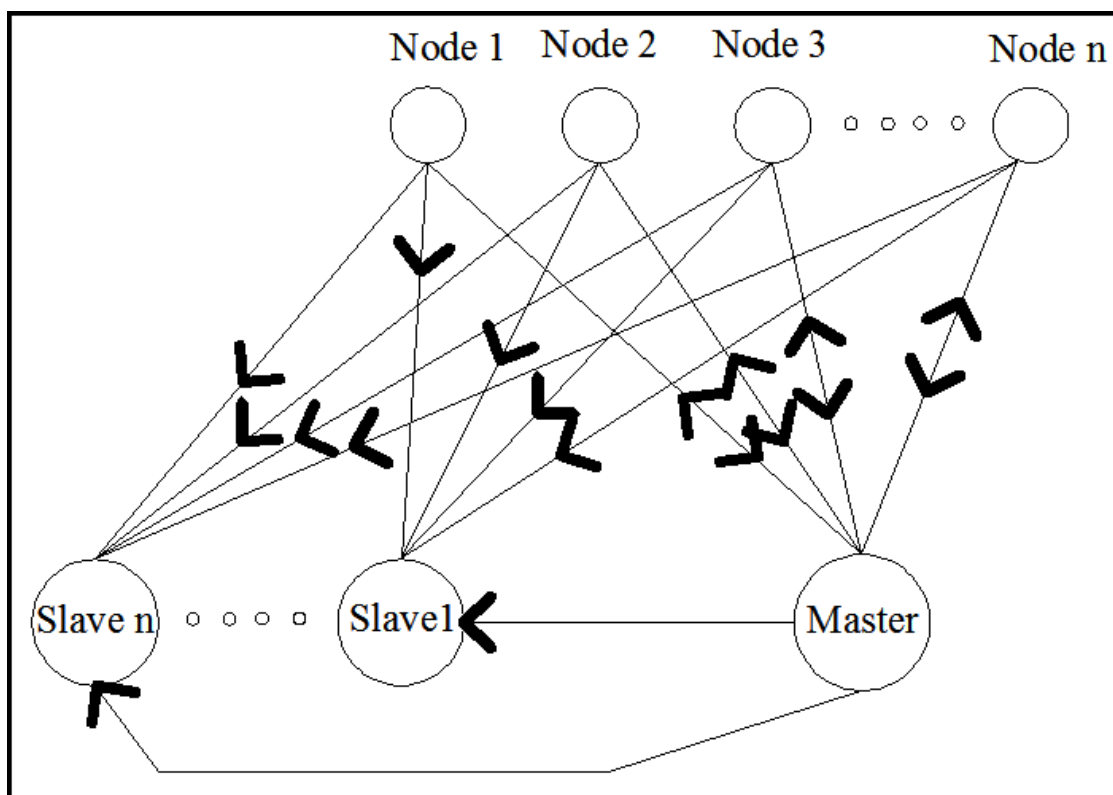
Pin	Název	Popis
C1	IO / AN	I/O pin Analogový A/D vstup
C2	IO / AN / VOUT	Hlavní I/O pin (S1 odpojen) Na desce +3 V LDO výstup (S1 připojen)
C3	VIN	Napájení
C4	GND	Uzemění
C5	IO / AN / TX / -SS	I/O pin, -SS SPI Analogový A/D vstup I/O pin TX UART Tx I/O pin, Analogový A/D vstup
C6	IO / SCK / SCL	I/O pin SPI I2C hodinový signál
C7	IO / SDI / SDA	I/O pin SDI SPI data SDA I2C data
C8	IO / RX / SDO	I/O pin UART Rx SPI datový výstup
X5	ANT	Vstup pro anténu
X6	GND	Uzemění
P1 – P6		Pro tovární nastavení
S1		Zapnutí výstupu LDO.
S2		TRC102 reset.

Tab. 2 Popisy pinů TR modulu. [4]

4.2.3 Funkce v navigačním systému

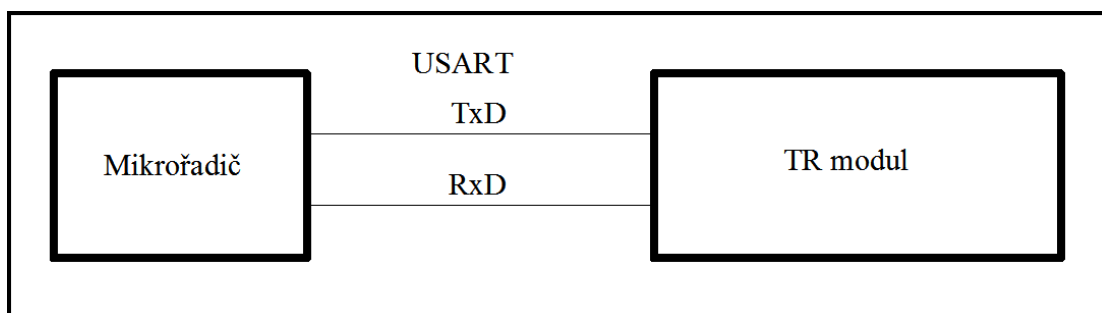
Moduly použité v předchozí verzi navigačního systému neposkytovaly oboustranný přenos signálu, proto mezi nimi nebylo možné vytvořit síť. Výhodou TR modulů je možnost vytvoření sítě mezi nimi, což umožňuje navigaci více robotů v rámci jednoho navigačního systému. Dále byly vybrány i z důvodu nízké spotřeby energie a snadné implementace do stávajícího systému.

Nejprve byla navržena topologie sítě pro moduly způsobem, aby více robotů mohlo využívat stejná vysílací zařízení. Síť tvoří tři prvky. Node 1 až Node n jsou vysílače. Master, Slave1 až Slave n reprezentují přijímače. Každý přijímač je instalován v jednom robotu. Master je koordinátorem komunikace celé sítě a v síti se může vyskytovat jen jeden. Masterem je v jednu chvíli zaslán požadavek jednomu z uzlů. Oslovování jednotek typu Node je uskutečňováno pomocí unikátního *ID* každé jednotky. V tu samou chvíli Master zašle informaci o požadavku k aktivaci příslušného uzlu všem jednotkám typu Slave. Jednotky Slave tedy v síti jen naslouchají. Uzel, který byl osloven, vyšle koordinátorovi a všem jednotkám typu Slave potvrzení o tom, že se infračervený vysílač chystá vysílat. V tuto chvíli je provedeno měření příslušného vysílače všemi přijímači. V přijímači a vysílači byly použity stejné typy modulů. Jednotky Master, Slave a Node se liší jen obsazeným firmware.



Obr. 23 Grafické znázornění sítě v navigačním systému.

Schéma zapojení TR modulů pro přijímač a vysílač jsou totožná. TR moduly komunikují s mikrořadičem, který ovládá zařízení pomocí rozhraní USART. V přijímači na povel TR modulu začíná měření a ve vysílači vysílání modulovaného signálu.



Obr. 24 Zjednodušené schéma propojení TR modulu s mikrořadičem.

5 Aplikace na reálném robotu

5.1 Popis robotu

Systém byl vyvíjen a testován na reálném robotu. V následujících podkapitolách bude robot stručně představen.

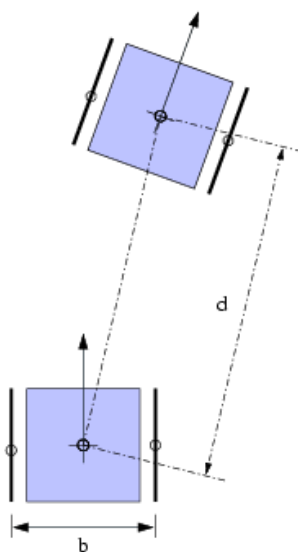


Obr. 25 Robot, na kterém byl navigační systém testován.

5.1.1 Podvozek

V robotu byl použit holonomní diferenciální podvozek se dvěma DC elektromotory. Každý pohon pohání jednu nápravu. Pokud se obě nápravy otáčí

stejnou rychlostí vpřed, nebo vzad, robot jede rovně dopředu, nebo rovně dozadu. Zatačení robotu je realizováno rozdílnými rychlostmi náprav. Pokud se pravá náprava otáčí nižší rychlostí než náprava levá a obě nápravy se zároveň otáčí ve stejném směru, například vpřed, robot v tomto případě zatačí doprava. Čím je rozdíl těchto rychlostí vyšší, tím robot zatačí ostřeji. V případě stejné rychlosti náprav a při odlišném směru otáčení se robot otáčí kolem své osy. Osa otáčení robotu je kolmá vůči zemi a směřuje přesně do středu spojnice os náprav. Podvozek a osa robotu je znázorněna na obrázku 26.



Obr. 26 Diferenciální podvozek robotu. [5]

Každý pohon robotu má svojí řídicí jednotku. Obě řídicí jednotky pohonů komunikují s hlavní řídicí jednotkou robotu pomocí I2C sběrnice.



Obr. 27 Jedna z náprav robotu.

5.1.2 Senzory robotu

V robotu je instalován přijímač pro zmíněný navigační systém. Je umístěn v hlavě robotu z důvodu co nejlepší viditelnosti vysílačů rozmístěných ve známém polygonu, ve kterém se robot pohybuje. Přijímač je propojen s řídicí jednotkou robotu, se kterou komunikuje pomocí rozhraní USART a je jí také napájen.

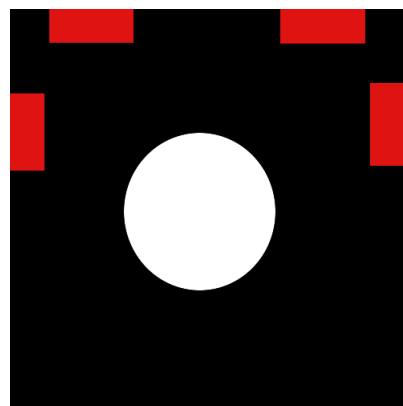


Obr. 28 Umístění přijímače v robotu.

Dále jsou v robotu instalovány čtyři senzory pro detekci překážek a měření jejich vzdáleností. Dva jsou umístěny v přední části a další dva po stranách robotu.



Obr. 29 Senzor měření vzdálenosti Sharp. [6]



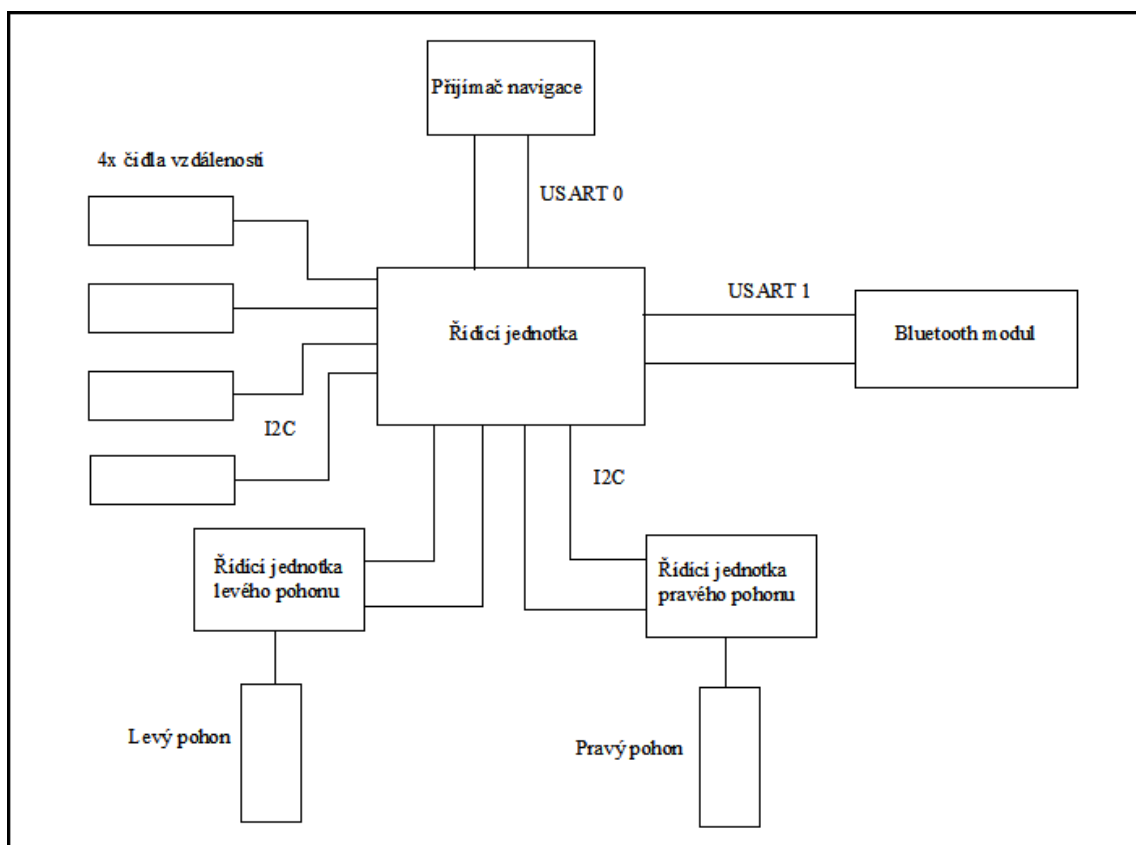
Obr. 30 Rozmístění čidel v robotu.

Jedná se o infračervené senzory vzdáleností od firmy Sharp, které fungují na principu optické triangulace. Čidla jsou propojena s řídicí jednotkou robotu pomocí I2C sběrnice.

5.1.3 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je osazena mikrořadičem ATmega128. Jednotka obsahuje rozhraní I2C pomocí kterého komunikuje s čidly vzdáleností a s řídicími jednotkami pohonů, pro které určuje rychlost a směr otáčení jednotlivých náprav. Dále obsahuje

dvě rozhraní USART. Pomocí prvního komunikuje s přijímačem navigačního systému. Do druhého je připojen bezdrátový modul založený na Bluetooth technologii. Pomocí tohoto modulu lze s robotem oboustranně komunikovat. Pomocí modulu je možné robotu zadat polygon, ve kterém se bude pohybovat, souřadnice vysílačů v polygonu, jejich počet a *ID*, startovní souřadnice a natočení robotu, cíle, kam má robot za úkol dojet, nebo ho pouze manuálně ovládat. Dále je možné z robotu přijímat data. Například data z odometrie, estimátoru, z čidel vzdáleností, z přijímače navigačního systému a informace o stavu baterie. Firmware řídicí jednotky obsahuje dva módy. Mód autonomní a manuální. Při startu robota lze jeden z módů vybrat. V autonomním módu se robot pohybuje pomocí navigačního systému do zadaných cílů bez cizího zásahu. V módu manuálním je možné robot dálkově ovládat při zachování funkce všech systémů kromě plánovače. Ostatní systémy v manuálním módu je možné také vyřadit.



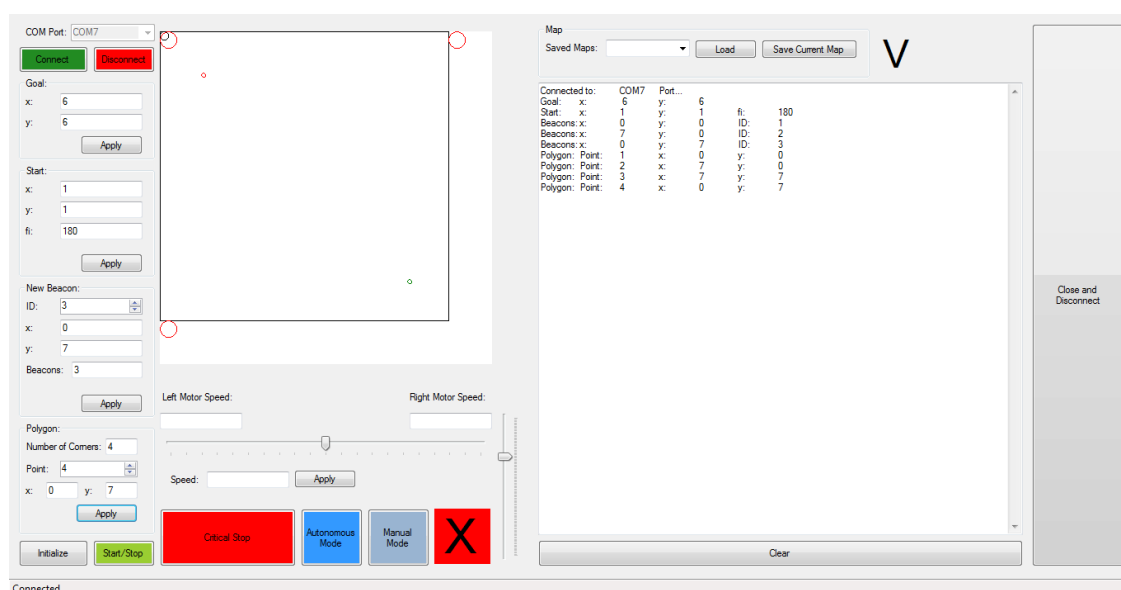
Obr. 31 Schéma robotu.

5.2 Software

Tato podkapitola představí diagnostický software určený robotu pro platformy Windows a Android. Diagnostický software je nezbytný pro ladění navigačního systému a systému robotu. Software komunikuje pomocí Bluetooth SPP komunikačního protokolu. Pro vývoj aplikací byly použity jazyky C# a Java.

5.2.1 Diagnostický software pro Windows

Pro vývoj softwaru byl použit jazyk C# v prostředí Visual Studio. Software byl navržen pro ovládání všech systémů robotu. Aplikaci obsahuje grafický editor mapy, pomocí kterého lze navrhnout a do robotu nahrát požadovanou mapu. Navržená mapa může být uložena na disk pro pozdější použití ve formátu xml. Tato funkce usnadňuje experimenty s robotem. Mapa se nemusí znova editovat. Při editaci mapy je možno zadávat počet, polohu *ID* vysílačů, tvar a velikost libovolného polygonu, startovní pozici robotu a cíl, kam má za úkol robot dojet. V aplikaci je možno sledovat stav baterie. Lze zde vybrat mód robotu, ve kterém bude operovat. Po výběru módu, nebo po nahrání mapy do robotu aplikace informuje uživatele o správném přenosu dat pomocí potvrzovacích paketů. V aplikaci je panel pro manuální ovládání robotu a zadávání rychlosti. V pravé části je textový výstup informující o akcích, které byly provedeny. Software je schopen přijímat data z robotu a ukládat je do textového souboru pro další vyhodnocování. Pro grafické prostředí aplikace je vyhrazeno hlavní vlákno. Příjem a odesílání dat probíhá na vlastních vláknech. Aplikace tedy běží na třech vláknech. Tím je zajištěna plynulost aplikace. Software byl použit na řadu testů, které v této práci nebudou uvedeny. V práci bude uveden pouze jeden experiment na reálném robotu.



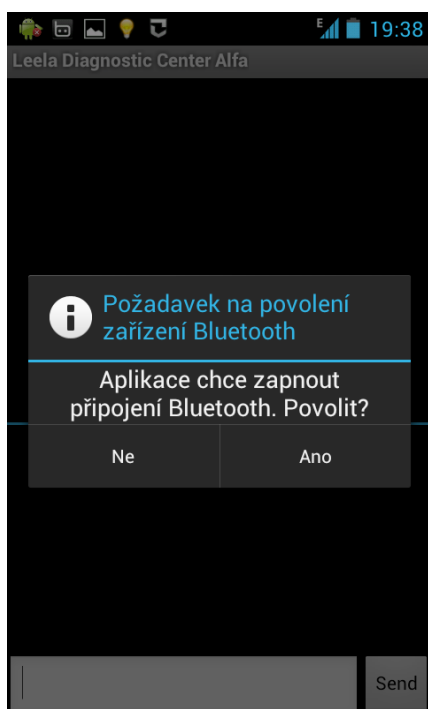
Obr. 32 Ukázka Aplikace.

5.2.2 Diagnostický software pro Android

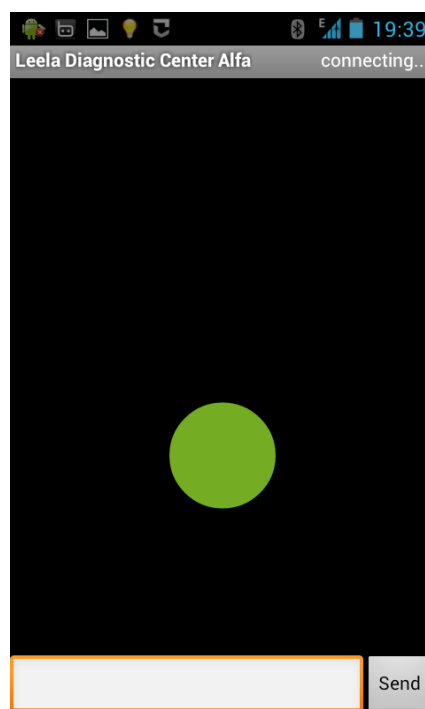
Aplikace byla napsána v jazyce Java v prostředí Eclipse. K vývoji aplikace bylo použito Android SDK pro Windows. Díky této aplikaci při provádění experimentů s robotem není nutné s sebou nosit notebook, ale stačí mobilní telefon s operačním systémem Android a příslušnou aplikací. Software není rozsáhlý, tak jako diagnostický software pro Windows, ale jeho funkce plně postačují pro jednoduché testy.

Komunikace probíhá pomocí SPP komunikačního protokolu přes bezdrátovou technologii Bluetooth. Je tu vyžito několik API funkcí operačního systému Android. Dále je tu možnost výběru módu robotu, ve kterém bude operovat. Primární funkcí je manuální ovládání robotu. Manuální ovládání může být realizováno pomocí dotykového displeje, nebo hlasem. Při manuálním ovládání hlasem je použito několik jednoduchých povelů, které jsou předem definovány. Ovládání hlasem je realizováno pomocí API funkce, která je integrovaná v prostředí Android. Rozpoznávání hlasu je velice spolehlivé, ale má jednu nevýhodu. Je k němu třeba připojení k internetu, což způsobuje odezvu při vyhodnocování povelu. Odezva je závislá na rychlosti připojení. Při aktivaci autonomního módu robot jede do předem stanoveného cíle, který je určen pomocí hlasového ovládání. Pro ovládání robotu touto aplikací je v robotu napevno zadána mapa a několik cílů. Každý cíl lze zadat pomocí unikátního příkazu. Například "cíl jedna". Při dosažení cíle, nebo aktivaci jednoho z módů aplikace informuje o těchto činnostech vyskakovacím oknem s popisem události a zároveň slovně pomocí syntézy hlasu. Jazyk syntézy lze zvolit. V Android SDK není čeština podporována. Jsou podporovány pouze jazyky: Americká angličtina, britská angličtina, němčina, francouzština a čínština.

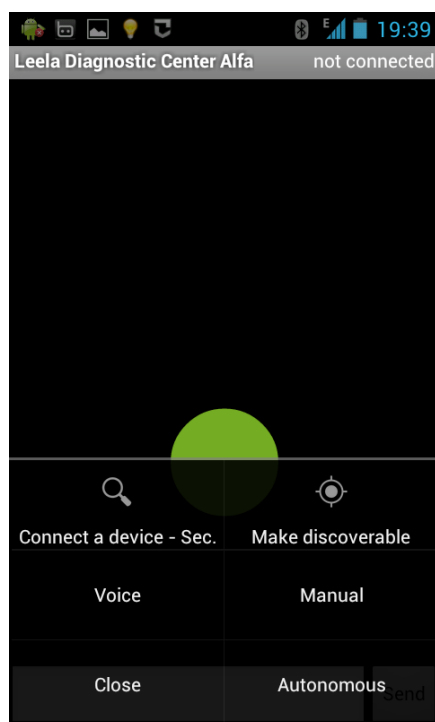
Pro testování aplikace bylo použito zařízení Google Nexus S s verzí Androidu 2.3.6, 4.0.3 a 4.0.4. Software podporuje i Android ve verzi 2.2.1.



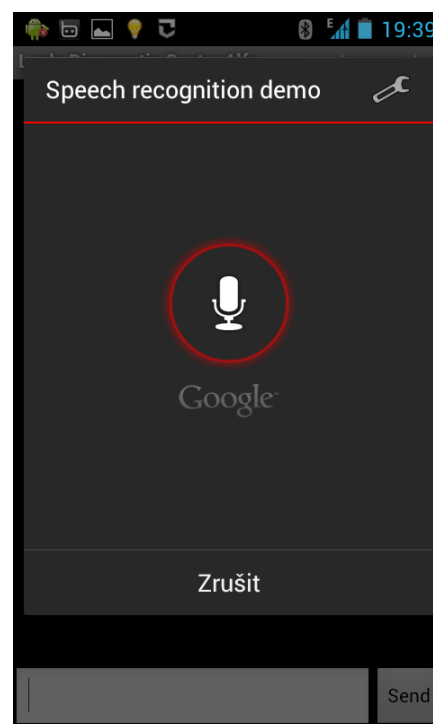
Obr. 33 Žádost o povolení aktivace Bluetooth zařízení.



Obr. 34 Ukázka prostředí aplikace.



Obr. 35 Ukázka menu aplikace.



Obr. 36 Ukázka hlasového vstupu.

6 Experimenty

V této kapitole budou popsány praktické experimenty s navigačním systémem, které bylo nutno provést pro ověření funkce a vlastností systému.

6.1 Použitý hardware

Při experimentech s výdrží baterie, dosahu vysílače a přesnosti měření úhlů byl použit testovací přijímač, který nebyl instalován v robotu. Jedná se o stolní prototyp určený pro experimenty, který obsahuje vlastní zdroj energie. Tento prototyp je připojen k počítači pomocí kabelu. Komunikace se zařízením probíhá pomocí rozhraní USART. Na přijímač je připojena redukce ze signálu TTY na RS232. Redukce obsahuje čip MAX232. Notebook, na kterém experimenty probíhaly, nebyl vybaven sériovým portem, proto byla použita další redukce s obvodem Profílic, která převáděla RS232 na USB.

6.2 Použitý software

Pro stolní prototyp přijímače bylo nutné napsat software, který bude zařízení zasílat data, o tom, který vysílač a jak často se má aktivovat. Software byl napsán v jazyce C#. Jedná se o jednoduchou aplikaci, která v nastavitelných časových okamžicích posílá po sériové lince data, ve kterých je obsaženo *ID* vysílače k jeho aktivaci. V aplikaci jde nastavit doba měření a *ID* vysílače k aktivaci. Aplikace po naměření hodnot přijímačem přijímá data ve tvaru: pořadové číslo měření, naměřený úhel, důvěryhodnost měření a šestnáct stavů na jednotlivých infračervených přijímačích. Tato data zapisuje po řádcích do textového souboru. Ukázka výstupu aplikace níže.

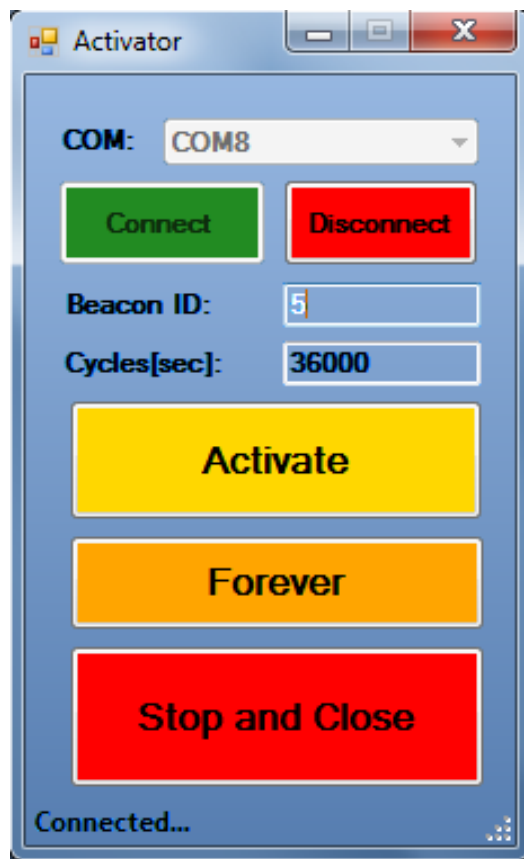
Číslo měření: 1

Úhel: 277

Důvěryhodnost: 41

Stavy na přijímačích: 1	1	1	1
0	1	1	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Výstup je v jednom řádku a hodnoty jsou odsazeny tabelátory. Z počtu měření lze potom zjistit, jak dlouho experiment trval. Aplikace společně se stolním prototypem přijímače může být použita i jako nástroj k ověření správné funkce vysílačů, před začátkem experimentu na reálném robotu.



Obr. 37 Ukázka aplikace.

6.3 Výdrž reflektoru na baterie

Tento experiment bylo nutné provést ke zjištění doby, po kterou mohou být vysílače nasazeny v provozu, zvláště u reflektoru. Každý vysílač je vybaven Li-Pol baterií o kapacitě 1100 mAh. U majáku už bylo známo, že provoz na baterii vydrží dostatečnou dobu. Dostatečná doba je minimálně 30 hodin. Reflektor odebírá při svitu všech infračervených led diod 4.4 A. Bylo předpokládáno, že to výrazně ovlivní výdrž zařízení při použití stejné baterie.

6.3.1 Popis experimentu

Pro tento experiment bylo využito stolního prototypu přijímače a k němu navrhnutého softwaru. Přijímač byl v laboratoři umístěn na stůl, k němu připojen notebook, na kterém byla spuštěna zmíněná aplikace. Do vzdálenosti asi 5 metrů byl umístěn a zapnut reflektor. Zařízení byla umístěna tak aby mezi vysílačem a přijímačem nebyla žádná překážka. V aplikaci bylo navázáno spojení s přijímačem, nastaveno ID používaného vysílače a doba, po kterou bude vysílač aktivován. Měření bylo spuštěno. Doba výdrže baterií v přijímači dosahuje zhruba deseti hodin. Proto jednou za deset hodin bylo nutné v přijímači vyměnit baterie. Při výměně baterií bylo také měřeno

napětí baterie vysílače. Tato informace poskytovala přehled o tom, v jaké fázi se experiment nachází.

6.3.2 Výsledky

Experiment byl zastaven po 34 hodinách, kdy bylo rozhodnuto o dostatečné výdrži použité baterie. Předchozí domněnky o výdrži baterie, které byly založeny na zvýšeném odběru proudu, byly vyvráceny. Nebylo tedy nutné použít baterii s větší kapacitou.

6.4 Dosah vysílače

Dalším stěžejním experimentem, který měl ověřit funkčnost inovace navigačního systému, bylo změření dosahu reflektoru. Při experimentu byl již přijímači implementován nový primární filtr. Na základě užití tohoto filtru v kombinaci s reflektorem byl předpokládán razantně vyšší dosah vysílače. Pokud by tak tomu bylo pro navigaci robotu, by bylo zapotřebí méně vysílačů, než do dnešní doby a robot by mohl operovat ve větším polygonu.

6.4.1 Popis experimentu

Pro experiment byly použity stejné nástroje, jako při experimentu s výdrží baterie. Ve vnitřních prostorách a ve volném prostranství byl umístěn reflektor. Od reflektoru byla vytyčena přímka a na ní byly po pěti metrech umístěny značky. Postupně od nejbližší značky k nejvzdálenější probíhalo měření viditelnosti reflektoru.

6.4.2 Výsledky

Po ukončení experimentu byl zjištěn dosah šestnácti metrů. Tento výsledek je velice upokojivý. Předpoklady o zvýšení dosahu na základě použití jiného primárního filtru a výkonnějšího vysílače se potvrdily. Na některých infračervených přijímačích byl signál viděn i ve vzdálenosti osmnácti metrů. Ale ne na všech. Toto zjištění bylo přičteno rozdílné citlivosti infračervených přijímačů. Součástky jsou vyráběny s určitou tolerancí citlivosti.

6.5 Měření úhlů

Cílem experimentu bylo zjistit odchylky v měření úhlů přijímačem. Na měření úhlů je právě tento navigační systém založen a jeho přesnost je stěžejní částí, která je nutná pro funkci systému. Problémem měření úhlů je diskrétní rozdělení 360 stupňů do šestnácti výsečí. Použitá metoda pro sekundární filtr, který rozhoduje o úhlu dopadu infračerveného signálu, není přesná. Proto na základě výsledků odchylek naměřených při tomto experimentu by šla provést korekce a tím zpřesnění určování relativních úhlů dopadu signálu. Problém by nastal v případě, že by odchylky razantně kolísaly. V tomto případě by se pouze jednoduchá korekce nemohla provést.

6.5.1 Popis experimentu

Pro experiment byly použity stejné nástroje jako v předchozích dvou experimentech, až na vysílač. Zde byl použit namísto reflektoru maják. Další pomůckou byly dvě kruhové podložky ve formě úhломěrů. První podložka byla pevně spojena se stolem. Druhá byla pevně spojena s přijímačem. Otáčením přijímače s podložkou vůči druhé podložce se určoval reálný úhel natočení. Měření probíhalo v natáčení přijímače po deseti stupních. Při každém natočení bylo přijímačem naměřeno 30 vzorků.

Úhly byly měřeny ze tří vzdáleností. Experiment probíhal v několika etapách. Nejprve za ideálních podmínek, poté za ztížených podmínek, kdy se mezi přijímačem a vysílačem pohybovaly osoby, tak jako tomu je v reálných podmínkách. V těchto prvních etapách byly všechny infračervené přijímače funkční. V dalších etapách experimentu se uměle vyřadily některé přijímače. To z důvodu ověření metody pro sekundární filtr. Poslední etapou bylo měření při odrazech infračerveného světla.

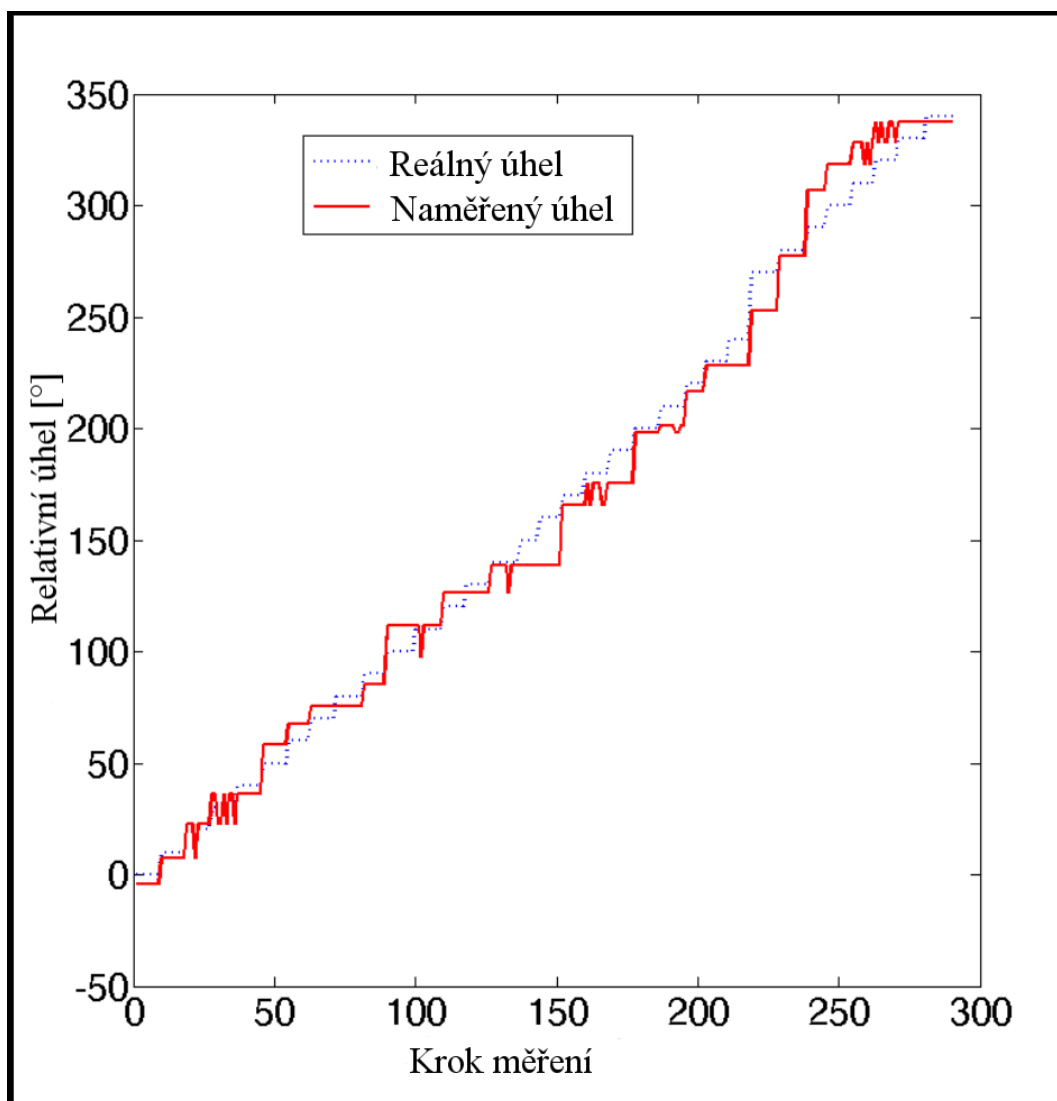
6.5.2 Výsledky

Vzdálenost [m]	Rušení v prostředí	Počet nefunkčních přijímačů	Odchylka úhlu [°]	Počet aktivních přijímačů	Špatná měření [%]
2	Ne	0	1.12 ± 9.62	3.84 ± 1.01	11.8 ± 2.4
5	Ne	0	-0.98 ± 10.89	4.01 ± 0.98	10.4 ± 2.3
10	Ne	0	3.56 ± 9.86	3.50 ± 0.92	13.6 ± 2.8
5	Ano	0	-2.26 ± 10.33	4.01 ± 1.04	19.2 ± 3.1
5	Ano	0	-0.78 ± 9.12	3.75 ± 0.92	17.5 ± 2.6
5	Ano	1	-1.61 ± 9.24	3.54 ± 1.04	18.5 ± 2.9
5	Ano	2	3.24 ± 10.78	3.58 ± 1.08	21.3 ± 3.7
5	Ano	3	2.11 ± 9.06	3.64 ± 0.96	22.7 ± 3.9

Tab. 3 Shrnutí výsledků experimentu. [2]

Rušení prostředím ovlivňuje funkci systému. Toto ovlivnění ale není natolik silné, aby systém přestal pracovat. Rušení prostředím mohou být lidé procházející okolo a odrazy infračerveného signálu od statických i dynamických překážek. Měření úhlů je tím přesnější, čím je vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem menší. Přijatelná vzdálenost je 5 metrů pro maják a 5 až 15 pro reflektor. Důležitá je také funkce všech šestnácti infračervených přijímačů. Při poruše některých z nich je měření ovlivněno. V grafu níže můžeme vidět porovnání reálných úhlů a naměřených úhlů v závislosti na etapě měření. Výsledky nejsou totožné, ale odchylky v měření jsou relativně malé. Podrobnější výsledky experimentu jsou obsaženy v tabulce 3.

Tento experiment byl publikován jako příspěvek ve formě článku pod názvem “Determination of variance in measurement of relative angle between infrared beacon and scanner” na konferenci AIM 2011 v Brně. [2]



Obr. 38 Porovnání naměřených a reálných relativních úhlů v závislosti na krocích měření. [2]

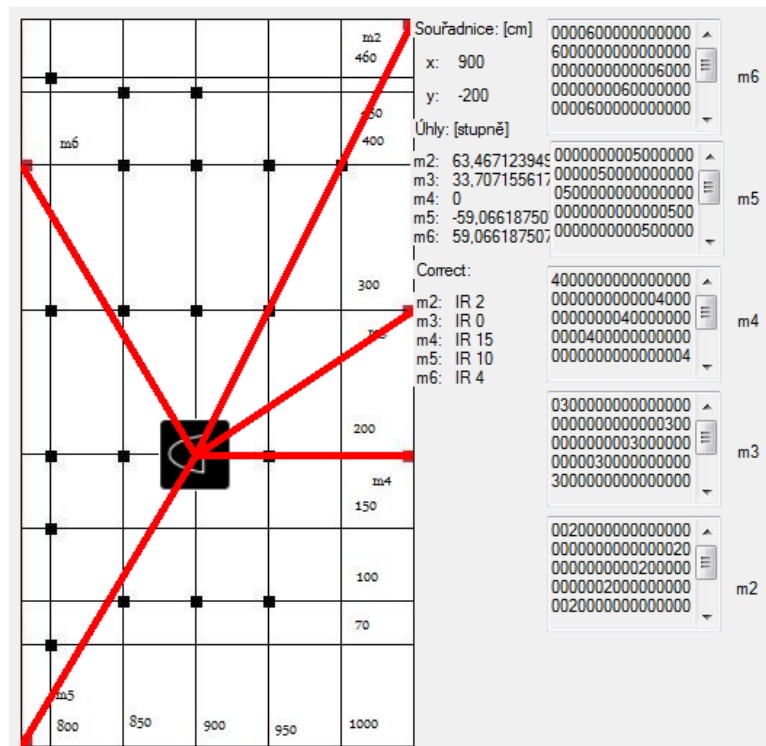
6.6 Experiment na reálném robotu

Jedním z důležitých experimentů, který potvrzuje funkci navigačního systému je experiment na reálném robotu. K experimentu byl použit robot, který je stručně popsán v kapitole 5. Experiment byl podrobněji popsán v bakalářské práci s názvem “Návrh a konstrukce majáků pro indoor navigaci mobilních robotů”. [8]

6.6.1 Použitý software

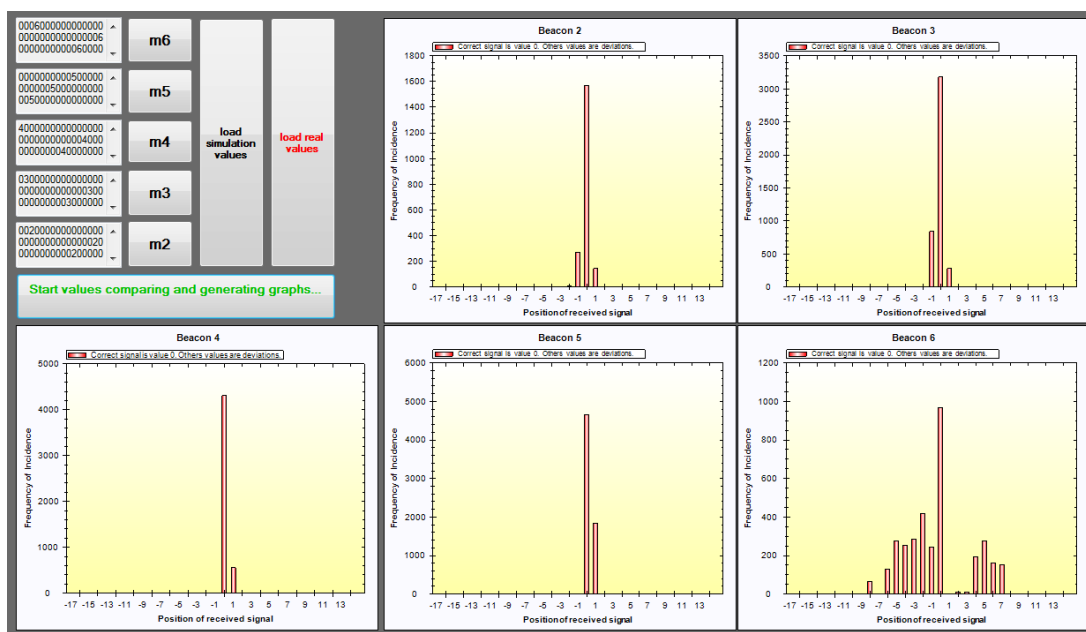
Tato podkapitola je záměrně oddělena od podkapitoly 6.2 z důvodu použití zcela odlišného podpůrného softwaru než u předchozích experimentů. K měření dat a ukládání dat bylo použito diagnostické centrum pro Windows. Dále byl využit nástroj

pro simulaci pohybu robotu v předem nastaveném polygonu a ukládání ideálních výstupů z navigačního systému. Simulační aplikace byla napsána v jazyce C#.



Obr. 39 Ukázka aplikace.[8]

Poslední nástroj byl určen k porovnání simulačních a naměřených hodnot. Výstupem tohoto nástroje byly sloupcové grafy, pro každý vysílač jeden, které zobrazovaly odchylky naměřených hodnot od ideálních. Nástroj byl napsán v jazyce C#.



Obr. 40 Ukázka aplikace. [8]

6.6.2 Popis experimentu

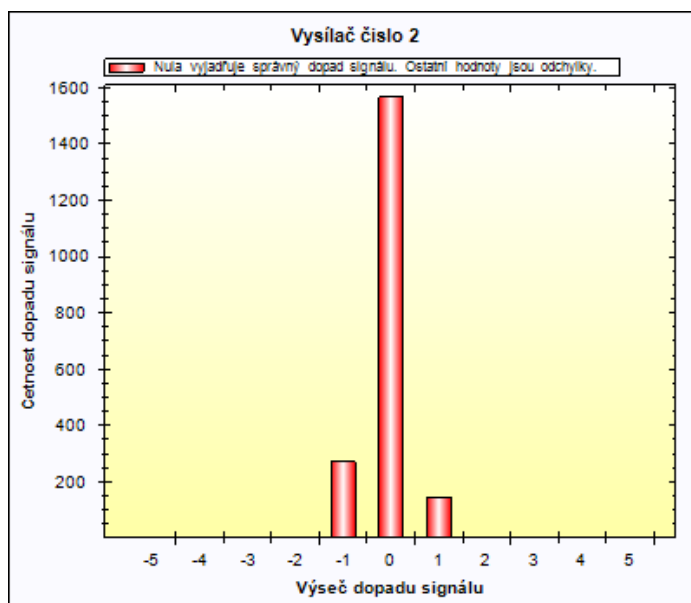
Robot se pohyboval v polygonu s rozměry 1050 x 600 cm. Počátek vztažené soustavy polygonu byl na souřadnicích 780 cm na ose x a 0 cm na ose y . Polygon končil na souřadnicích 1050 cm na ose x a 500 cm na ose y . Část polygonu vyhrazená k pohybu robotu měla rozměry 270 x 500 cm. Na okraji polygonu bylo rozmístěno pět vysílačů. [8]

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

V polygonu bylo měřeno 20 různých pozic. Každá pozice při čtyřech natočeních. V každém kroku byly měřeny vztažné úhly pro všechny vysílače. Dále byl každý změřený úhel přiřazen jedné ze šestnácti výšečí podle jeho hodnoty. Tato data byla porovnána s daty ze simulačního nástroje. Výstupem jsou sloupcové grafy, které zobrazují odchylky naměřených hodnot od hodnot ideálních. Sloupec s hodnotou nula reprezentuje výšeč, které by měl naměřený úhel v dané pozici robotu odpovídat. Ostatní sloupce reprezentují odchylky od správné pozice. Celkem bylo pořízeno 8000 vzorků. [8]

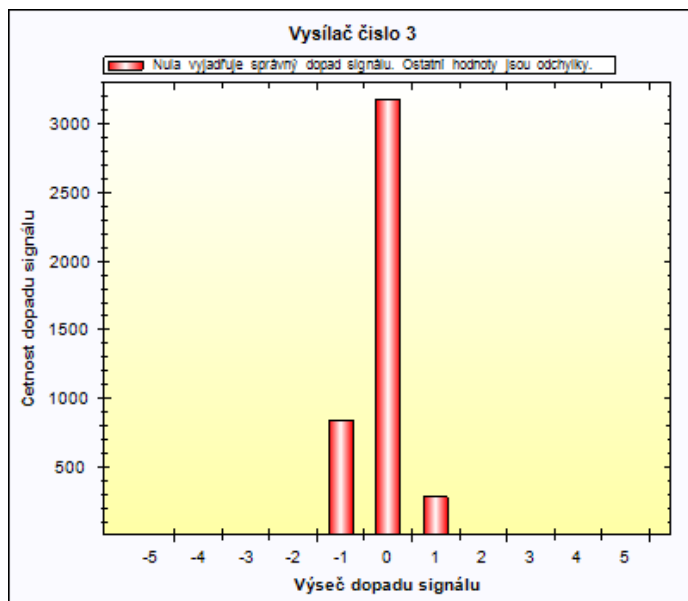
6.6.3 Výsledky

Na obrázku 41, který odpovídá vysílači číslo 2, dopadal signál ve většině případů do správné výšeče přijímače a občas dopadl o jednu výšeč vlevo, nebo vpravo. Celkový počet úspěšných měření vypovídá o tom, že vysílač číslo 2 byl viděn zřídka. Tato skutečnost je dána špatným umístěním a natočením vysílače do vnitřní části polygonu, což bylo součástí experimentu. [8]

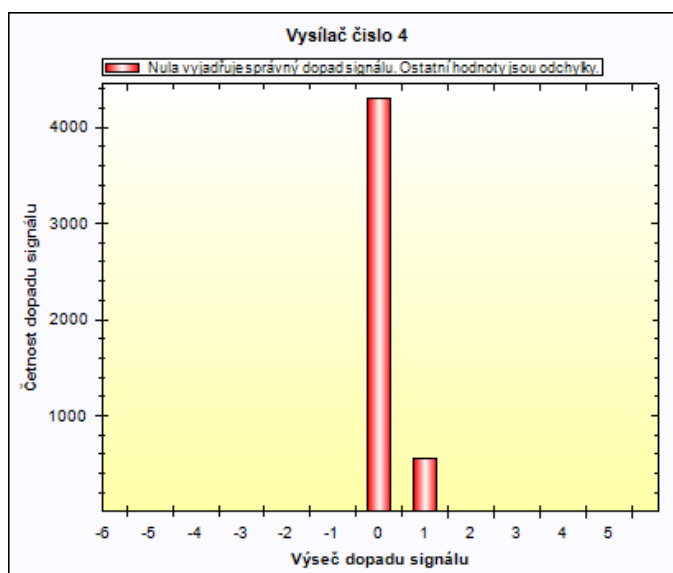


Obr. 41 Graf s vyhodnocením dopadu signálu do výšečí pro vysílač číslo 2. [8]

Na obrázku 42, který odpovídá vysílači číslo 3, signál dopadl ve většině případů do správné výše, podobně jako v předchozím případě, asi 3300 krát. Celkový počet dopadů je razantně vyšší, než tomu bylo u vysílače číslo 2. Vysílač 3 byl během experimentu na pozici s dobrou viditelností. [8]



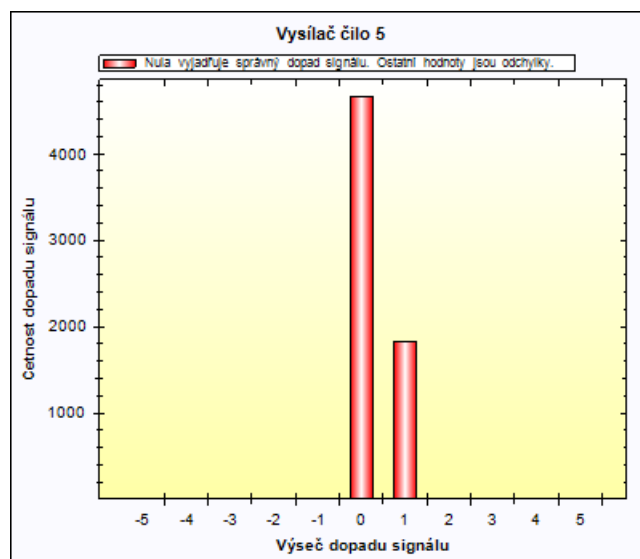
Obr. 42 Graf s vyhodnocením dopadů signálu do výšečí pro vysílač číslo 3.[8]



Obr. 43 Graf s vyhodnocením dopadů signálu do výšečí pro vysílač číslo 4.[8]

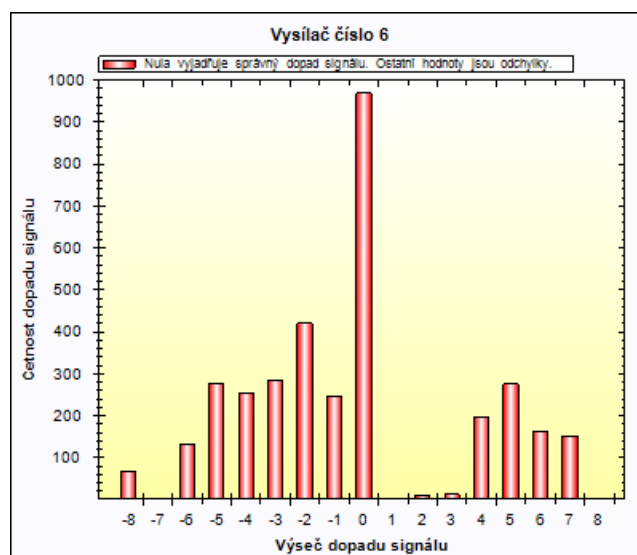
Na obrázku 43, který odpovídá vysílači číslo 4. Většina měření dopadu signálu byla viděna ve správné výšce, a to přes 4 900. Počet špatných signálů, které se liší pouze o jednu pozici vpravo, je zanedbatelný. Tento vysílač dosáhl při experimentu nejlepších výsledků, což bylo dáno jeho nejlepším umístěním v rámci polygonu. [8]

Na obrázku 44, který odpovídá vysílači číslo 5, byl signál viděn asi 5000 krát ve správné výšce a 2000 krát ve výšce o pozici vpravo. [8]



Obr. 44 Graf s vyhodnocením dopadů signálu do výšečí pro vysílač číslo 5. [8]

Na obrázku 45, který odpovídá vysílači číslo 6, je patrný razantní vliv odrazů, což bylo dáno umístěním majáku číslo 6 kolmo proti bílé zdi. Robot operoval právě mezi vysílačem a zdí. Signál se ode zdi odrážel a dopadal na jiné výšeče přijímače. Zmíněné umístění majáku bylo součástí experimentu. Počet dopadů signálu do správné výšeče je v tomto případě asi 1000. [8]



Obr. 45 Graf s vyhodnocením dopadů signálu do výšečí pro vysílač číslo 6. [8]

7 Závěr

Navržený navigační systém je složen z přijímače a n vysílačů. Vysílače jsou umístěny v prostředí a fungují jako značky, podle kterých se robot orientuje. Určování polohy je realizováno pomocí měření vztažných úhlů mezi přijímačem a vysílači. Vztažné úhly udávají relativní natočení robotu vůči vysílači. Přijímač je uložen v robotu. Při změření vztažných úhlů k vysílačům, kdy se předpokládá přesná znalost jejich polohy ve známé mapě, lze určit polohu a absolutní natočení robotu v polygonu, kde robot operuje.

Práce rozšířila původní systém o několik vylepšení. Delší dosah mezi přijímačem a vysílačem byl realizován pomocí návrhu nového vysílače, který vysílá infračervený signál o vyšší intenzitě a zároveň pomocí nového primárního filtru v přijímači, který efektivněji filtruje infračervený signál. Tato problematika je podrobněji rozebrána v kapitolách 2 a 3. V původním systému byl dosah mezi přijímačem a vysílačem 5 metrů. V novém systému při použití reflektoru jako vysílače je to 15 metrů. Podrobněji popsáno v praktickém experimentu v kapitole 6.4. Delší dosah umožňuje navigaci robotu ve větších prostorách při použití menšího počtu vysílacích zařízení. Schopnost navigace více robotů pomocí jednoho systému je možná díky vytvoření sítě mezi všemi zařízeními v rámci navigace viz kapitola 4. Dalším vylepšením je možnost zvolit *ID* vysílače pomocí panelu přímo na zařízení. Pro vývoj a ověření funkce systému byly napsány podpůrné aplikace. Důležitými aplikacemi jsou diagnostická centra pro Windows a Android, pomocí kterých lze provádět experimenty s navigačním systémem na reálném robotu. Tyto aplikace jsou popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2.

Všechny body zadání práce byly splněny. Systém byl navržen, realizován a aplikován na reálném robotu. Funkci systému dokazují provedené experimenty. Experiment, který je podrobně popsán v kapitole 6.5, byl publikován jako příspěvek ve formě článku pod názvem “Determination of variance in measurement of relative angle between infrared beacon and scanner“ na konferenci AIM 2011 v Brně. [2]

Navigační systém byl před dvěma roky nasazen v praxi na autonomním mobilním robotu typu Advee od firmy Benderrobotics s.r.o. [7]

Použitá literatura

- [1] Obr. 1. [online]. 2009 [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
http://img.directindustry.com/images_di/photo-m2/infrared-remote-control-receivers-718631.jpg>
- [2] KREJSA J., RUŽIČKA M., VOJTA J.: Determination of variance in measurement of relative angle between infrared beacon and scanner, ve sborníku AIM2011 konference, Česká republika, Brno
- [3] Obr. 6. [online]. 2009 [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
<http://rocky.digikey.com/web/lib/Osram/Web%20Photos/SFH485.jpg>>
- [4] TR-52B . *Datasheet* [online]. 2012 [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
<http://www.iqrf.org/web/en/index.php?sekce=support&id=download> >
- [5] Obr. 26. [online]. 2005 [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
http://robotika.cz/guide/odometry/dif_drive.png>
- [6] Obr. 29. [online]. 2005 [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
http://www.conrad.de/medias/global/ce/1000_1999/1800/1850/1853/185364_B_B_00_FB.EPS_1000.jpg&w=1000&h=1000&ei=y5y6T-mBJMPFswasvY23Cw&zoom=1&iact=hc&vpx=114&vpy=284&dur=1044&hovh=225&hovw=225&tx=147&ty=122&sig=114431056738499905273&page=1&tbnh=132&tbnw=132&start=0&ndsp=21&ved=1t:429,r:7,s:0,i:83 >
- [7] Bender Robotics s.r.o. [online]. [cit. 21. 5. 2012] Dostupný z WWW: <
<http://www.advee.eu> >
- [8] *Návrh a konstrukce majáků pro indoor navigaci mobilních robotů*. Brno, 2010. Dostupné z: < http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2010/BP_Ruzicka.pdf >. Bakalářská práce. VUT FSI. Vedoucí práce Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

