

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# ČTYŘNOHÝ KRÁČEJÍCÍ ROBOT

FOUR LEGGED WALKING ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAN FISCHER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ NEUŽIL

BRNO 2008

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Fischer Jan, Bc.  
**Ročník:** 2

**ID:** 89309  
**Akademický rok:** 2007/08

**NÁZEV TÉMATU:**

## Čtyřnohý krácející robot

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte literární průzkum možností senzorického vybavení a bezdrátové komunikace pro řízení čtyřnohého krácejícího robotu. Navrhněte vhodný typ komunikačního zařízení a alespoň částečně jej realizujte

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

**Termín zadání:** 3.12.2007

**Termín odevzdání:** 26.5.2008

**Vedoucí projektu:** Ing. Tomáš Neužil

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.  
předseda oborové rady



### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je zhodnocení možností bezdrátové komunikace a senzorického vybavení pro čtyřnohého kráčejíciho robota. Práce je rozdělena do tří celků. První část se zabývá podrobným průzkumem trhu v oblasti bezdrátových komunikačních modulů. Poukazuje na rozdíly mezi jednotlivými technologiemi, především ve způsobu přenosu signálu, v technických parametrech, ale také v komunikačních protokolech. Další část práce je zaměřena na senzorické vybavení s důrazem na možnost využití pro čtyřnohého kráčejíciho robota. Obsahuje stručný výčet senzorů, které lze zakoupit na českém trhu s rozdělením podle snímané veličiny. Tyto dvě části tvoří základ pro poslední část, ve které jsou vybrány vhodné komunikační moduly spolu se senzory pro praktickou realizaci bezdrátového přenosu dat včetně řízení a vizualizace. Výsledkem je kompletní komunikační řetězec od uživatele k robotu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

čtyřnohý kráčejíci robot, IQRF, bezdrátový modul, bezdrátová komunikace, Bluetooth, IrDA, WIFI, ZigBee, VF modul, senzor

**Brno University of Technology**  
**Faculty of Electrical Engineering and Communication**  
**Department of Control, Measurement and Instrumentation**

## **Four Legged Walking Robot**

Master's Thesis

Specialisation of study:      Cybernetics, Control and Measurement  
Student:                              Bc. Jan Fischer  
Supervisor:                         Ing. Tomáš Neužil

### **Abstract :**

The object of this thesis is an analysis of the possibilities of a wireless communication and a sensor's equipment for a four legged walking robot. The thesis is divided into three parts. In the first part there is a particular sale's exploration in the section of the wireless communication modules. It refers to the differences among technologies in the methods of signal transmission, the technical parameters but also in the communication protocols. The next part of this thesis is focused on sensor's equipment with the accent on the possibility of use for a four legged walking robot. It contains a short listing of sensors, which are available in the Czech Republic with division based on the type of sensing magnitude. These two parts make a base for the last part where I have chosen suitable communication modules along with sensors for the realization of a wireless data transfer including control and visualization. The result of this thesis is the complete communication block from the user to the robot.

### **Key words:**

Four Legged Walking Robot, IQRF, Wireless Modul, Wireless Communication, Bluetooth, IrDA, WIFI, ZigBee, VF Module

## **Bibliografická citace**

FISCHER, Jan. *Čtyřnohý krácející robot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 63 s., 2 přílohy. Ing. Tomáš Neužil.

## **P r o h l á š e n í**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Čtyřnohý kráčející robot jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne :

Podpis:

## **P o d ě k o v á n í**

Děkuji tímto Ing. Tomášovi Neužilovi a společnosti MICRORISC s.r.o v zastoupení Ing. Vladimíra Šulce za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne :

Podpis:

## OBSAH

<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE .....</b>	<b>12</b>
2.1	VF MODULY .....	12
2.1.1	<i>Typy modulací .....</i>	<i>12</i>
2.1.2	<i>VF moduly pro použití v mobilní robotice .....</i>	<i>13</i>
2.2	IQRF MODULY .....	15
2.2.1	<i>Hardware .....</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>Software .....</i>	<i>15</i>
2.2.3	<i>Moduly IRQF pro použití v mobilní robotice .....</i>	<i>16</i>
2.3	IRDA MODULY .....	16
2.3.1	<i>Struktura standardu IrDA .....</i>	<i>17</i>
2.3.2	<i>Moduly IR pro použití v mobilní robotice .....</i>	<i>18</i>
2.4	BLUETOOTH MODULY .....	19
2.4.1	<i>Specifikace Bluetooth .....</i>	<i>20</i>
2.4.2	<i>Struktura standardu Bluetooth .....</i>	<i>20</i>
2.4.3	<i>Moduly Bluetooth pro použití v mobilní robotice .....</i>	<i>21</i>
2.5	ZIGBEE MODULY .....	23
2.5.1	<i>Struktura standardu ZigBee .....</i>	<i>23</i>
2.5.2	<i>Topologie sítě .....</i>	<i>25</i>
2.5.3	<i>Moduly ZigBee pro použití v mobilní robotice .....</i>	<i>26</i>
2.6	WIFI MODULY .....	27
2.6.1	<i>Topologii sítě WIFI .....</i>	<i>28</i>
2.6.2	<i>Fyzická vrstva standardu IEEE 802.11 .....</i>	<i>28</i>
2.6.3	<i>Vrstva přístupu k médiu .....</i>	<i>28</i>
2.6.4	<i>Moduly WIFI použitelné pro mobilní robotiku .....</i>	<i>29</i>
2.7	SOUHRN BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ .....	30
<b>3.</b>	<b>SENZORICKÉ VYBAVENÍ .....</b>	<b>32</b>
3.1	SENZORY PRO DETEKCI PŘEKÁŽEK .....	32
3.1.1	<i>Infračervené senzory .....</i>	<i>32</i>
3.1.2	<i>Ultrazvukové senzory .....</i>	<i>33</i>
3.1.3	<i>Senzory pro detekci překážek pro mobilní robotiku .....</i>	<i>33</i>
3.2	SENZORY PRO URČENÍ POLOHY .....	35
3.2.1	<i>Gyroskopy .....</i>	<i>35</i>

3.2.2	<i>Akcelerometry</i> .....	36
3.2.3	<i>Magnetometry – kompasy</i> .....	37
3.2.4	<i>Senzory pro určení polohy pro mobilní robotiku</i> .....	39
3.3	TAKTILNÍ SENZORY .....	41
3.3.1	<i>Mechanické spínače</i> .....	41
3.4	SOUHRN .....	42
<b>4.</b>	<b>REALIZACE KOMUNIKACE</b> .....	<b>43</b>
4.1	MODULY IQRF TR-868-11A.....	44
4.1.1	<i>Popis modulu [17]</i> .....	44
4.1.2	<i>Programování modulu TR-868-11A</i> .....	46
4.2	IR SENZOR VZDÁLENOSTI SHARP .....	46
4.3	HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ.....	47
4.3.1	<i>Návrh desky – joystick</i> .....	47
4.3.2	<i>Návrh desky – robot</i> .....	49
4.4	SOFTWAREOVÉ ŘEŠENÍ .....	51
4.4.1	<i>Algoritmus – joystick</i> .....	52
4.4.2	<i>Algoritmus – robot</i> .....	53
4.4.3	<i>Algoritmus – IQRF modul</i> .....	55
4.4.4	<i>Struktura SPI rámce</i> .....	56
4.4.5	<i>PC aplikace</i> .....	58
4.4.6	<i>Parametry UART, SPI</i> .....	58
<b>5.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA</b> .....	<b>62</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1.1: Konstrukce čtyřnohých krácející robotů .....	10
Obrázek 2.1.2: Konstrukce robota: a) tělo, b) detail končetiny .....	11
Obrázek 2.1.1: Modulace vstupního signálu.....	13
Obrázek 2.1.2: VF modul BiM3 .....	14
Obrázek 2.1.3: VF modul Tiny One.....	14
Obrázek 2.1.4: VF modul AC4868 .....	14
Obrázek 2.2.1: IQRF modul.....	16
Obrázek 2.3.1: Kódování vstupních dat IrDA .....	17
Obrázek 2.3.2: Modul TFDU 4100 .....	18
Obrázek 2.3.3: Modul HSDL 3612 .....	19
Obrázek 2.3.4: Senzor SFH 5110.....	19
Obrázek 2.4.1: Struktura standardu Bluetooth.....	21
Obrázek 2.4.2: Bluetooth modul F2M03GX.....	22
Obrázek 2.4.3: Modul BT Link Matic .....	22
Obrázek 2.4.4: Modul BT TRBLU24 .....	23
Obrázek 2.5.1: Model komunikačního protokolu ZigBee .....	24
Obrázek 2.5.2: Topologie sítě a) hvězda, b) strom .....	25
Obrázek 2.5.3: Modul XB24-ACI.....	26
Obrázek 2.5.4: Modul RC2200 .....	27
Obrázek 2.5.5: Moduly ZigBee Pixie .....	27
Obrázek 2.6.1: Modul WIFI WLNb-AN-DPxxx .....	29
Obrázek 2.6.2: Modul WIFI EZL80 .....	30
Obrázek 2.6.3: Modul WIFI Suport .....	30
Obrázek 3.1.1: Princip infračerveného senzoru .....	32
Obrázek 3.1.2: Princip ultrazvukového senzoru [15].....	33
Obrázek 3.1.3: Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21 .....	34
Obrázek 3.1.4: Infračervený senzor .....	34
Obrázek 3.1.5: Ultrazvukový senzor SRF05.....	34
Obrázek 3.1.6: Ultrazvukový senzor SRF10.....	35
Obrázek 3.2.1: Princip optického gyroskopu [13] .....	36

Obrázek 3.2.2: Princip mechanického gyroskopu [14].....	36
Obrázek 3.2.3: Princip MEMS akcelerometru.....	37
Obrázek 3.2.4: Vektorové vyjádření magnetického pole [16].....	38
Obrázek 3.2.5: Struktura snímače [16] .....	39
Obrázek 3.2.6: Gyroskop ADXRS150.....	39
Obrázek 3.2.7: Akcelerometr MMA73xxL.....	40
Obrázek 3.2.8: Akcelerometr ADXL202 .....	40
Obrázek 3.2.9: Modul CMPS03 .....	41
Obrázek 3.3.1: Mikrospínač s páčkou    Obrázek 3.3.2: Mikrospínač – tlačítko.....	42
Obrázek 3.4.1: Realizace komunikačního řetězce .....	43
Obrázek 4.1.1: Bezdrátový modul IQRF .....	44
Obrázek 4.1.2: TR-868-11A – pohled zespodu .....	45
Obrázek 4.1.3: Vývojové kity pro moduly IQRF .....	46
Obrázek 4.2.1: Hysterezní křivka IR senzoru .....	47
Obrázek 4.3.1: Blokové schéma - joystick.....	48
Obrázek 4.3.2: Zapojení konektoru na joysticku .....	48
Obrázek 4.3.3: Rozmístění součástek – joystick.....	49
Obrázek 4.3.4: Strana součástek – joystick.....	49
Obrázek 4.3.5: Strana spojů – joystick.....	49
Obrázek 4.3.6: Blokové schéma - robot.....	50
Obrázek 4.3.7: Rozmístění součástek – robot.....	50
Obrázek 4.3.8: Strana spojů – robot.....	51
Obrázek 4.3.9: Napájení v robotu .....	51
Obrázek 4.4.1: Význam bitů v <i>DATA[0]</i> .....	52
Obrázek 4.4.2: Vývojový diagram – joystick .....	53
Obrázek 4.4.3: Význam bitů v <i>DATA[1]</i> .....	54
Obrázek 4.4.4: Vývojový diagram – robot.....	55
Obrázek 4.4.5: Vývojový diagram – IQRF modul, a) vysílač, b) přijímač.....	56
Obrázek 4.4.6: Struktura rámce SPI.....	57
Obrázek 4.4.7: Struktura <i>PTYPE</i> bytu .....	57
Obrázek 4.4.8: PC aplikace pro vizualizaci .....	58

Obrázek 4.4.1: Realizace bezdrátové komunikace ..... 60

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.4.1: Rozdělení zařízení Bluetooth..... 20

Tabulka 2.7.1: Srovnání bezdrátových technologií..... 31

Tabulka 4.4.1: Struktura přenosu dat mezi PC a joystickem..... 52

Tabulka 4.4.2: Význam bitů v *DATA[0]*..... 53

Tabulka 4.4.3: Význam bitů v *DATA[1]*..... 54

## 1. ÚVOD

Kráčející podvozky tvoří v mobilní robotice poměrně širokou skupinu zařízení, jejíž idea vzešla z organismů pohybujících se na Zemi v naprosté většině právě pomocí nohou. V praxi zatím tento způsob pohybu nenašel velké uplatnění, nicméně řada světových univerzit a společností zařadila vývoj a výzkum kráčejících robotů stabilně do svého programu. V současné době existuje široké spektrum více či méně propracovaných systémů, které umožňují poodhalit, jak se kráčející podvozky chovají a řídí.

Oproti kolovým podvozkům nabízí zajímavou alternativu pro pohyb v nerovném terénu, menší kontakt s povrchem a tedy jeho menší narušení (v porovnání např. s pásovými podvozky). To je ovšem vykoupeno poměrně složitou konstrukcí, zatím stále špatnými vlastnostmi (rychlost, robustnost, apod.) a v neposlední řadě vysokou cenou.

Dělení lze provést především podle počtu končetin (1 až desítky) a také podle stupňů volnosti, které končetiny nabízí. Trendem v oblasti výzkumu jsou čtyřnohé podvozky, které tvoří kompromis mezi stabilitou a ovladatelností (Obrázek 2.1.1: Konstrukce čtyřnohých kráčející robotů).

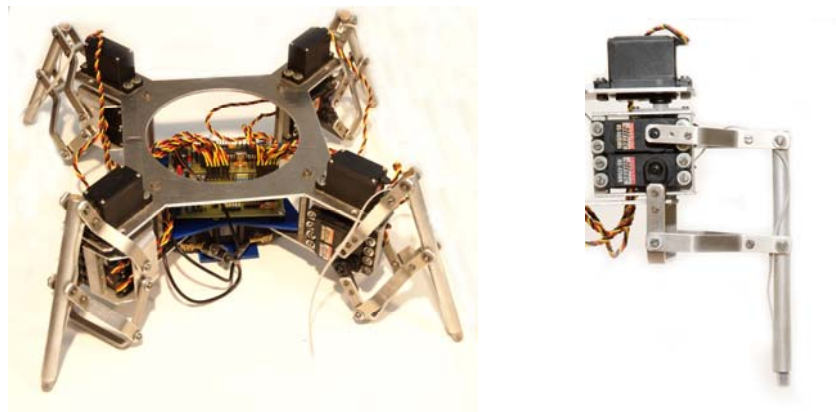


**Obrázek 2.1.1: Konstrukce čtyřnohých kráčející robotů**

Každý mobilní robot, tedy také kráčející, potřebuje pro „vnímání“ světa kolem sebe a pohybu v něm řadu senzorů, pomocí nichž je schopen rozpoznat např. překážku před ním, její vzdálenost a úspěšně se jí tak vyhnout, či určit pozici v neznámém prostředí. V mnoha případech je také nutné bezdrátově přenášet data od senzorů robotu k uživateli pro další vyhodnocení (např. dálkový průzkum v případě

záchranných robotů, apod.) a proto je zapotřebí implementovat bezdrátové komunikační rozhraní.

Pro tuto práci byl zvolen čtyřnohý kráčejíci podvozek vyvinutý na FEKT VUT v Brně (Obrázek 2.1.2: Konstrukce robota: a) tělo, b) detail končetiny). Cílem je návrh bezdrátového komunikačního rozhraní, které umožní přenos dat mezi uživatelem a robotem se zaměřením na jednoduché řízení a sběr dat ze senzorů umístěných na robotu. Základním předpokladem je vyřešená konstrukce robota a systém zajišťující pohyb, tzn. koordinaci nohou a těžiště (*Control Walking System - CWS*).



**Obrázek 2.1.2: Konstrukce robota: a) tělo, b) detail končetiny**

Z hlediska bezdrátové komunikace se čtyřnohý kráčejíci robot nevyznačuje speciálními požadavky oproti kolovým robotům, nicméně je nutné provést průzkum trhu v oblasti dostupných modulů a jejich vlastností. První část práce se zabývá srovnáním jednotlivých technologií a typů bezdrátových přenosů dat.

Navazuje přehled senzorů, kde již bylo nutné přihlédnout ke konstrukci podvozku. Vzhledem k tomu, že podvozek neobsahuje žádné rotující prvky, nelze použít enkodéry a podobné snímače běžně používané pro kolové podvozky.

Poslední část práce se zabývá praktickou realizací bezdrátového přenosu s konkrétními komunikačními moduly a vybranými snímači.

## 2. BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE

V řadě praktických aplikací je kladen důraz na pohyb robotu bez kabelů, kterými je připojen např. k napájení či počítači. Moderní robot by měl být schopen samostatného pohybu (mnohdy také s určitým stupněm autonomnosti). Z tohoto důvodu jsou na bezdrátové komunikační moduly kladeny vysoké nároky z hlediska stability přenosu, prostupnosti signálu, dosahu, apod. Následující kapitola je zaměřena na srovnání jednotlivých typů datových přenosů a parametrů modulů.

### 2.1 VF MODULY

Vysokofrekvenční moduly pro přenos dat jsou často samostatné rádiové moduly bez dalšího předzpracování dat, což mimo jiné znamená, že komunikační protokol je pro konkrétní zařízení v režii uživatele. Využívají frekvencí ve volném pásmu (běžně 868MHz).

Tato technologie dala postupně vzniknout novým, mnohem propracovanějším protokolům jako je Bluetooth, ZigBee, aj.

#### 2.1.1 Typy modulací

Pro samotný přenos dat vzduchem se používá nosný signál (sinusový), na který jsou modulována přenášená data. Pro kontrolu přenesených dat se používá kontrola cyklickým CRC kódem. Základní metody pro modulaci signálu jsou:

- amplitudová modulace
- frekvenční modulace

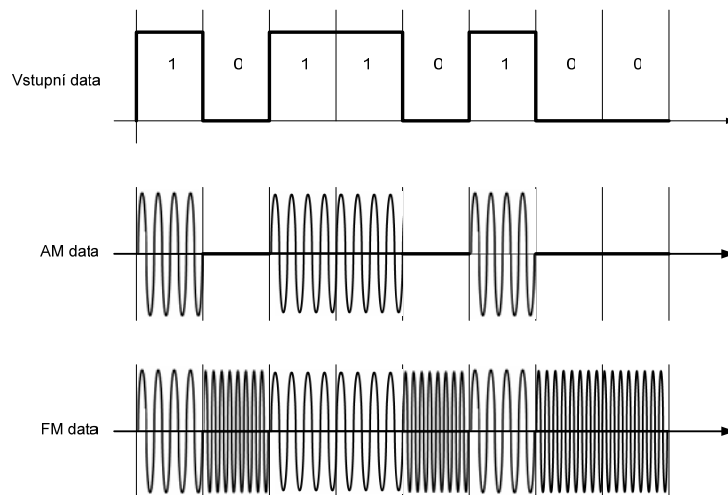
##### *Amplitudová modulace*

Amplitudová modulace je realizována pomocí změny amplitudy nosného signálu. Tato metoda je méně odolná vůči impulznímu rušení a dosahuje poměrně malých přenosových rychlostí do 2,4kbps. Výhodou je nízká cena modulů a možnost přenášet stejnosměrnou složku. Pro digitální přenos dat se používá tzv. on/off

modulace. Vysílač zapíná nebo vypíná nosný signál podle logických dat na jeho vstupu a přijímač podle indikace nosného signálu nastavuje výstupní data.

### ***Frekvenční modulace***

Přenášená data se na nosnou vlnu modulují pomocí změny frekvence. Tato metoda je odolnější vůči rušení a dosahuje rychlosti 48kbps. Nevýhodou je, že nelze přenášet stejnosměrnou složku. FM moduly jsou ovšem poměrně drahé.



**Obrázek 2.1.1: Modulace vstupního signálu**

### **2.1.2 VF moduly pro použití v mobilní robotice**

VF moduly v dnešní době pomalu ustupují i díky své ceně a modernějším technologiím. Jejich výhodou je poměrně velký dosah, ovšem je potřeba použít mikrokontrolér pro realizaci komunikačního protokolu a také kódování. Na českém trhu lze pořídit VF moduly od společností:

- RADIOMETRIX ([www.radiometrix.com](http://www.radiometrix.com))
- AUREL ([www.aurel.it](http://www.aurel.it))
- ONE-RF ([www.one-rf.com](http://www.one-rf.com))
- AEROCOMM ([www.aerocomm.com](http://www.aerocomm.com))
- a dalších

### ***Modul BiM3 869/64***

Modul BiM3 od společnosti Radiometrix poskytuje vhodné řešení rádiového FM modulu pro bezdrátovou komunikaci se sériovým rozhraním.

#### Parametry:

- Dosah: až 120m
- Přenosová rychlost: 64kbps
- Napájení: 3,3 – 5V, odběr: <15mA
- Halfduplex



**Obrázek 2.1.2: VF modul BiM3**

### ***Modul Tiny One Classic868MHz***

Společnost One-rf nabízí poměrně velké množství VF rádiových modulů. Výběr je možný podle frekvence, dosahu a dalších parametrů.

#### Parametry:

- Dosah: 700m, výkon: 5mW
- Napájení: 3 – 5V
- Spotřeba: 30mA
- Modulace: FSK
- Rozhraní: RS232 TTL



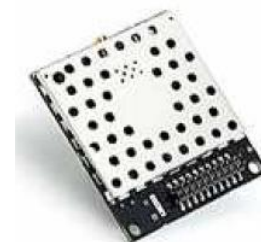
**Obrázek 2.1.3: VF modul Tiny One**

### ***Modul AC4868***

Další společností, která nabízí VF moduly na českém trhu je Aerocomm.

#### Parametry:

- Frekvence: 869,40 – 869,65MHz
- Dosah: až 15km, výkon: 250mW
- Modulace: SF FSK
- Rozhraní: 3V TTL sériová data



**Obrázek 2.1.4: VF modul AC4868**



## 2.2 IQRF MODULY



Novinkou na českém trhu se může pochlubit firma MICRORISC ([www.microrisc.com](http://www.microrisc.com)). Jedná se o vysokofrekvenční komunikační moduly s obousměrnou komunikací, jejichž hlavní výhodou je možnost okamžitého připojení k zařízení. Obsahují mikrokontrolér s vlastním OS a rozhraním I<sup>2</sup>C, SPI či UART. Tyto moduly vynikají nízkou cenou, malou spotřebou a poměrně velkým dosahem. Jsou určeny pro nízkorychlostní komunikaci, která je v řadě aplikací mobilní robotiky dostačující.

### 2.2.1 Hardware

Hardwarové řešení je realizováno spojením VF modulu a mikrokontroléru PIC do miniaturní jednotky připravené k okamžitému použití. Rozdělení spočívá v podstatě jen ve způsobu připojení k nadřazenému hardware. Jednak lze zakoupit modul s klasickou 10-ti pinovou dvouřadou lištou nebo modul velikosti SIM karty s připojením přímo do SIM konektoru bez horního víka (ani jeden není nutno pájet).

Modul neobsahuje interní anténu a v obou případech je k dispozici pájecí ploška pro připojení koaxiálního kabelu s externí anténou. Rádiová část pracuje na frekvenci 433, 868 nebo 916 MHz a data jsou kódovány pomocí ASK modulace.

Na desce je také LDO regulátor, který umožňuje větší rozsah napájecího napětí a připravuje se aplikace teplotního senzoru.

### 2.2.2 Software

Vzhledem k tomu, že část paměti je určena pro zákaznické aplikace, lze použít mikrokontrolér na modulu přímo pro vlastní aplikaci. Celá architektura je vystavěna na technologii PIC a k dispozici jsou vývojová prostředí, aplikační software a příklady aplikací. Pro snadné použití obsahuje mikrokontrolér vlastní operační systém.

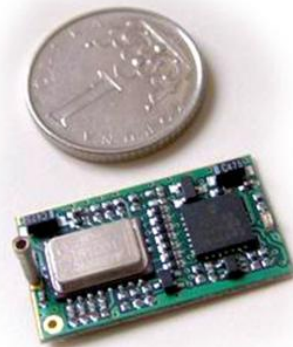
### 2.2.3 Moduly IRQF pro použití v mobilní robotice

Moduly IQRF jsou díky své velikosti, spotřebě, univerzálnosti a dosahu velmi vhodné pro mobilní robotiku. Díky zabudovanému mikrokontroléru PIC jsou již data předzpracována a připravena ke snadnému použití.

K dostání jsou moduly s označením TR-xxx-xx a TR-xxx-xxA. Tři číslice v označení určují frekvenci a poslední písmeno určuje typ mikrokontroléru (16LF819 nebo 16LF88).

#### Parametry:

- Výkon: 1mW
- Možnost tvorby sítí
- A/D,I2C,SPI, UART
- Univerzální IO rozhraní
- Modulace ASK
- Spotřeba: 5mA/5 $\mu$ A
- Dosah: 150m



Obrázek 2.2.1: IQRF modul

## 2.3 IRDA MODULY



Standard byl vytvořen IrDA konsorciem (Infrared Data Association) v roce 1993. Jedná se o bezdrátový přenos dat na velmi krátkou vzdálenost. IrDA definuje standard pro koncová zařízení, ale také protokoly, pomocí kterých tato zařízení komunikují.

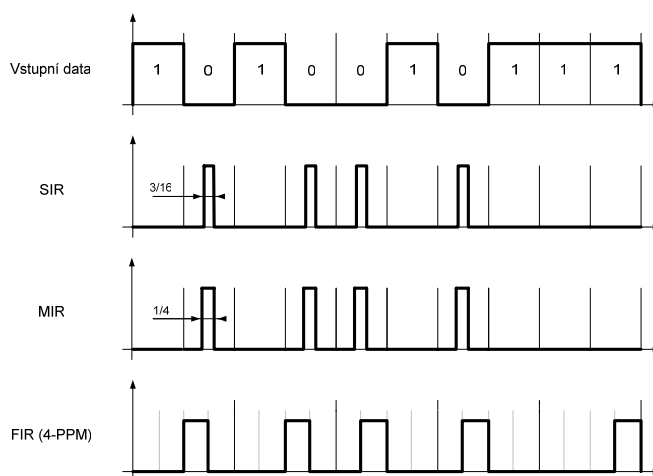
### 2.3.1 Struktura standardu IrDA

Protokol je vystavěn na standardu ISO/OSI. Využívá však pouze jeho tři vrstvy:

- fyzická vrstva
- vrstva IRLAP
- vrstva IRLMP

#### *Fyzická vrstva IrDA* [8]

Fyzická vrstva definuje požadavky pro IR vysílač, modulaci, metody kódování/dekódování a další fyzické parametry. Přenos dat je zajištěn pomocí modulovaného infračerveného paprsku o vlnové délce 875nm. Norma definuje IrDA-1.0 a IrDA-1.1, které se liší v přenosové rychlosti (dána typem modulace - 115,2kbps až 4Mbps), strukturou datového rámce, apod.



**Obrázek 2.3.1: Kódování vstupních dat IrDA**

#### *Vrstva IRLAP (Link Access Protocol)* [8]

Tato vrstva slouží k řízení přístupu k vrstvě fyzické. Zajišťuje navázání přenosu, ale také nastavení parametrů, výměnu informací, apod. Samotné navázání spojení se uskutečňuje tak, že každá stanice několikrát za sebou vysílá broadcast, který obsahuje její ID a následuje nastavení parametrů přenosu.

### ***Vrstva IRLMP (Link Management Protocol) [8]***

Každé zařízení vybavené IrDA portem může během svého provozu měnit svou konfiguraci. To znamená, že je potřeba neustále aktualizovat databázi nabízených služeb, což zajišťuje podvrstva LM-IAS. Další podvrstvou je LM-MUX, která zajišťuje správu nabízených služeb při spojení více zařízení s různými službami.

### **2.3.2 Moduly IR pro použití v mobilní robotice**

Pro přenos dat z mobilního robotu do PC či k jinému robotu je potřeba přijímač a vysílač IR paprsků. Jedná se v podstatě o převodník elektrického signálu (datových pulzů) na infračervený signál (optické pulzy) a zpět. Hlavní nevýhoda tohoto přenosu je, že obě zařízení na sebe musí “vidět“ a maximální vzdálenost je okolo 1m. Mezi hlavní výrobce v této oblasti patří společnosti:

- VISHAY ([www.vishay.com](http://www.vishay.com))
- TEXAS INSTRUMENTS ([www.ti.com](http://www.ti.com))
- OPTOSEMICONDUCTORS, nabízí ([www.snailinstruments.com](http://www.snailinstruments.com))
- HEWLETT-PACKARD/AGILENT

### ***Modul TFDU 4100***

Modul od společnosti VISHAY nabízí kompletní transceiver s předzpracováním dat vhodný k přímé implementaci do zařízení.

#### Parametry:

- Maximální rychlost: 115,2 kbps
- Napájení: 2,7 – 5,5V
- Spotřeba: 1,3mA
- Rozhraní: UART



**Obrázek 2.3.2: Modul TFDU 4100**

### ***Modul HSDL 3612***

Jedná se o podobný modul jako v předchozím v případě, pouze výrobcem je společnost AGILENT.

#### Parametry:

- Podporuje IrDA 1.0 (až 115,2kbps)
- Dosah: až 1,5m
- Napájení: 2,7 – 5,5V
- Režim „sleep“, rozhraní: UART



**Obrázek 2.3.3: Modul HSDL 3612**

### ***Přijímací senzor SFH 5110***

Přijímací senzor s předzpracováním dat od společnosti Opto Semiconductors, v ČR k dostání například přes „[www.snailinstruments.com](http://www.snailinstruments.com)“.

#### Parametry:

- Úhel příjmu: 100° horizontálně, 60° vertikálně
- Napájení: 5V / 1,3mA
- Rozhraní: logický sériový signál
- Rychlost: 36kHz



**Obrázek 2.3.4: Senzor SFH 5110**

## **2.4 BLUETOOTH MODULY**



Bluetooth jako protokol pro bezdrátový přenos dat na krátkou vzdálenost byl schválen roku 1998 z iniciativy firem *Microsoft, Motorola, Nokia, IBM, 3Com, Ericsson, Intel, Lucenta Toshiba*, které daly vzniknout konsorciu *SIG*. Tento standard využívá volné frekvenční pásmo ISM 2,4GHz a definuje poměrně obsáhlý komunikační protokol. Je zahrnut do řady specifikací IEEE 802.15 pod označením

IEEE 802.15.1. Jedná se o univerzální zařízení pro práci s hlasem, obrazem, objektově orientovaným přenosem, ale také obsahuje emulátor klasické RS232.

### 2.4.1 Specifikace Bluetooth

Standard Bluetooth postupně od roku 1999 definoval čtyři vývojové úrovně, z nichž každá se vyznačuje zpětnou kompatibilitou:

- *Bluetooth 1.0*: první celosvětově akceptovatelná specifikace se základními vlastnostmi
- *Bluetooth 1.1*: odstranění jistých nedostatků
- *Bluetooth 1.2*: lepší zabezpečení a potlačení rušení
- *Bluetooth 2.0*: vyšší přenosová rychlost, nižší spotřeba a nové služby

Zařízení Bluetooth se podle normy rozlišují do tří skupin podle vyzářeného výkonu (Tabulka 2.4.1: Rozdělení zařízení Bluetooth):

Třída	Výstupní výkon [mW]	Dosah [m]
1	1 - 100	100
2	0,25 - 2,5	10 - 50
3	1	10

**Tabulka 2.4.1: Rozdělení zařízení Bluetooth**

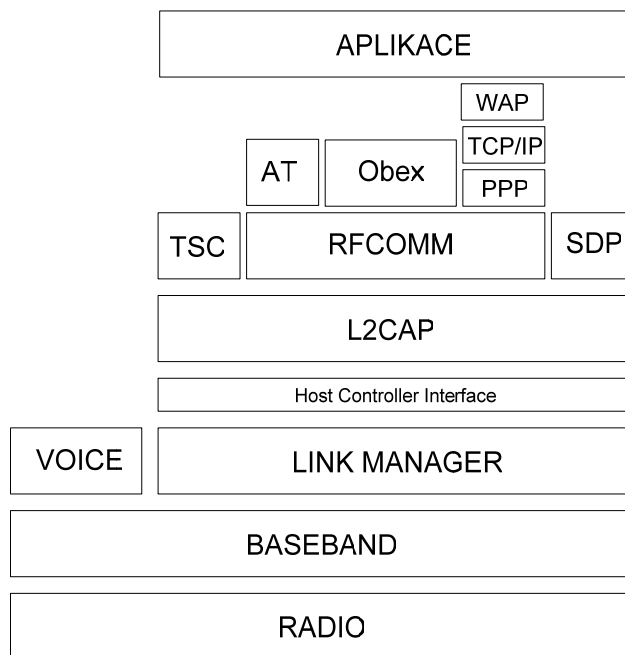
### *Topologie sítě*

Standard Bluetooth definuje dvě základní spojení zařízení. Jedním typem je klasické spojení dvou zařízení „*point-to-point*“ a druhým typem je spojení s více zařízeními najednou zvané „*point-to-multipoint*“. Základním rysem je komunikace *Master - Slave* (až 7 zařízení).

### 2.4.2 Struktura standardu Bluetooth

Standard Bluetooth je rozdělen do vrstev podle standardu ISO/OSI a je vybaven širokým spektrem služeb tak, aby byl univerzálně použitelný. Každé

zařízení využívá pro definici svých vlastností a dostupných služeb určité profily, které jsou taktéž upřesněny ve standardu Bluetooth.



**Obrázek 2.4.1: Struktura standardu Bluetooth**

### 2.4.3 Moduly Bluetooth pro použití v mobilní robotice

Bluetooth je určen pro přenos na krátkou vzdálenost. Nicméně lze na trhu zakoupit Bluetooth moduly, se kterými lze dosáhnout srovnatelných vzdáleností v porovnání s ostatními technologiemi.

Mezi hlavní výrobce patří samozřejmě zakládající členové konsorcia SIG, ale také mnoho dalších výrobců elektronických součástí.

- FREE2MOVE ([www.datasoft.se](http://www.datasoft.se))
- FLEXIPANEL ([www.flexipanel.com](http://www.flexipanel.com))
- EZURIO ([www.ezurio.com](http://www.ezurio.com))
- C-COM ([www.c-com.com.tw](http://www.c-com.com.tw))
- a jiné

### ***Modul F2M03GX***

Jedná se o modul od společnosti Free2Move určený pro datovou a zvukovou komunikaci. Lze jej aplikovat i bez hlubších znalostí technologie Bluetooth.

#### Parametry:

- Bluetooth 2.0
- Integrovaná nebo externí anténa
- Dosah: až 100m
- Až 7 Slave zařízení
- Minimum dalších součástek
- Přenosová rychlost: až 2Mbps
- Rozhraní: UART



**Obrázek 2.4.2: Bluetooth modul F2M03GX**

### ***Link Matic 2.0***

Velmi podobný modul nabízí také společnost Flexipanel. Je k němu možné zakoupit také vývojový kit určený pro zapojení do sériového portu.

#### Parametry:

- Bluetooth 2.0
- Integrovaná anténa
- Odběr: 25mA
- Dosah: až 100m
- Napájení: 3,3 – 5V
- UART



**Obrázek 2.4.3: Modul BT Link Matic**



### ***Ezurio TRBLU24-00100***

Dalším zástupcem na trhu bezdrátových BT technologií je společnost Ezurio. Nabízí několik typů BT modulů, ale také např. PCMCIA karet.

#### Parametry:

- Bluetooth 2.0
- Třída 1
- Dosah: až 250m
- Napájení: 3,3 – 7V
- Rozhraní: UART,ADC,PCM



**Obrázek 2.4.4: Modul BT TRBLU24**

## **2.5 ZIGBEE MODULY**

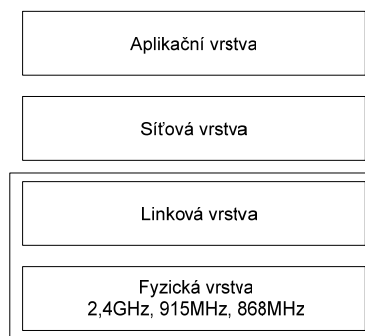


V roce 2002 díky alianci nazvané ZigBee ([www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)) vznikl nový standard pro bezdrátový přenos dat, který byl následně schválen také standardizační komisí IEEE jako norma IEEE 802.15.4. Jedná se o velmi levný obousměrný nízkorychlostní přenos dat, který se vyznačuje minimální spotřebou a je proto vhodný pro velmi široké pole aplikací s malým objemem přenesených dat.

V současné době alianci sdružuje asi 150 předních světových výrobců elektronických součástek, mimo jiné *Honeywell*, *Motorola*, *Philips*. Standard ZigBee byl vytvořen jako doplněk technologie Bluetooth.

### **2.5.1 Struktura standardu ZigBee**

Standard ZigBee je založen na sedmivrstvém standardu ISO/OSI, z něhož definuje pouze tři vrstvy potřebné pro plnou a jednoduchou funkčnost zařízení.



**Obrázek 2.5.1: Model komunikačního protokolu ZigBee  
(zjednodušený model)**

### ***Fyzická vrstva a linková vrstva***

Rádiová část standardu (fyzická vrstva) je definována standardem IEEE 802.15.4 a jsou jí přidělena tři základní frekvenční pásma tak, aby bylo zařízení možné používat po celém světě:

- Globální použití: pásmo ISM 2,4GHz s 16ti kanály a přenosovou rychlostí 250kbps
- Amerika a Austrálie: pásmo 915MHz s 10 kanály a přenosovou rychlostí 40kbps
- Evropa: pásmo 868 MHz s jedním kanálem a přenosovou rychlostí 20kbps

### ***Linková vrstva***

Standard IEEE 802.15.4 také definuje linkovou vrstvu, která již zprostředkovává samotnou komunikaci prostřednictvím rámců. Jsou definovány 4 typy rámců:

- *Beacon Frame*: rámeček pro synchronizaci zařízení (také pro režim spánku)
- *Data Frame*: rámeček pro užitečné informace
- *Acknowledgement Frame*: rámeček pro potvrzení komunikace
- *MAC Command Frame*: rámeček pro konfiguraci, nastavení a řízení klientských zařízení v síti

### *Sít'ová vrstva*

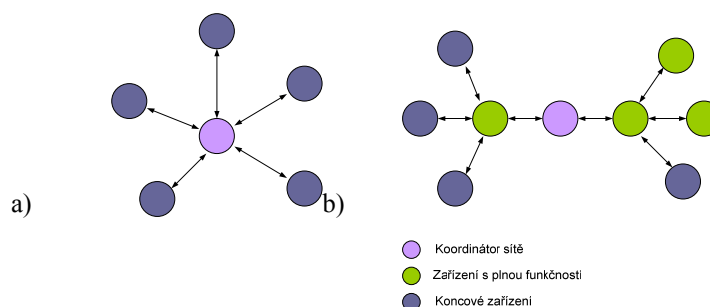
Sít'ová vrstva je definována ZigBee aliancí a obstarává připojování k síti a odpojování od ní, zabezpečení (kryptografický algoritmus AES) a směrování paketů [6].

### *Aplikační vrstva*

Aplikační vrstva se pak skládá z pomocné aplikační podvrstvy, definičních objektů ZigBee Profile a uživatelských aplikačních objektů a procesů. Aplikační pomocná podvrstva umožňuje párování zařízení podle poskytovaných služeb a požadavků. Objekt ZigBee Profile definuje roli zařízení v rámci sítě (koordinátor, směrovač nebo koncové zařízení) a poskytované služby [6].

## 2.5.2 Topologie sítě

Jednou z velkých výhod standardu ZigBee je topologie sítě. Standard definuje síť typu hvězda, strom a spojení obou. V případě sítě typu hvězda se jedná o klasické zapojení zařízení, kdy jedno má funkci koordinátora a ostatní jsou koncová zařízení. V topologii typu strom nemusí koncová zařízení komunikovat pouze s koordinátorem sítě (využije prostředníka), což je výhodné, pokud je potřeba například prodloužit síť.



**Obrázek 2.5.2: Topologie sítě a) hvězda, b) strom**

### 2.5.3 Moduly ZigBee pro použití v mobilní robotice

Hlavní výhodou technologie ZigBee je velmi nízká spotřeba energie, což jí předurčuje pro použití v zařízeních napájených akumulátory, tedy např. mobilní roboty. Důležité je, aby koordinátor sítě měl stálé napájení, protože musí zajistit správu celé sítě. To bývá splněno, protože koordinátor sítě je připojen k PC.

Mezi výrobce modulů ZigBee patří společnosti:

- FREESCALE ([www.freescale.com](http://www.freescale.com))
- RADIOCRAFTS ([www.radiocrafts.com](http://www.radiocrafts.com))
- DIGI ([www.digi.com](http://www.digi.com))
- SENTEC-ELEKTRONIK ([www.sentec-elektronik.de](http://www.sentec-elektronik.de))
- FLEXIPANEL ([www.flexipanel.com](http://www.flexipanel.com))

#### ***Modul XB24-ACI***

Modul ZigBee od společnosti DIGI (distributor v ČR [www.snailinstruments.com](http://www.snailinstruments.com)), který lze doplnit o USB nebo sériové rozhraní.

Parametry:

- Pásmo 2,4GHz
- Integrovaná anténa
- Napájení: 3,3V/45mA
- Komunikace peer-to-peer nebo síť



**Obrázek 2.5.3: Modul XB24-ACI**

#### ***Modul RC2200***

Společnost Radiocrafts nabízí prostřednictvím firmy Macroweil ([www.macroweil.cz](http://www.macroweil.cz)) ZigBee modul RC2200.

Parametry:

- Napájení: 2,7 – 3,6V
- Nízká spotřeba
- SMD montáž
- Možný modul RS232



Obrázek 2.5.4: Modul RC2200

**Moduly Pixie**

Moduly Pixie od společnosti Flexipanel nabízí kompletní řešení bezdrátové ZigBee komunikace. Nabízí moduly FFD, RFD nebo USB modul RFD.

Parametry:

- Dosah: 120m, výkon: 1mW
- Spotřeba: 25mA/2μA
- Napájení: 2,1 – 3,6V
- USB adaptér, UART



Obrázek 2.5.5: Moduly ZigBee Pixie

a) USB, b) SMD

**2.6 WIFI MODULY**



Podobně jako ostatní standardy i standard WIFI (*Wireless Fidelity*) vznikl na základě spojení předních světových společností do konsorcia WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) s cílem vytvořit standard určený především jako bezdrátová náhrada kabelového ethernetu, z čehož plyne, že se jedná o vysokorychlostní přenos velkoobjemových dat.

Mezi členy konsorcia patří *Microsoft, Apple, DELL, Nokia, Intel, Sony, Motorola, Texas Instruments* a samozřejmě desítky dalších společností po celém světě. WIFI je v podstatě jen obchodní značka. Celý standard je podmožinou protokolu IEEE 802.11b a pro přenos dat používá bezlicenční ISM pásmo 2,4GHz.

Vzhledem k tomu, že specifikace IEEE 802.11b je volně dostupná, je dnes k dispozici nesčetné množství zařízení od řady výrobců, což má za následek poměrně nízkou cenu zařízení.

### 2.6.1 Topologii sítě WIFI

Sítě WIFI lze sestavit v podstatě podle dvou typů spojení. V prvním případě se jedná o buňkové spojení, kdy centrální přístupový bod umožňuje připojení tzv. přístupových bodů (*AP*), např. pomocí ethernetu či optického kabelu a tyto stanice dále zprostředkovávají bezdrátové připojení pro zařízení v jejich dosahu. Tomuto spojení se říká *Infrastrukturní síť*.

Druhým typem spojení je tzv. Ad-Hoc. Jedná se o dvoubodové spojení, kdy spolu mohou zařízení komunikovat podle potřeby nezávisle na prostředníkovi. Jedinou podmínkou je, že musí být samozřejmě v dosahu. V tomto případě není možné sestavovat složitější strukturu sítě, protože komunikace má větší nároky na klientskou stanici, která musí udržovat spojení s každou stanicí, s níž právě komunikuje.

### 2.6.2 Fyzická vrstva standardu IEEE 802.11

Fyzická vrstva slouží jako rozhraní, v tomto případě bezdrátové, pro jednotlivá zařízení. Standard definuje fyzické vrstvy založené na třech odlišných principech :

- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

### 2.6.3 Vrstva přístupu k médiu

Tato vrstva kontroluje případné kolize před zahájením samotného přenosu. To znamená, že ověřuje, zda je komunikační kanál prázdný a nevysílá jiná stanice. Pro řízení přístupu je používán protokol CSMA/CA, tzn. že stanice detekuje signál o vysílání jiné stanice a čeká, dokud není kanál uvolněn.

#### 2.6.4 Moduly WIFI použitelné pro mobilní robotiku

Moduly WIFI jsou výhodné v případech, kdy je potřeba přenášet velké objemy dat. Díky svým větším rozměrům a poměrně velké spotřebě nejsou vhodné pro malé roboty. Vzhledem k tomu, že WIFI je vytvořena především jako náhrada ethernetu, věnují se výrobci převážně modulům pro PC. Výrobou modulů pro automatizační techniku se zabývají např. tyto společnosti:

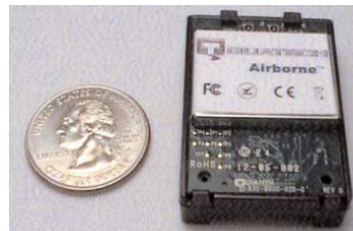
- SOLLAE ([www.sollae.com](http://www.sollae.com))
- QUATECH ([www.quatech.com](http://www.quatech.com))
- LANTRONIX ([www.lantronix.com](http://www.lantronix.com))
- a další

##### ***Modul WLNB-AN-DPxxx***

Společnost Quatech nabízí miniaturní moduly WIFI, které obsahují rádiový modul a mikrokontrolér pro předzpracování dat. Výstupním rozhraním může být UART, SPI.

##### Parametry:

- IEEE 802.11b
- Rychlost: až 11Mbps
- Externí anténa
- Odběr: 420mA
- Napájení: 3,3V
- Rozhraní: UART, SPI, I<sup>2</sup>C



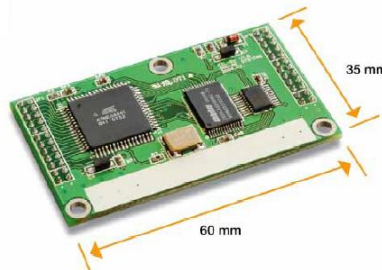
**Obrázek 2.6.1: Modul WIFI WLNB-AN-DPxxx**

##### ***Modul EZL 80***

V nabídce společnosti Sollae lze nalézt WIFI modul EZL80 určený např. pro přenos dat z mobilních zařízení.

Parametry:

- Procesor: ATMEL AVR
- Malé rozměry
- Napájení: 2,7 – 5,5V
- Rozhraní: UART 3,3V
- IEEE 802.11b



**Obrázek 2.6.2: Modul WIFI EZL80**

***Modul WiPort***

Společnost Lantronix nabízí modul WiPort, což je kompaktní, integrovaný, procesorem řízený modul, který obsahuje hardware i software pro podporu WIFI.

Parametry:

- IEEE 802.11b/g
- Rychlost: až 54Mbps
- Rozhraní: UART
- Odběr: až 650mA
- Kovový obal



**Obrázek 2.6.3: Modul WIFI Suport**

## 2.7 SOUHRN BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ

Na trhu existuje velmi široké pole jak bezdrátových technologií, tak také samozřejmě nabízených modulů. V případě jednotlivých technologií se moduly v závislosti na výrobci příliš neliší ve svých parametrech. Pro výběr konkrétního modulu jsou rozhodující spíše samotné požadavky, které určuje konstrukce robotu a účel, pro jaký je robot navržen.

Všechny nabízené moduly jsou samozřejmě univerzální, nicméně nabízejí různé parametry jako je dosah (otevřený i uzavřený prostor), dále velikost modulu a



také v neposlední řadě cena. Moduly založené na technologii WIFI jsou svou konstrukcí větší, mají poměrně velkou spotřebu a jsou drahé. Poskytují však vhodné řešení pro přenos velkých objemů dat (např. přenášení obrazu).

Pro přenos menších objemů dat lze použít všechny ostatní typy, nicméně opět s přihlédnutím na konkrétní zařízení, pro které je modul určen. Většina technologií poskytuje dosah okolo 100m (mimo IR – dosah asi 1m).

Dalším důležitým aspektem je předzpracování dat pro další použití. Moderní moduly nabízí implementovaný mikrokontrolér přímo v modulu, který nabízí rozhraní UART, I<sup>2</sup>C, SPI (závislé na konkrétním modulu) vhodná pro přímé připojení a zpracování dat v řídicí jednotce robotu nebo PC. V tomto případě se jeví jako poměrně zastaralé VF moduly, kde je nejprve nutné zajistit kódování dat pro vysílání.

Technologie Parametr	VF	IRQF	IrDA	Bluetooth	ZigBee	Wifi
<b>Dosah [m]</b>	100-200	150	1-10	až 200	až 500	100
<b>Typ přenosu</b>	Radiový signál	Rádiový signál	Optický paprsek	FHSS	DSSS	DSSS
<b>Frekvence</b>	100-868MHz	433/868MHz	700-1600nm	2,4GHz	2,4GHz/868MHz	2,4GHz
<b>Přenos. rychlost</b>	64kbps	10kbps	až 4Mbps	až 1Mbps	až 250kbps	až 54Mbps
<b>Vys. výkon [mW]</b>	5	1	-	100	25	250
<b>Spotřeba [mA]</b>	30	5	-	100	25	650
<b>Cena [Kč]</b>	100 - 1000	1000	100-200	1000	1000	2000

**Tabulka 2.7.1: Srovnání bezdrátových technologií**

Tabulka 2.7.1 ukazuje stručný přehled porovnávaných technologií v oblasti bezdrátových komunikačních zařízení. Jedná se pouze o přibližné údaje, protože existuje řada modulů různých výrobců a konkrétní údaje je nutné zjistit u konkrétního modulu.

### 3. SENZORICKÉ VYBAVENÍ

Následující kapitola popisuje možnosti senzorického vybavení pro kráčejíci podvozek. Sensory jsou děleny podle jejich hlavní funkce:

- senzory pro detekci překážek
- senzory pro určení polohy
- taktilní senzory

#### 3.1 SENZORY PRO DETEKCI PŘEKÁŽEK

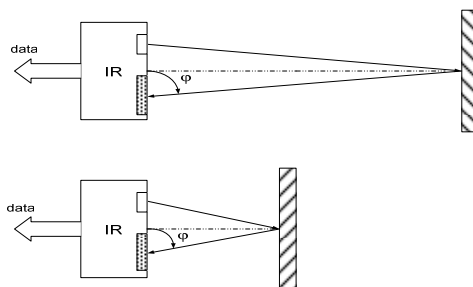
Pro detekci překážek se používají odrazové senzory, které využívají odraženého signálu od překážky a např. pomocí času či úhlu dopadu určují vzdálenost překážky. Je důležité, od jakého materiálu se signál odráží. Mohou tak nastat problémy např. při odrazech od měkkých materiálů, skla, apod.

##### 3.1.1 Infračervené senzory

###### *Princip infračerveného senzoru*

Infračervené senzory pro detekci překážek pracují podobně jako zařízení pro infračervený přenos dat. Jedná se o vysílací a přijímací část. Vyslaný paprsek se odrazí od případné překážky a přijímací část jej zaregistruje a dále se vyhodnotí.

Jednou z metod vyhodnocení může být triangulační metoda, kdy se měří úhel dopadu paprsku  $\varphi$  v závislosti na vzdálenosti překážky.



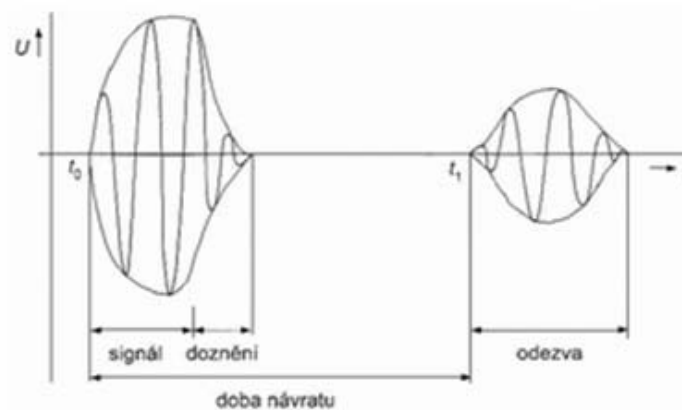
**Obrázek 3.1.1: Princip infračerveného senzoru**

### 3.1.2 Ultrazvukové senzory

Dalším zástupcem senzorů pro detekci překážek jsou senzory založené na ultrazvukovém principu. Umožňují detekci prakticky libovolného materiálu na mnohonásobně větší vzdálenost (až desítky metrů) než IR senzory.

#### *Princip ultrazvukového senzoru*

Jako převodník elektrického signálu na zvuk se u tohoto typu senzoru používá piezoelektrický měnič. Ultrazvukové senzory pracují na principu měření času odezvy (echa). Měnič vyšle v časovém okamžiku  $t_0$  několik pulsů, které se šíří rychlostí zvuku. Při nárazu na překážku se část signálu odrazí a v době  $t_1$  ji senzor zaregistruje (Obrázek 3.1.2).



**Obrázek 3.1.2: Princip ultrazvukového senzoru [15]**

Senzor může být vyroben pouze z jediného piezoelektrického měniče, ale v tom případě se vyznačuje tzv. mrtvou dobou (přepnutí vysílání a příjmu). Vhodnějším řešením je použití dvou měničů, jednoho přijímacího a jednoho vysílacího.

### 3.1.3 Senzory pro detekci překážek pro mobilní robotiku

Použití infračervených senzorů v mobilní robotice je velmi časté především díky jejich ceně (od 300Kč) a dobrým vlastnostem. Nejpoužívanější čidla běžně dostupná na českém trhu dodává společnost SHARP.

### ***Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21***

#### Parametry:

- Vzdálenost: 10 – 80cm
- Napájení: 5V/30mA
- Rozměry: 40x13x13,5mm
- Výstup: Napětí úměrné vzdálenosti



**Obrázek 3.1.3: Infračervený senzor SHARP GP2Y0A21**

### ***Infračervený senzor SHARP GP2Y0A700***

#### Parametry:

- Vzdálenost: 100 – 500cm
- Napájení: 5V/30mA
- Rozměry: 60x20x37mm
- Výstup: Napětí úměrné vzdálenosti



**Obrázek 3.1.4: Infračervený senzor SHARP GP2Y0A70**

Cena ultrazvukových senzorů je sice vyšší (od 700Kč) než v případě infračervených senzorů, mají ovšem mnohem větší dosah. Na českém trhu jsou k dostání přes firmu SNAIL INSTRUMENTS ([www.snailinstruments.com](http://www.snailinstruments.com)).

### ***Ultrazvukový senzor SRF05***

#### Parametry:

- Frekvence: 40kHz
- Vyzařovací úhel: 55°
- Rozsah: 3cm – 4m
- Napájení: 5V/30mA



**Obrázek 3.1.5: Ultrazvukový senzor SRF05**

### ***Ultrazvukový senzor SRF10***

#### Parametry:

- Frekvence: 40kHz
- Vyzařovací úhel: 72°
- Rozsah: 3cm – 6m
- Výstup: I<sup>2</sup>C
- Napájení: 5V/15mA



**Obrázek 3.1.6: Ultrazvukový senzor SRF10**

## **3.2 SENZORY PRO URČENÍ POLOHY**

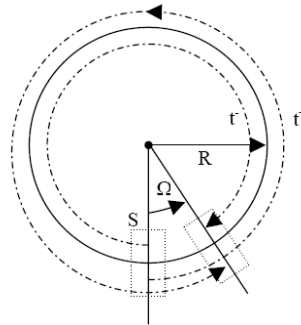
### **3.2.1 Gyroskopy**

Jedná se o zařízení, pomocí něhož lze primárně měřit úhlovou rychlost, tzn. jak rychle se daný předmět otáčí. Po integraci lze určit také polohu. Integrace signálu je jejich hlavní nevýhodou, protože spolu s integrací užitečného signálu se integruje také chyba. V praxi to znamená, že i nepohybující se gyroskop bude udávat změnu výchylky.

Díky miniaturizaci a MEMS technologii se dnes běžně používají v řadě zařízení. Podle principu lze rozdělit gyroskopy na dvě základní skupiny.

#### ***Optické gyroskopy*** [13]

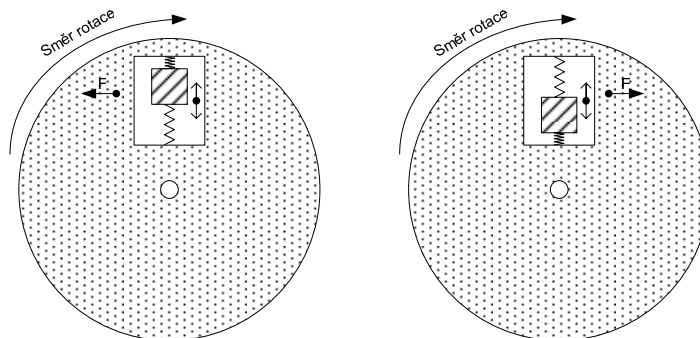
Optické gyroskopy využívají tzv. *Sagnackova efektu*. Jsou tvořeny světelným vláknem zahnutým do tvaru kružnice, do kterého jsou proti sobě vyslané dva světelné paprsky ze zdroje  $S$ . Jestliže se zdroj světla pohybuje úhlovou rychlostí  $\Omega$ , potom se světlo vyslané v opačném směru k pohybu zdroje vrátí dříve ( $t$ ) než paprsek vyslaný shodně se směrem pohybu zdroje ( $t^+$ ).



Obrázek 3.2.1: Princip optického gyroskopu [13]

### *Mechanické gyroskopy*

Jednou z možností konstrukce MEMS gyroskopu je zařízení, které využívá vlastností *Coriolisovy síly*. Při pohybu objektu umístěného v rámu kotouče směrem k okraji na něj působí *Coriolisova síla F* doleva, při pohybu ke středu doprava. Směr a velikost této síly jsou úměrné úhlové rychlosti, čehož se využívá k jejímu měření v mechanických gyroskopech.



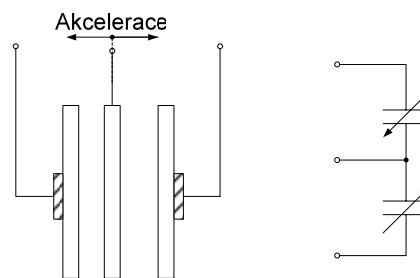
Obrázek 3.2.2: Princip mechanického gyroskopu [14]

### 3.2.2 Akcelerometry

Akcelerometry jsou určeny pro měření zrychlení a v dnešní době jsou již nepostradatelnou součástí mobilních robotů. Jedná se o senzor využívající setrvačnosti hmoty pro měření rozdílu mezi gravitačním zrychlením a kinematickým zrychlením (vzhledem k nějakému inerciálnímu prostoru).

### *Princip činnosti*

Akcelerometry s technologií MEMS jsou založeny na proměnné kapacitě tříelektrodového vzduchového kondenzátoru, u něhož jsou dvě elektrody pevné a jedna pohyblivá a její pohyb je závislý na působícím zrychlení (Obrázek 3.2.3).



**Obrázek 3.2.3: Princip MEMS akcelerometru**

Samotná struktura čipu je samozřejmě mnohem složitější, aby byly zajištěny požadované parametry jako linearita, citlivost převodu zrychlení na mechanický pohyb, apod.

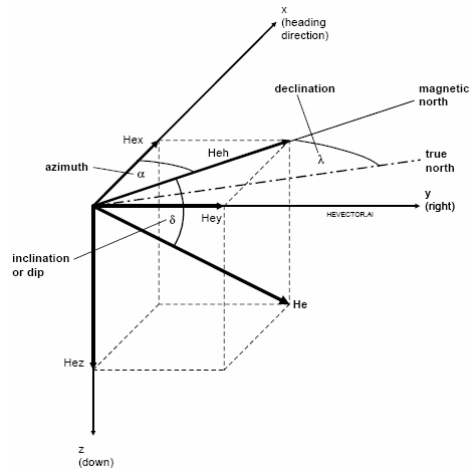
Přidáním další takové struktury na čip pootočené o 90° získáme akcelerometr schopný měřit ve dvou osách, tedy 2D. V dnešní době jsou již vyráběny jednočipové 3D akcelerometry, tedy akcelerometry doplněné o třetí, výškově pohyblivou strukturu.

### **3.2.3 Magnetometry – kompas**

#### *Princip činnosti*

Dalším zástupcem pro určení polohy je magnetometr. Jedná se o zařízení využívající magnetického pole Země, která se chová jako tyčový magnet. Intenzita magnetického pole se liší v závislosti na poloze na Zemském povrchu a je v rozmezí od 20 $\mu$ T (geomagnetický rovník) do 50 $\mu$ T (geomagnetický pól).

Vektorové vyjádření složek magnetického pole lze zobrazit pomocí obrázku (Obrázek 3.2.4).



Obrázek 3.2.4: Vektorové vyjádření magnetického pole [16]

Pro libovolný bod na Zemském povrchu vyjádřený vektorem  $H_e$  je možné určit azimut, inklinaci a deklinaci. Složky  $H_{ex}$  a  $H_{ey}$  jsou rovnoběžné s povrchem Země a  $H_{ez}$  má směr gravitační síly, tedy ke středu Země.

Azimut označený jako úhel  $\alpha$  určuje velikost odklonu od severu a lze ho vypočítat pomocí rovnice (3.1).

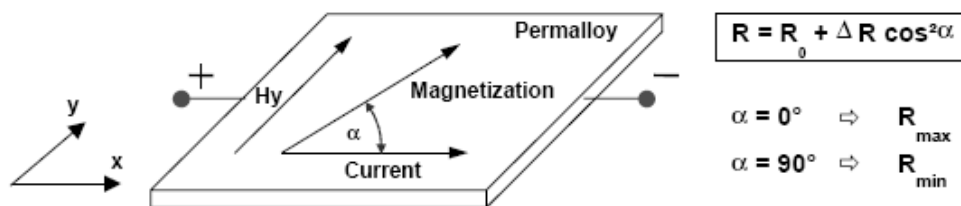
$$\alpha = \arctan \frac{H_{EY}}{H_{EX}} \quad (3.1)$$

*Inklinace* – úhel  $\delta$  vyjadřuje velikost odklonu magnetického pole  $H_e$  od složky  $H_{ez}$ . V našich zeměpisných šířkách je rovna asi  $72^\circ$ .

*Deklinace* – úhel  $\gamma$  popisující rozdíl mezi magnetickým a geografickým pólem Země.

Pro určení magnetického pole v daném místě na Zemském povrchu se ve snímačích využívá magnetorezistivního jevu. Základem je změna odporu magnetického materiálu (nejčastěji permalloy) v závislosti na magnetickém poli.





Obrázek 3.2.5: Struktura snímače [16]

### 3.2.4 Senzory pro určení polohy pro mobilní robotiku

Mezi společnostmi zabývající se výrobou MEMS technologií v oblasti gyroskopů patří:

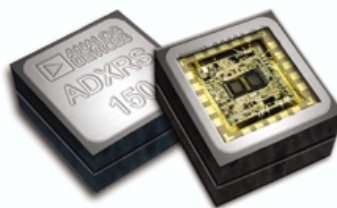
- ANALOG DEVICES ([www.analog.com](http://www.analog.com))

#### *Gyroskop ADXRS150*

Společnost Analog Devices se zabývá MEMS technologií a tak lze v jejím sortimentu nalézt široké spektrum gyroskopů řady ADXRSxxx. Jedná se o jednočipové kompaktní moduly o rozměrech 7x7x3mm, které uvnitř ukrývají jak samotný snímač, tak i veškeré vyhodnocovací a řídicí bloky.

#### Parametry:

- Miniaturní pouzdro
- Rozsah:  $\pm 150^\circ/\text{s}$
- Citlivost:  $12,5\text{mV}/^\circ/\text{s}$
- Šířka pásma: DC 2kHz
- Nelinearita: 0,1%



Obrázek 3.2.6: Gyroskop ADXRS150

Velkou výhodou pro inerciální navigaci robota pomocí akcelerometru je fakt, že systém je soběstačný a pro funkci není zapotřebí žádných vnějších objektů. Jejich velká nevýhoda je zatím stále malá přesnost.

Nejvýznamnějšími výrobci MEMS mikročipů jsou společnosti:

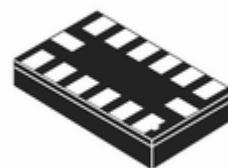
- FREESCALE ([www.freescale.com](http://www.freescale.com))
- ANALOG DEVICES ([www.analog.com](http://www.analog.com))

### ***3D akcelerometr MMA73xxL***

Jedná se o zástupce od společnosti FREESCALE, která mimo jiné nabízí široký sortiment právě v oblasti akcelerometrů. Tento čip se vyznačuje především přepínatelným rozsahem, krátkou reakční dobou a větší max. frekvencí otáčení. Obsahuje analogový výstup doplněný o logický výstup detekující nulové zrychlení.

#### Parametry:

- Přepínatelný rozsah
- Vysoká citlivost
- Reakční doba: 0,5ms
- Nelinearita: 1%
- Sleep mód
- Selftest



**Obrázek 3.2.7: Akcelerometr MMA73xxL**

### ***2D akcelerometr ADXL202***

Společnost Analog Devices nabízí svůj kapacitní 2D akcelerometr založený na MEMS technologii.

#### Parametry:

- Měřicí rozsah:  $\pm 2g$
- Krátkodobé zatížení: 1000g
- Separátní digitální výstupy pro osy (PWM)
- Separátní analogové výstupy pro osy
- Napájení: 3 – 5,25V



**Obrázek 3.2.8: Akcelerometr ADXL202**

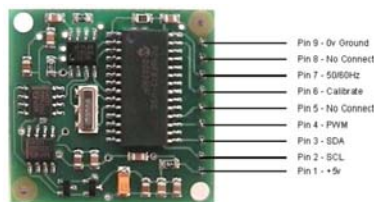
Magnetometry najdou široké uplatnění v aplikacích, kde je potřeba určovat natočení v jedné ose. Jistou nevýhodou je vysoká citlivost na rušení a také vhodná volba umístění senzoru v kostře robota. Nejrozšířenější senzor tohoto typu KMZ51 vyrábí společnost PHILIPS SEMICONDUCTORS ([www.nxp.com](http://www.nxp.com)), který obsahuje 4 magnetorezistivní snímače zapojené do můstku.

### **Modul CMPS03**

Speciálně navržený modul pro navigaci v robotice schopný určovat natočení ve dvou osách. Skládá se ze dvou senzorů KMZ51 vzájemně pootočených o 90°.

#### Parametry:

- Napájení: 5V
- Výstup: I<sup>2</sup>C, PWM
- Citlivost: 16 (mV/V)/(kA/m)
- Rozsah: -0,2 – 0,2 kA/m



**Obrázek 3.2.9: Modul CMPS03**

## **3.3 TAKTILNÍ SENZORY**

Jedná se o tzv. dotykové senzory, které v mobilních robotech často slouží jako koncové spínače. V případě krácejících robotů se nabízí možnost instalace takového senzoru do každé končetiny a sledovat tak „došlápnutí“, tedy kontakt se zemí. Podle tohoto údaje lze upravit algoritmy chůze, např. z hlediska vyvažování, apod.

### **3.3.1 Mechanické spínače**

Jednou z možností je použití mechanického mikrospínače. Vzhledem k tomu, že se vyrábí nepřeberné množství různých tvarů a konstrukcí, lze tyto spínače použít jako koncové (např. tykadla před nárazem do překážky), ale také jako čidla „došlápnutí“.

K dostání jsou ve všech obchodech s elektronickými součástkami a jejich cena je zanedbatelná.

- GM ELECTRONIC ([www.gme.cz](http://www.gme.cz))
- GES ELECTRONICS ([www.ges.cz](http://www.ges.cz))



**Obrázek 3.3.1: Mikrospínač s páčkou**    **Obrázek 3.3.2: Mikrospínač – tlačítko**

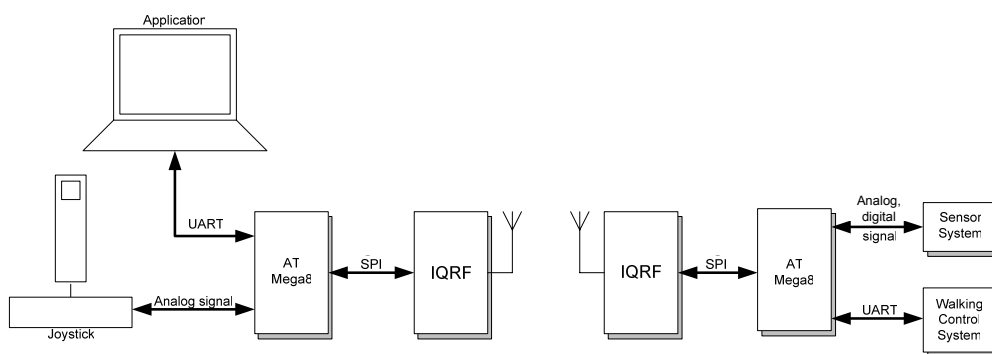
### 3.4 SOUHRN

Také v případě senzorů nabízí trh velmi široký sortiment a i v tomto případě je rozhodující především účel použití robotu. V této kapitole byly nastíněny možnosti senzorického vybavení robotu z hlediska řízení a orientace v prostoru. Jedná se především o levné senzory běžně dostupné na českém trhu. Díky těmto senzorům lze dosáhnout alespoň částečně autonomního chování z hlediska např. chůze po šikmé ploše, v nerovném terénu nebo bez kolizí s překážkami. Zařízení může být dále doplněno o specifické senzory pro měření radioaktivity, teploty apod.

## 4. REALIZACE KOMUNIKACE

Komunikace je základním prvkem každého robota, jednak pro propojení vnitřních subsystémů, např. řízení, senzory, ale také pro přenášení dat, jak směrem k uživateli (vizualizace, apod.), tak také směrem od uživatele (řízení).

Obrázek 3.4.1 ukazuje navržené řešení v případě čtyřnohého kráčejičího robota. Pro přenos dat mezi robotem a uživatelem slouží bezdrátová komunikace realizovaná pomocí modulů IQRF TR-868-11A doplněná o propojení s joystickem a počítačem na straně uživatele, ale také řešením pro sběr dat a řízení směru pohybu na straně samotného robota. Předzpracování dat na obou stranách komunikačního kanálu je realizováno univerzálními mikrokontroléry ATMega8.



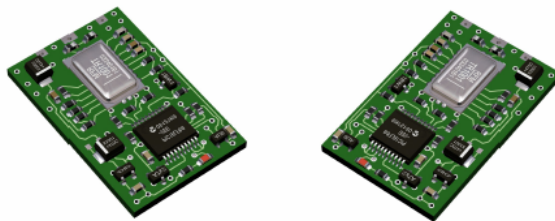
**Obrázek 3.4.1: Realizace komunikačního řetězce**

Díky tomuto způsobu lze ovládat robota na dálku nebo získávat data z jeho senzorů a pomocí vizualizačního programu mít přehled o stavu robota v terénu. Základní řešení obsahuje jednoduchou funkci řízení chůze a detekci překážek, které se mohou před robotem vyskytnout. Dále jsou snímány tzv. došlapy, které dávají informaci o tom, která končetina je v kontaktu se zemí.

## 4.1 MODULY IQRF TR-868-11A

### 4.1.1 Popis modulu [17]

Jako bezdrátové rozhraní byla zvolena novinka na trhu, moduly IQRF TR-868-11A od české společnosti MICRORISC, které poskytují miniaturní řešení a snadné použití pro přenos dat s malým objemem. Jedná se o obousměrné vysokofrekvenční moduly, které v sobě integrují RF modul pracující ve volném pásmu na frekvenci 868MHz a mikrokontrolér PIC 16LF88 s operačním systémem pro snadné použití.



Obrázek 4.1.1: Bezdrátový modul IQRF

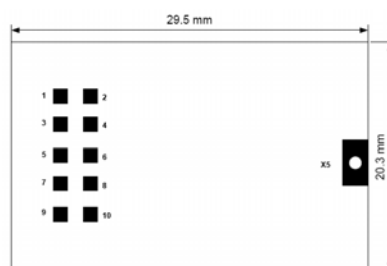
#### *Vlastnosti modulu TR-868-11A*

- 10-ti pinová lišta pro připojení k externímu zařízení
- Nízká cena
- Nízká spotřeba
- SPI
- 3V LDO regulátor
- Teplotní senzor
- Dosah až 180m
- Implementovaný OS

Díky těmto vlastnostem je modul vhodným řešením pro mobilní robotiku. Jedná se ovšem o nízko rychlostní přenosy dat (12kbps), což znamená jisté omezení, např. není vhodný pro přenos obrazu, použití složitých senzorů s velkým objemem

dat, apod. Modul neobsahuje interní anténu, ale je k dispozici pájecí ploška (popř. konektor) pro připojení externí antény či koaxiálního kabelu s externí anténou. OS zajišťuje kódování dat pomocí ASK modulace

V mikrokontroléru PIC je mimo jiné také vyhrazená část paměti přímo pro vlastní aplikace (velikost záleží na typu modulu) a lze tedy použít modul samostatně bez velkého množství externích součástek. V našem případě bylo využito možnosti použití sběrnice SPI (v modulu pouze *Slave* mód – implementovaný v OS), jejíž piny jsou dostupné z 10-ti pinové lišty a propojení s nadřazeným mikrokontrolérem (*Master* – ATmega8).



Obrázek 4.1.2: TR-868-11A – pohled zespodu

**Popis pinů:**

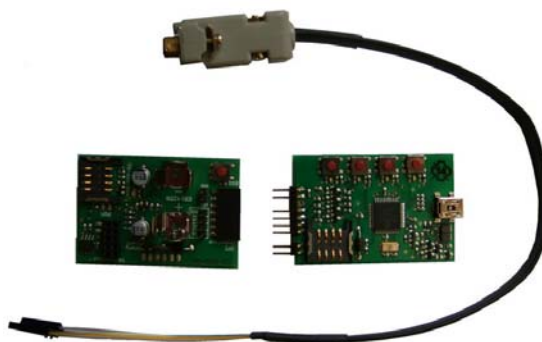
1	VINPUT	napájení modulu
2	VOUT	výstup 3V z LDO
3	RB1 / SDI	IOPin/SPIdata in
4	VCC	napájení PIC
5	RB2 / SDO / RX / DT	IOPin/SPIdata out/UART/UART sync. detekt.
6	GND	zem
7	RB7 / PGD / OUT2	IOPin/ICSP data pin/LED
8	RA5 / MCLR	Input pin/Master clear
9	RB4 / SCK	IOPin/SPI hodinový signál
10	RB5 / SS / TX / CK	IOPin/SlaveSelectSPI/UART/UARTsync.clock
X5	Anténa	

#### 4.1.2 Programování modulu TR-868-11A

Programování modulu je nutné pomocí vývojového kitu od výrobce, který je možné zakoupit buď v provedení se sériovým portem a připojením kabelu s převodníkem SPI (také k dostání u výrobce) nebo USB portem. Programování probíhá pomocí sběrnice SPI. Po kompilaci zdrojového kódu lze nahrát hex soubor do modulu pomocí zvláštní aplikace dostupné z webových stránek výrobce, což zajišťuje ochranu před poškozením OS v paměti modulu.

Novější moduly již podporují pouze programování pomocí USB portu, nicméně při použití modulu s 10-ti pinovou lištou je nutné použít oba kity připojené k sobě (USB kit neobsahuje konektor pro připojení 10-ti pinové lišty).

Pro vývoj této práce zapůjčil výrobce USB + kit pro sériový port.



Obrázek 4.1.3: Vývojové kity pro moduly IQRF

**Pozn.: Nelze použít emulátor COM portu pomocí USB pro programování pomocí kitu se sériovým portem!!!**

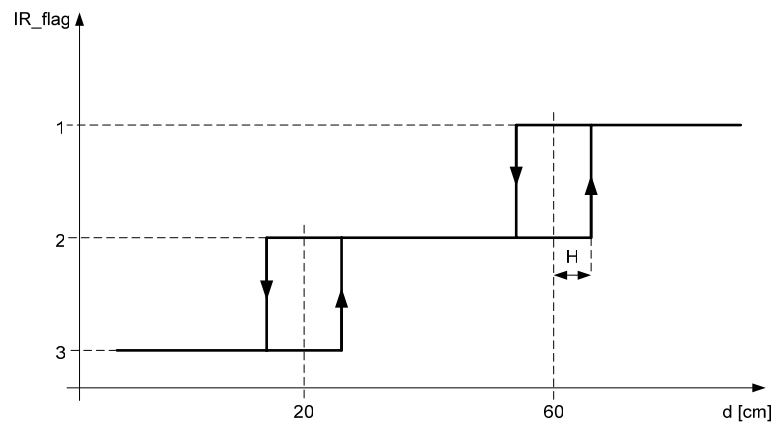
#### 4.2 IR SENZOR VZDÁLENOSTI SHARP

Detekce překážky je jeden ze základních prvků pro pohyb v prostoru. Pro sledování prostoru před robotem byl použit odrazový IR senzor vzdálenosti SHARP 2Y0A21. Jedná se o poměrně levný senzor pro měření na krátké vzdálenosti (max. 80cm). Výstupem je analogové napětí úměrné vzdálenosti.



Senzor je relativně citlivý na rušení v napájecím napětí, proto jsou jeho napájecí přívody připojeny přes LC článek ( $L=10\mu H$ ,  $C=100nF$ ). Analogové napětí je zpracováváno pomocí AD převodníku integrovaného v mikrokontroléru ATmega8.

Pro detekci překážky byly použity pouze tři orientační hodnoty – 20cm, 60cm, bez překážky. Díky charakteru chůze kráčejičího robotu (naklání, houpání) bylo nutné zajistit hysterzezi mezi změnou stavů, která byla realizována pomocí obrázku (Obrázek 4.2.1). Velikost hysterzeze je  $2*H=2*5cm$ .



Obrázek 4.2.1: Hysterezní křivka IR senzoru

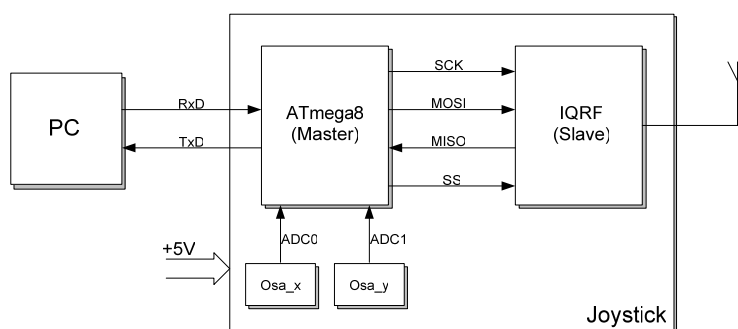
### 4.3 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ

Hardwarové řešení je rozděleno do dvou celků, na straně uživatele a na straně robotu. Tvoří tak celý komunikační řetězec pro přenos dat, tzn. povely řízení směrem od uživatele k robotu a sběr dat a následná vizualizace v opačném směru tak, aby měl uživatel možnost sledovat, co se děje v okolí robota při jeho chůzi.

#### 4.3.1 Návrh desky – joystick

Jako hlavní řídicí prvek pro čtyřnohého kráčejičího robotu byl zvolen klasický joystick pro PC, který byl dále upraven tak, aby vyhovoval požadavkům na zpracování signálu pro obě osy pohybu. Úprava spočívá v tom, že potenciometry pro

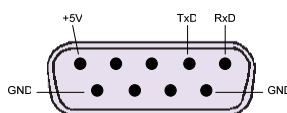
získávání polohy ovládací páky joysticku byly zapojeny jako děliče napětí a posuvný prvek přímo připojen na AD převodník mikrokontroléru (konektor X2). Komunikaci s IQRF modulem obstarává sběrnice SPI. Jako *Master* zařízení pracuje mikrokontrolér ATmega8 a v pozici *Slave* zařízení je IQRF modul.



Obrázek 4.3.1: Blokové schéma - joystick

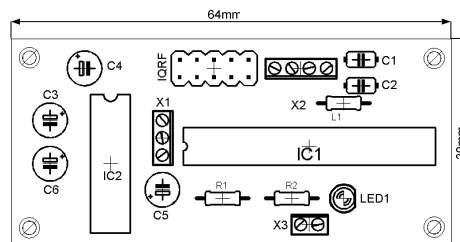
Pro zachování kompaktnosti byla řídicí deska navržena tak, aby ji bylo možné integrovat přímo do joysticku (Obrázek 4.3.1), nicméně je třeba mít na paměti, že VF modul je při vysílání velmi silný zdroj rušení. Díky této skutečnosti bylo potřeba umístit modul tak, aby elektromagnetické pole vyzářené anténou minimálně ovlivňovalo především analogové signály k AD převodníku a také signály sériové linky pro připojení počítače. Této skutečnosti bylo dosaženo umístěním VF části komunikačního modulu mimo tělo joysticku. I přesto však docházelo k velkému rušení signálů sériové linky a bylo ji potřeba odstínit pomocí hliníkové folie.

Připojení k napájecímu zdroji (indikace a vypínač umístěné na joysticku) a sériové lince PC zajišťuje konektor *CANON9* z boku joysticku. Pro komunikaci s PC jsou využívány pouze tři vodiče *TxD*, *RxD* a *GND* (konektor *X1*).

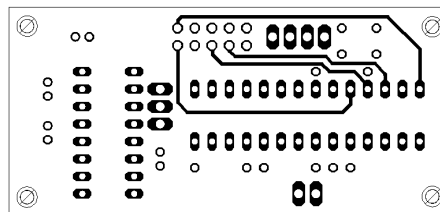


Obrázek 4.3.2: Zapojení konektoru na joysticku

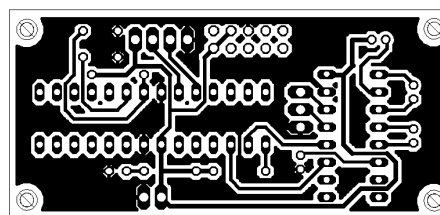
Na desce plošného spoje je kromě samotného mikrokontroléru ATmega8 (*IC1*) a konektoru pro IQRF modul umístěn také integrovaný obvod MAX232 (*IC2*) k nastavení napěťových úrovní pro komunikaci s COM portem na PC. Dále LED dioda pro indikaci napájení, konektor pro připojení sériové linky a konektor pro připojení páky joysticku (konektor *X2*). Osazení desky plošného spoje součástkami zobrazuje Obrázek 4.3.3 a pohled ze strany součástek a spojů – Obrázek 4.3.4, Obrázek 4.3.5.



Obrázek 4.3.3: Rozmístění součástek – joystick



Obrázek 4.3.4: Strana součástek – joystick

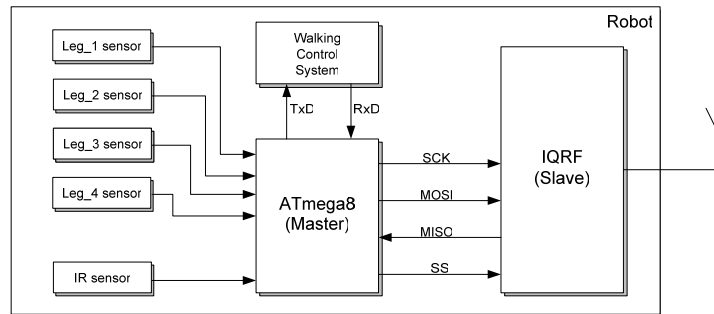


Obrázek 4.3.5: Strana spojů – joystick

#### 4.3.2 Návrh desky – robot

Řídící systém na straně robotu vychází ze základní desky umístěné uvnitř robotu, která zajišťuje algoritmy chůze, tzn. koordinace nohou a sledování těžiště (*Walking Control System - WCS*). K tomuto systému je modulárně připojen systém

pro sběr dat ze senzorů a bezdrátovou komunikaci. Předzpracování dat zajišťuje mikrokontrolér ATmega8 (Obrázek 4.3.6).

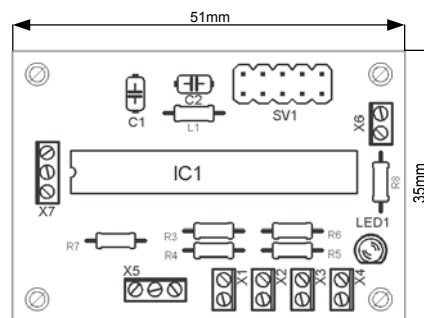


**Obrázek 4.3.6: Blokové schéma - robot**

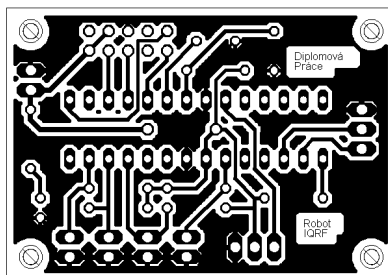
Propojení ATmega8 (*Master*) s řídicím systémem (*WCS*) je realizováno pomocí sériové linky UART (konektor *X7*), s bezdrátovým modulem IQRF (*Slave*) komunikuje pomocí sběrnice SPI.

Pro indikaci došlapů byly zvoleny mechanické mikrosplínače umístěné uvnitř jednotlivých končetin. K mikrokontroléru jsou přivedeny digitální signály (*on - off*) připojené na konektory *X1-X4*.

Rozložení součástek zobrazuje Obrázek 4.3.7 a strana spojů Obrázek 4.3.8.



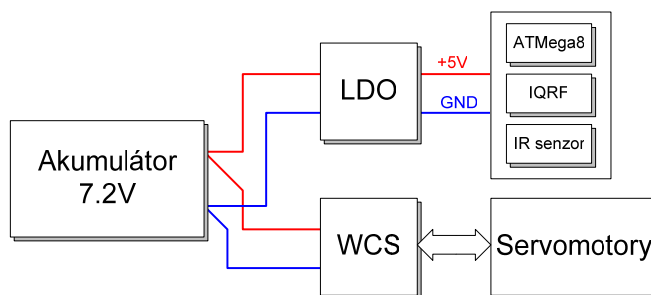
**Obrázek 4.3.7: Rozmístění součástek – robot**



Obrázek 4.3.8: Strana spojů – robot

### *Napájení*

Pro pohon robotu je použito 12 servomotorů, které vyzařují velmi silné rušení. Naopak VF moduly jsou velmi citlivé na zvlnění napájecího napětí. Z tohoto důvodu bylo napájecí napětí odděleno zvlášť pro silovou část robotu (*WCS* + servomotory) a zvlášť pro komunikační rozhraní a senzory.



Obrázek 4.3.9: Napájení v robotu

### *Umístění komunikačního rozhraní*

Komunikační rozhraní bylo nutné na robot umístit tak, aby rušení vznikající díky servomotorům minimálně ovlivňovalo VF přenos. Rozhraní bylo umístěno mimo samotné tělo robotu.

## 4.4 SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ

Software je pro všechny subsystemy komunikačního řetězce tvořen pomocí jazyka C. Všechny mikrokontroléry (Atmel i PIC) pro své taktování využívají

interní oscilátor nastavený na frekvenci 8MHz. Struktura programů je přibližena pomocí vývojových diagramů, které jsou detailně popsány dále.

#### 4.4.1 Algoritmus – joystick

Algoritmus běží v nekonečné smyčce, kde je pouze testováno, zda přišla žádost od PC aplikace pro odeslání dat a pokud ano, jsou odeslána data. Výzva je indikována nastavením příslušného *flagu*, který přes přerušení signalizuje příchozí data od UARTu. Data o stavu joysticku a čidel jsou uložena ve dvouhodnotovém poli *DATA* a PC aplikace pomocí dvou typů výzev žádá o aktuální data.

výzva	pole <i>DATA</i>	popis
0x03	<i>DATA[0]</i>	aktuální stav joysticku
0x04	<i>DATA[1]</i>	aktuální stav čidel

**Tabulka 4.4.1: Struktura přenosu dat mezi PC a joystickem**

Pro aktivaci SPI sběrnice je využit *Timer1*, v jehož přerušení je zpracována celá procedura SPI přenosu dat (čtení i zápis najednou – *fullduplex*). Přenos je zahájen pokud jsou data u *Slave* připravena a jsou platná pouze v případě, je-li přijatý status od modulu *CRC O.K.*

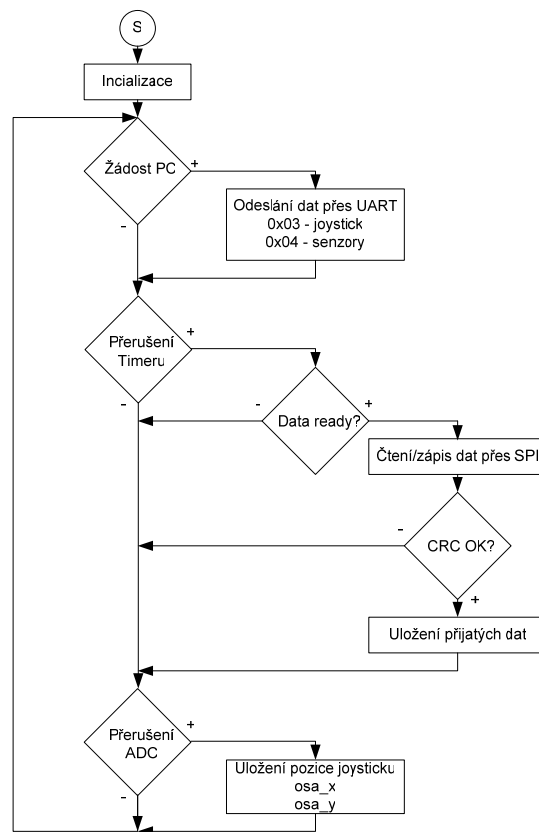
Polohu páky joysticku vzorkuje s frekvencí 62,5kHz 10-bitový AD převodník, který je integrován v mikrokontroléru ATMega8. AD převodník průběžně měří dva kanály (*osa\_x* – *ADC0* a *osa\_y* – *ADC1*) a převádí analogovou hodnotu na digitální. Po vyvolání přerušení uloží příslušnou hodnotu podle polohy páky. Je povoleno pouze 5 stavů.



**Obrázek 4.4.1: Význam bitů v *DATA[0]***

bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	směr
0	0	0	0	nulová poloha
0	0	0	1	dopředu
0	0	1	0	dozadu
0	1	0	1	doprava
0	1	1	0	doleva

Tabulka 4.4.2: Význam bitů v *DATA[0]*



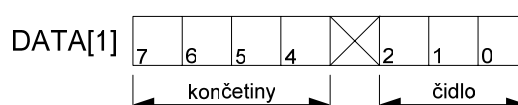
Obrázek 4.4.2: Vývojový diagram – joystick

#### 4.4.2 Algoritmus – robot

Přenos dat po sběrnici SPI a snímání dat z AD převodníku je realizováno stejným způsobem jako v případě joysticku. Pro cyklické volání SPI přenosu je využit *Timer1*. AD převodník pracuje na frekvenci 62,5kHz s 10-ti bitovou přesností a snímá analogovou hodnotu z IR čidla, které je připojeno ke kanálu *ADC0*. Pomocí

uloženého pole je podle naměřené hodnotě přiřazena přímo vzdálenost v cm. Pro detekci překážky jsou využívány pouze 3 stupně – 60cm, 20cm a volný prostor bez překážky.

Tlačítka jsou ke vstupním branám mikrokontroléru připojeny přes *pull-up* rezistory. Při došlápnutí je signalizována *log. 0* a pokud končetina nemá kontakt s podložkou, na příslušném vstupním pinu je úroveň *log. 1*.



**Obrázek 4.4.3: Význam bitů v *DATA[1]***

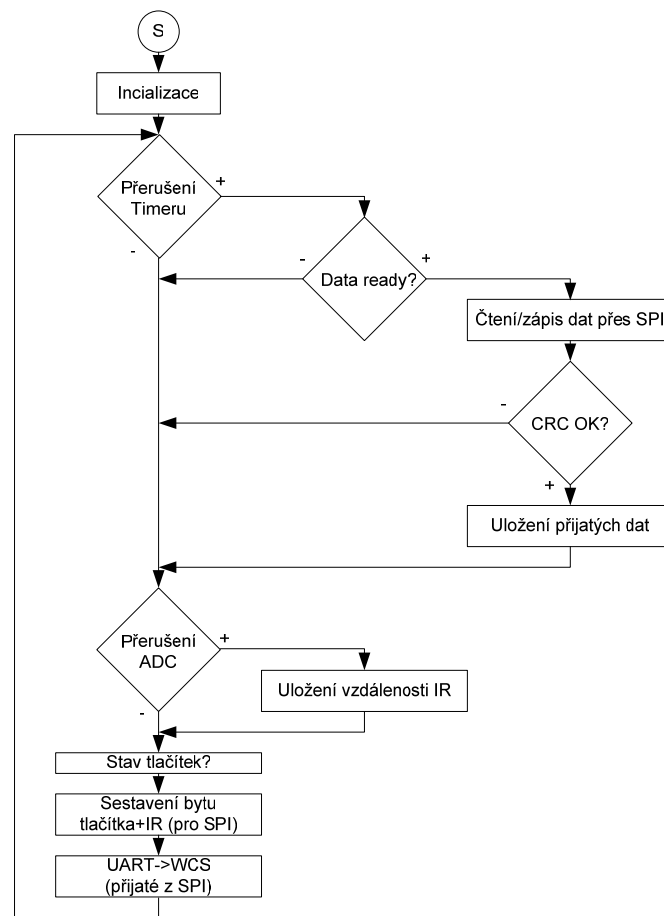
- Bit 7* ... *pravá zadní končetina*
- Bit 6* ... *levá zadní končetina*
- Bit 5* ... *pravá přední končetina*
- Bit 4* ... *levá přední končetina*

bit 2	bit 1	bit 0	vzdálenost
0	0	1	bez překážky
0	1	0	60cm
1	0	0	20cm

**Tabulka 4.4.3: Význam bitů v *DATA[1]***

Před odesláním dat přes SPI jsou stavy tlačítek a naměřená vzdálenost uloženy do jediného bytu *DATA[1]*, který je následně pomocí rádiového přenosu, přes SPI a UART odeslán až do PC aplikace, kde je provedena vizualizace.





Obrázek 4.4.4: Vývojový diagram – robot

#### 4.4.3 Algoritmus – IQRF modul

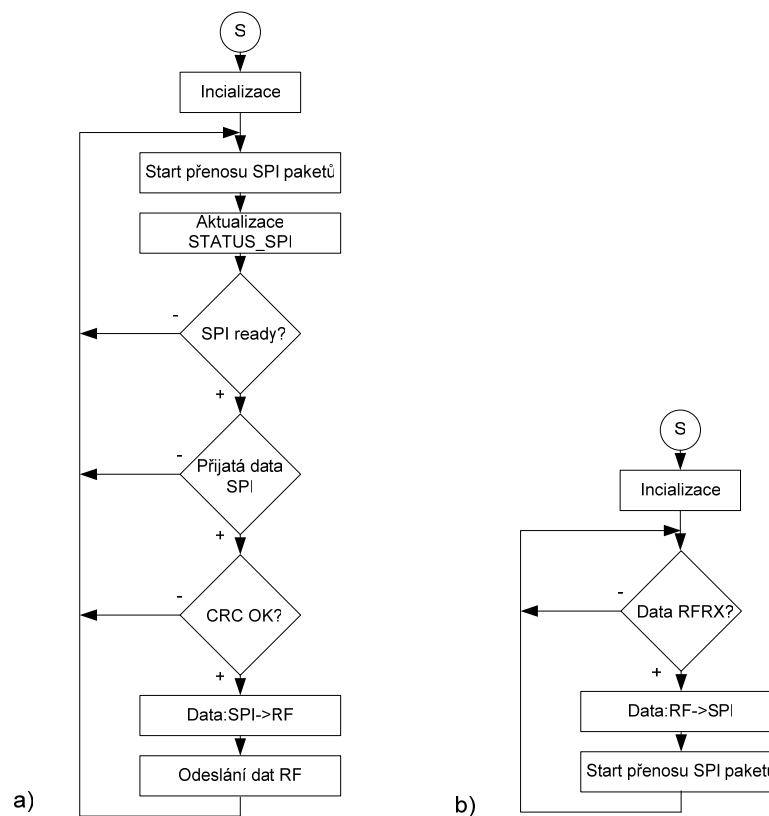
Moduly IQRF jsou naprogramovány pouze pro jednosměrnou komunikaci, tedy zvlášť vysílač a přijímač. Oba moduly slouží v podstatě jako převodník dat mezi SPI a RF přenosem.

##### *Vysílač*

Vysílací modul automaticky skenuje SPI. Pokud je linka volná, jsou přijata nějaká aktuální data od *Master* zařízení a pokud je kontrolní součet v pořádku, vyšlou se data pomocí RF přenosu.

### Přijímač

Přijímací strana pouze testuje, zda byla přijata nějaká data přes RF přenos a pokud ano, připraví tyto data do bufferu SPI a spustí přenos SPI paketů. *Master* zařízení si data vyzvedne a zpracuje.



Obrázek 4.4.5: Vývojový diagram – IQRF modul, a) vysílač, b) přijímač

#### 4.4.4 Struktura SPI rámce

Zařízení *Master* (ATMega8) a *Slave* (IQRF modul) jsou k sobě připojena pomocí čtyř vodičů – *SDI*, *SDO*, *SCK* a *SS*. Výběr *Slave* zařízení je řízen softwarově pomocí signálu *SS* (*Slave Select*). Taktovací frekvence *SCK* je nastavena na frekvenci 62,5kHz. *Master* zařízení může komunikovat pomocí dvou příkazů, *SPI\_CHECK*, který vrátí status od *Slave* zařízení a *SPI\_CMD*, který umožňuje čtení/zápis dat.

$SPI\_CHECK = 0x00$

$SPI\_CMD = 0xF0$

Pro komunikaci byla zvolena následující struktura rámce:

Master	SPI_CMD	PTYPE	DATA_M	CRC_M	SPI_CHECK	SPI_CHECK
Slave	SPI_STAT	SPI_STAT	DATA_S	CRC_S	SPI_STAT	SPI_STAT

**Obrázek 4.4.6: Struktura rámce SPI**

kde

*PTYPE* ... konfigurační byte

*DATA\_M* ... data z *Master* zařízení

*CRC\_M* ... kontrolní součet *Master*

$$(CRC\_M = SPI\_CMD \text{ xor } PTYPE \text{ xor } DATA\_M \text{ xor } 0x5F)$$

*DATA\_S* ... data ze *Slave* zařízení

*CRC\_S* ... kontrolní součet *Slave*

$$(CRC\_S = SPI\_STAT \text{ xor } DATA\_S \text{ xor } 0x5F)$$

*SPI\_STAT* ... status *Slave* zařízení

0x41 ... Data připravena

0x3F ... *CRC\_M OK*

Časová prodleva mezi jednotlivými byty (tedy nastavování *SS*) byla zvolena 200 $\mu$ s. Po prvním bytu, který indikuje čtení/zápis dat následuje byte *PTYPE* s typem přenosu a počtem následujících datových bytů.

PTYPE	CTYPE		DLEN					
	7	6	5	4	3	2	1	0

**Obrázek 4.4.7: Struktura *PTYPE* bytu**

kde

*CTYPE* určuje typ komunikace

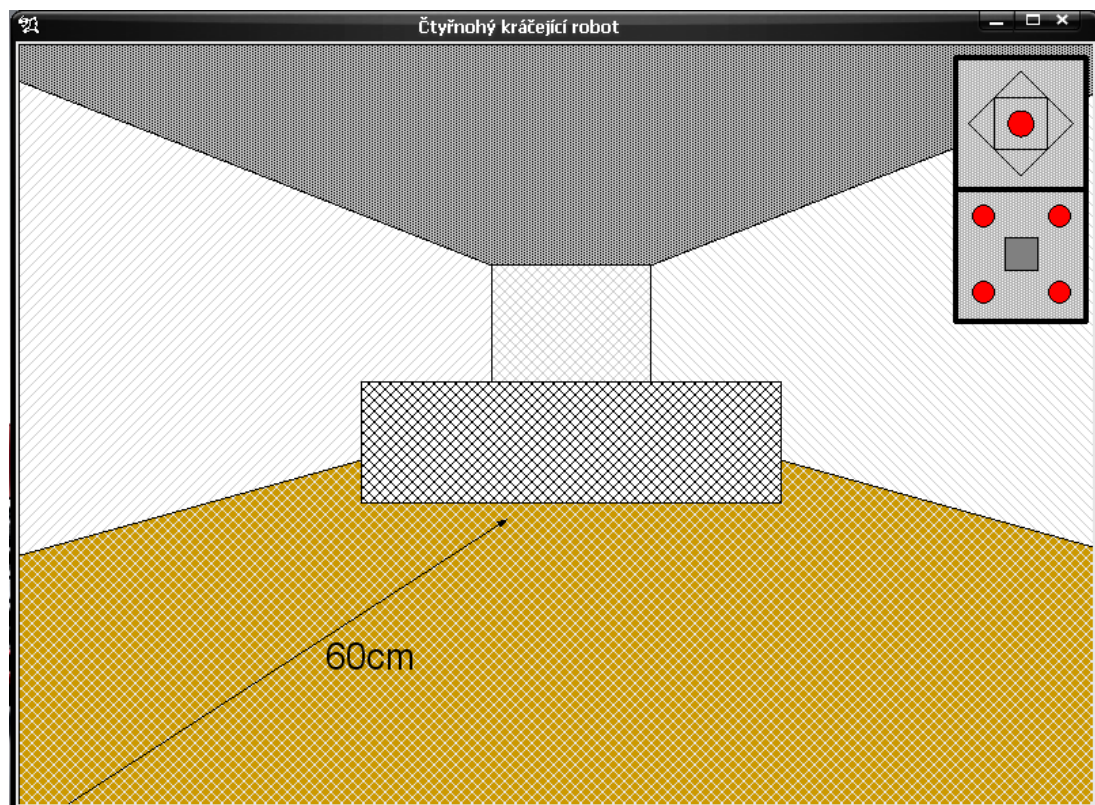
00 ... *halfduplex*

10 ... *fullduplex*

*DLEN* určuje počet bytů (1-35)

#### 4.4.5 PC aplikace

Jedná se o jednoduchý vizualizační program, který umožňuje sledovat polohu páky joysticku a stavu čidel robotu.



Obrázek 4.4.8: PC aplikace pro vizualizaci

#### 4.4.6 Parametry UART, SPI

Pro komunikaci dvou zařízení je nutné uvést parametry, které musí splňovat, aby bylo možné přenášet data mezi nimi.

### ***UART***

Přenosová rychlost: 9600 baudů  
Parita: žádná  
Počet bitů: 8  
Stop bit: 1

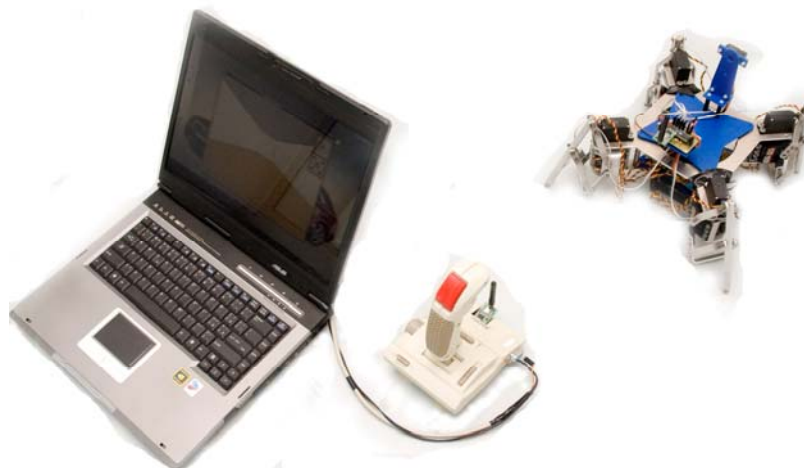
### ***SPI***

Taktovací frekvence (*SCK*): 62,5kHz  
Pořadí bitů: MSB first  
Výběr Slave (*SS*): Softwarově z Master zařízení  
Polarita hodin: Low polarity  
Přenos dat: Fullduplex

## 5. ZÁVĚR

Práce vychází z teoretického rozboru, jehož účelem byla orientace v oblasti bezdrátových modulů a senzorů dostupných na trhu v ČR. V případě bezdrátových modulů se jedná o poměrně rozsáhlou kapitolu, protože existuje široké spektrum dostupných výrobků, které se liší nejen ve způsobu přenosu dat, ale také v dalších parametrech jako např. připojení k řídicímu systému (SPI, I<sup>2</sup>C, apod.). Podobná situace je také v kapitole pojednávající o senzorech, kde byly vybrány některé základní senzory s přihlédnutím ke konstrukci podvozku.

Pro praktickou část práce byly vybrány bezdrátové moduly IQRF a senzory, na kterých byla rozpracována realizace sběru a přenosu dat. Bylo potřeba vyřešit jednak hardwarový návrh, ale také softwarové řešení na straně robotu i uživatele. Řízení pohybu robotu zajišťuje joystick, který umožňuje řízení ve 4 směrech. Pro základní orientaci v prostoru byl robot vybaven IR senzorem SHARP pro detekci překážek a snímáním tzv. došlapů končetin pomocí mechanických spínačů. Pro vizualizaci stavu joysticku i čidel slouží jednoduchá PC aplikace. Informace o případné překážce před robotem a její vzdálenosti je velice důležitý údaj pro uživatele. Naproti tomu snímání došlapů je pro vizualizaci nadbytečný údaj. Sledování kontaktu končetin se zemí má smysl spíše pro samotné algoritmy chůze.



**Obrázek 4.4.1: Realizace bezdrátové komunikace**

Přenos dat se podařilo realizovat pouze jedním směrem, tzn. že bezdrátové moduly pracují pouze jako vysílač, resp. přijímač. Dále byla rozpracována možnost obousměrného přenosu, který již nebyl z časových důvodů dokončen.

Kráčející podvozek se servomotory jako pohony se vyznačuje velmi silným rušením, které proniká jednak do prostoru kolem robotu a jednak také do napájecího napětí. Z tohoto důvodu jsou kladeny velké nároky na umístění samotného bezdrátového rozhraní, ale také jeho napájení, protože moduly jsou poměrně citlivé na kvalitu napájecího napětí. Bylo nutné také přihlédnout k rozmístění součástek při návrhu tak, aby VF moduly byly umístěny mimo analogové signály.

Bezdrátové rozhraní je pro mobilní roboty nepostradatelnou součástí. Stávají se tak samostatní a uživatel má možnost řízení na dálku bez kabelů. Po doplnění senzorů získává robot určitý stupeň autonomnosti, případně lze získat přehled o prostředí, ve kterém se robot pohybuje, aniž by bylo potřeba na něj přímo „vidět“. Moduly IQRF, novinka na trhu, jsou jednou z alternativ bezdrátového rozhraní. Vzhledem k nosné frekvenci 868MHz, ASK modulaci a přenosové rychlosti 12kbps jsou vhodné spíše pro malé přenosy dat na přímou viditelnost, ale jejich výhodou jsou miniaturní rozměry, spotřeba a cena. S jistým omezením se tedy jeví jako vhodné komunikační rozhraní.

## 6. LITERATURA

- [1] TKÁČ, Josef. *Jak na Bluetooth v rekordním čase*. 1. vyd.. Grada Publishing, 2005. 84 stran. ISBN 80-247-1081-1.
- [2] ŘEHÁK, Jan. *Osobní síť – Bluetooth a IEEE 802.15*. HW server: Vše o elektronice a Programování [on-line]. [cit. 2006-06-29]. Dostupné z Internetu: <<http://hw.cz/Produkty/Ethernet/ART917-Osobni-site---Bluetooth-a-IEEE-802.15.html>> .
- [3] PUŽMANOVÁ, Rita. *Bezdrátové lokální síť WLAN podle IEEE II*. Lupa.cz: Server o českém internetu [on-line]. [cit. 2002-04-16]. Dostupné z Internetu: <<http://www.lupa.cz/clanky/bezdratove-lokalni-site-wlan-podle-ieee-ii/>>.
- [4] ŠULC, Vladimír. *Inteligentní bezdrátová pojítka? Ano – IQRF*. HW server: Vše o elektronice a Programování [on-line]. [cit. 2006-04-09]. Dostupné z Internetu: <<http://hw.cz/Produkty/ART1432-Inteligentni-bezdratova-pojitka-Ano-IQRF.html>>.
- [5] *Domovská stránka IQRF* [on-line]. Dostupné z Internetu: <<http://www.iqrf.org>>.
- [6] KOTON, J., ČÍKA, P., KŘIVÁNEK, V. *Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee*. [on-line]. [cit. 2006-04-18]. Dostupné z Internetu:<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=standard-nizkorychlostni-bezdratove-komunikace-zigbee&cisloclanku=2006032001>>.
- [7] BRADÁČ, Zdeněk. *Bezdrátový komunikační standard ZigBee*. Automatizace: Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku [on-line]. Roč. 48, č. 4, strana 261. Dostupné z Internetu: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=638>>.
- [8] MYSLÍK, Vladimír. *IrDA – Kompletní popis*. HW server: Vše o elektronice a Programování [on-line]. [cit. 1998-10-12]. Dostupné z Internetu: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART784-IrDa---Kompletni-popis.html>>.



- [9] *Standard IrDA* [on-line]. Dostupné z Internetu: <<http://www.irda.org>>.
- [10] *Standard ZigBee* [on-line]. Dostupné z Internetu:  
<<http://www.zigbee.org>>.
- [11] *Standard Bluetooth* [on-line]. Dostupné z Internetu:  
<<http://www.bluetooth.com>>.
- [12] *Standard Wifi* [on-line]. Dostupné z Internetu:  
<<http://www.wi-fi.com>>.
- [13] ŠOLC, František, ŽALUD, Luděk. *Robotika*. Elektronické skriptum FEKT VUT. Brno. 2002. 61 stran.
- [14] VOJÁČEK, Antonín. *Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS*. HW server: Vše o elektronice a Programování [on-line]. [cit. 2006-01-06]. Dostupné z Internetu: <<http://hw.cz/Externi-clanky/Automatizace.HW.cz/ART1474-Gyroskopy-v-integrovanem-provedeni-MEMS.html>>.
- [15] VOJÁČEK, Antonín. *Ultrazvukové senzory přiblížení*. HW server: Vše o elektronice a Programování [on-line]. [cit. 2005-11-07]. Dostupné z Internetu: <<http://hw.cz/Externi-clanky/Automatizace.HW.cz/ART1424-Ultrazvukove-senzory-priblizeni.html>>.
- [16] STORK, Thomas. *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52* [on-line]. [cit. 2000-03-30]. Dostupné z Internetu:  
<[http://www.nxp.com/acrobat\\_download/applicationnotes/AN00022\\_COMPASS.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/applicationnotes/AN00022_COMPASS.pdf)>.
- [17] *Datasheet of TR-868-11A, rev.070216*. [on-line]. Dostupné z Internetu:  
<[http://www.iq-esupport.com/index.php?\\_m=downloads&\\_a=viewdownload&downloaditemid=70&nav=0,1](http://www.iq-esupport.com/index.php?_m=downloads&_a=viewdownload&downloaditemid=70&nav=0,1)>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Schéma zapojení - joystick

Příloha 2 Schéma zapojení - robot

# Příloha 1

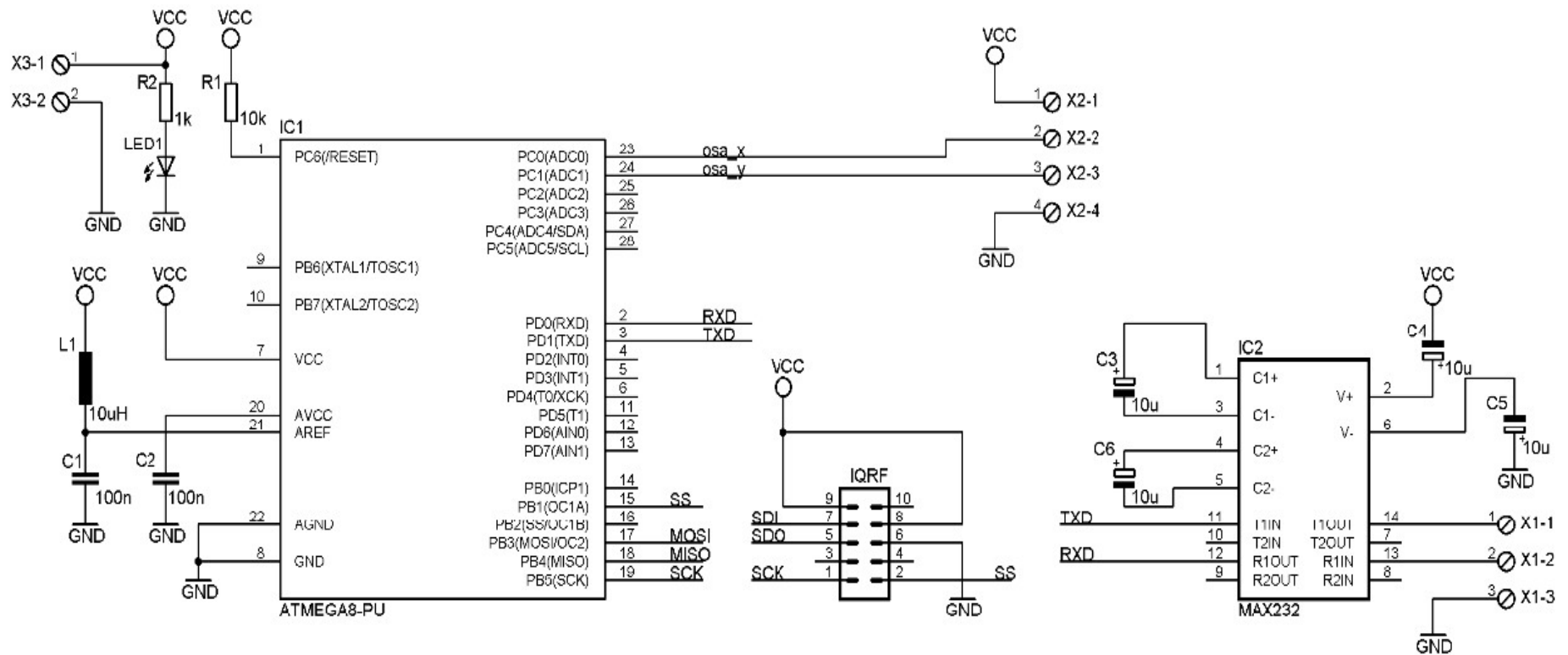


Schéma zapojení - joystick

## Příloha 2

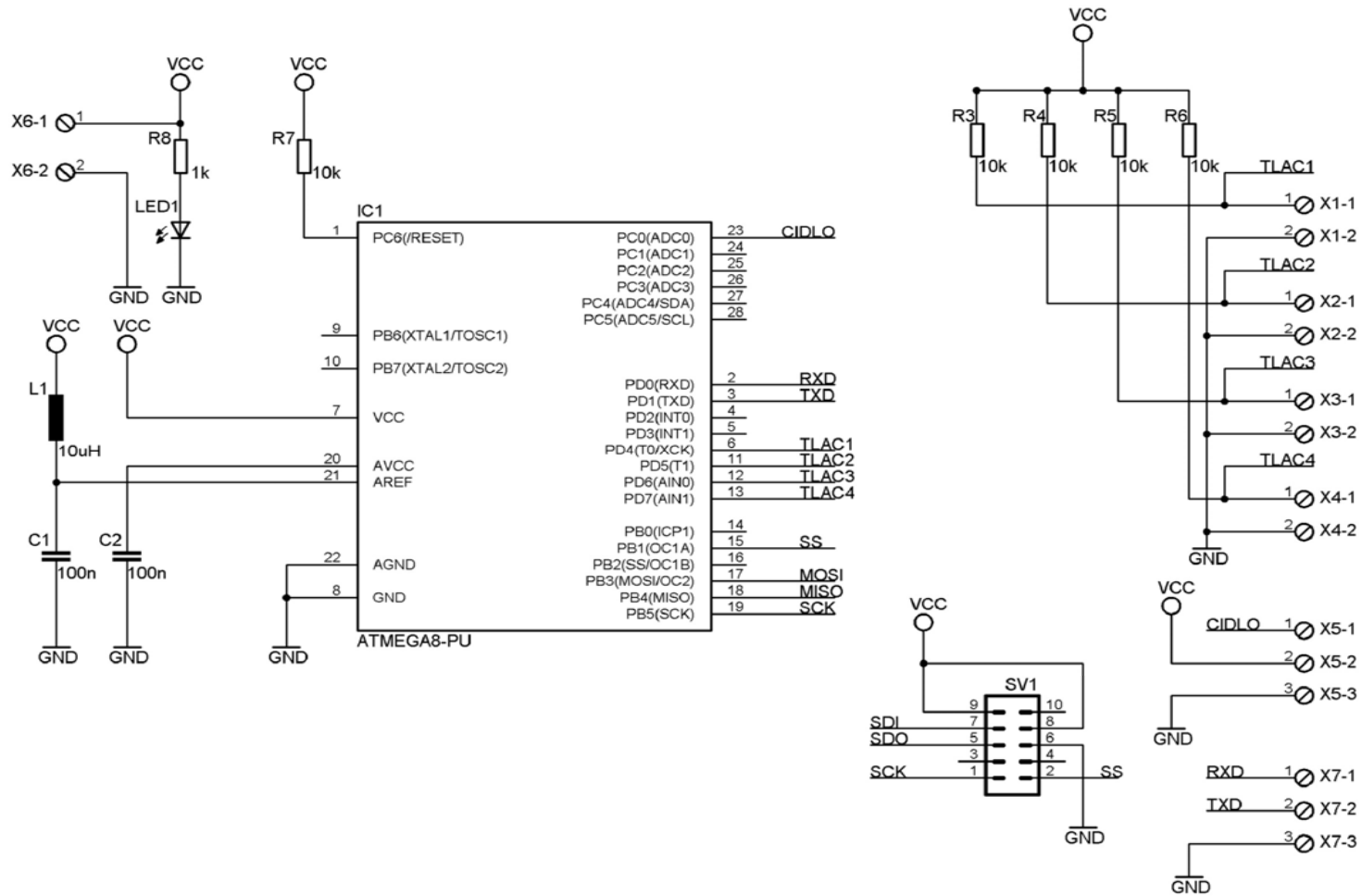


Schéma zapojení - robot