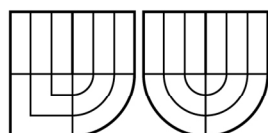


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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. TOMÁŠ VELEBA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ NEUŽIL

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Čtyřnohý kráčejíci robot

Diplomová práce

Obor: Kybernetika, automatizace a měření
Student: Bc. Tomáš Veleba
Vedoucí: Ing. Tomáš Neužil

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá problematikou řízení čtyřnohého kráčejícího robotu. Má za úkol vytvořit a realizovat algoritmy pro chůzi a ovládání. Je rozdělena do šesti částí. V úvodu jsou rozebrány jednotlivé druhy podvozků, jejich výhody a nevýhody. V další části je popsána mechanická konstrukce robotu i veškeré realizované elektronické vybavení. V třetí části jsou detailně popsána čidla, která robot používá. Následující část se zabývá popisem chůze robotu. Vysvětluje jednotlivé fáze chůze a rozebírá statickou a dynamickou stabilitu. Další část tvoří popis programového vybavení. Zde je pojednáno o programovém vybavení řídicího mikrokontroléru a algoritmu generujícím chůzi. Popisuje také programové vybavení řídicí aplikace v počítači. V poslední části je proveden průzkum možností bezdrátového řízení.

Klíčová slova:

Čtyřnohý kráčejíci robot, mobilní robotika, konstrukce robotu, algoritmus chůze, kinematika, měřicí senzory, magnetometr, bezdrátová komunikace

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. Tomáš Veleba

Supervisor: Ing. Tomáš Neužil

Abstrakt:

The diploma paper deal with control problems of a four legged walking robot. They endeavour to establish and partly implement the walking and control algorithms. They are divided into six parts. Individual chassis types and their advantages and drawbacks are analysed in introduction. Next part describes mechanical design of the robot and also all realised electronics facilities. The third part describes in detail sensors that are used by the robot. Following part deals with description of robot's walking. It explains individual walking phases and analyses both static and dynamic stability. Next part contains description of the robot's software facility. The software facility of the control micro-controller and the algorithm that generates walking are explained in this part. It also describes software facility of control application in computer. Exploration of the possibilities for wireless control is carried out in the last part.

Key words:

Four legged walking robot, mobile robot, construction of robot, kinematics, measuring sensors, magnetometer, wirelles comunication

Bibliografická citace

VELEBA, Tomáš. Čtyřnohý kráčeující robot. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing.Tomáš Neužil.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Čtyřnohý kráčeující 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. Tomáši Neužilovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

1.	ÚVOD	9
2.	MOBILNÍ ROBOTIKA [1]	10
2.1	DRUHY PODVOZKŮ	11
2.1.1	<i>Kolové podvozky.....</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Pásové podvozky</i>	<i>11</i>
2.1.3	<i>Kráčející podvozky</i>	<i>11</i>
3.	KONSTRUKCE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU	13
3.1	TĚLO ROBOTU	13
3.2	NOHA ROBOTU	14
3.3	AKČNÍ ČLENY	16
3.3.1	<i>Konstrukce servomotoru.....</i>	<i>16</i>
4.	MOŽNOSTI BEZDRÁTOVÉHO ŘÍZENÍ	17
4.1	IRDA	18
4.2	BLUETOOTH.....	19
4.3	WI-FI.....	20
4.4	ZIGBEE	20
4.5	VF MODULY	21
4.6	SHRNUTÍ.....	22
5.	HARDWARE ROBOTU.....	23
5.1	MIKROKONTROLÉR ATMEGA162 [11].....	23
5.2	SERVOMOTOR OD FIRMY HI-TEC.....	24
5.2.1	<i>Technické parametry servomotorů</i>	<i>25</i>
5.2.2	<i>Ovládání servomotorů.....</i>	<i>26</i>
5.3	HARDWAROVÝ NÁVRH ŘÍDÍCÍ DESKY	27
5.4	MODUL PRO SBĚR DAT ZE SENZORŮ	29
5.5	UMÍSTĚNÍ ELEKTRONIKY A AKUMULÁTORU	30
5.6	ŘÍZENÍ POMOCÍ JOYSTICKU	31
5.7	MAGNETOMETR.....	32
5.7.1	<i>CMPS03 [15]</i>	<i>32</i>
5.8	INFRAČERVENÉ MĚŘENÍ VZDALENOSTI	33
5.8.1	<i>GP2Y0A21YK.....</i>	<i>33</i>
5.9	NAPÁJENÍ.....	34

6.	SENZORY	36
6.1	SONAR	36
6.2	MAGNETOMETR	38
6.3	ČIDLA DOŠLAPU	40
7.	POPIS CHŮZE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU	41
7.1	STABILITA ROBOTŮ	41
7.2	CHŮZE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU	42
7.2.1	<i>Přímá chůze</i>	42
7.2.2	<i>Otáčení</i>	43
7.3	CHARAKTERISTIKA CHŮZE	44
7.4	KINEMATIKA ROBOTŮ	45
8.	POPIS PROGRAMU PRO ATMEGA 162	49
8.1	ZÁKLADNÍ ALGORITMUS CHŮZE ROBOTŮ	49
8.2	INICIALIZACE	49
8.3	PŘERUŠENÍ OD ČÍTAČE/ČASOVAČE	50
8.4	PŘERUŠENÍ OD SÉRIOVÉ LINKY	51
8.5	Hlavní program	51
9.	OVLÁDACÍ PANEL PRO PC	54
9.1	KOMUNIKACE PC S MIKROKONTROLÉREM	54
9.2	OKNO APLIKACE	55
9.2.1	<i>Sonar</i>	56
9.2.2	<i>Zobrazení stavu čidel došlapu</i>	57
9.2.3	<i>Ovládací panel k robotu</i>	57
9.2.4	<i>Zobrazení azimutu</i>	58
10.	ZÁVĚR	59
11.	LITERATURA	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 2.1 – UKÁZKA ČTYŘNOHÝCH KRÁČEJÍCÍCH ROBOTŮ [17] [18]	12
OBR. 3.1 – NÁVRH TĚLA ROBOTU A PRACOVNÍ PROSTOR NOHY	13
OBR. 3.2 – REALIZOVANÝ NÁVRH ROBOTU S ELEKTRONIKOU A BEZ NÍ.....	14
OBR. 3.3 – NÁVRH ČLÁNKŮ NOHY [2].....	15
OBR. 3.4 – NÁVRH NOHY ROBOTU [2] A JEJÍ PRAKTICKÁ REALIZACE	15
OBR. 3.5 – KONSTRUKCE SERVOMOTORU [20].....	16
OBR. 4.1 - AGILENT HSDL – 3612 [6]	18
OBR. 4.2 -F2M03GXA [7].....	19
OBR. 4.3 - RCM440W RABBITCORE [8].....	20
OBR. 4.4 - ZDM-A1281-B0 [9]	21
OBR. 4.5 - BIM3 [10].....	21
OBR. 5.1 – ROZLOŽENÍ PINŮ ATMEGA162 [11]	24
OBR. 5.2 – NATOČENÍ HRÍDELE V ZÁVISLOSTI NA DÉLCE IMPULZU	27
OBR. 5.3 – BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDÍCÍ DESKY	28
OBR. 5.4 – VÝROBNÍ PLÁN ŘÍDÍCÍ DESKY – ROZMĚR (92 X 52 MM).....	28
OBR. 5.5 – OSAZOVACÍ PLÁN ŘÍDÍCÍ DESKY – ROZMĚR (92 X 52 MM).....	29
OBR. 5.6 – REALIZACE ŘÍDÍCÍ DESKY	29
OBR. 5.7 – BLOKOVÉ SCHÉMA MODULU PRO SBĚR DAT.....	30
OBR. 5.8 – REALIZOVANÝ MODUL PRO SBĚR DAT	30
OBR. 5.9 - UMÍSTĚNÍ ELEKTRONIKY A AKUMULÁTORU	31
OBR. 5.10 – OVLÁDACÍ JOYSTICK	31
OBR. 5.11 – STRUKTURA MAGNETOREZISTIVNÍHO SNÍMAČE [4]	32
OBR. 5.12 - MAGNETOMETR CMPS03 S POPISEM VÝVODŮ [15]	33
OBR. 5.13 – INFRAČERVENÝ SNÍMAČ GP2Y0A21YK [19].....	33
OBR. 5.14 - ZÁVISLOST VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ NA VZDÁLENOSTI.....	34
OBR. 5.15 –ROZMĚRY B-WP 1.3 [21].....	35
OBR. 6.1 – OTOČNÁ VĚŽ S INFRAČERVENÝM ČIDLEM	36
OBR. 6.2 – NATÁČENÍ SERVOMOTORU A SPOJENÍ BODŮ Z NAMĚŘENÝCH DAT	37
OBR. 6.3 – ZPRACOVÁNÍ DAT Z INFRAČIDLA POČÍTAČEM.....	37
OBR. 6.4 – UMÍSTĚNÍ MAGNETOMETRU NA ROBOTU	39
OBR. 6.5 – VYKRESLENÍ AZIMUTU NA OVLÁDACÍM PANELU	39
OBR. 6.6 – ČIDLO DOŠLAPU	40
OBR. 6.7 – SIGNALIZACE STAVU ČIDEL DOŠLAPŮ.....	40
OBR. 7.1 – JEDNOTLIVÉ FÁZE CHŮZE ROBOTU [2]	42
OBR. 7.2 – JEDNOTLIVÉ FÁZE OTÁČENÍ ROBOTU [2].....	43
OBR. 7.3 – ZJEDNODUŠENÁ NOHA ROBOTU [2].....	47

OBR. 8.1 – PRINCIP ŘÍZENÍ SERVO MOTORŮ POMOCÍ ČÍTAČŮ.....	50
OBR. 8.2 - VÝVOJOVÝ DIAGRAM PŘI ROZHODOVÁNÍ O SMĚRU CHŮZE.....	52
OBR. 9.1 – OVLÁDACÍ APLIKACE	55
OBR. 9.2 – MAPA PROSTŘEDÍ PŘED ROBOTEM.....	56
OBR. 9.3 – ZOBRAZENÍ STAVU ČIDEL	57
OBR. 9.4 – ŘÍZENÍ SMĚRU CHŮZE ROBOTU	57
OBR. 9.5 – ZOBRAZENÍ AZIMUTU	58

SEZNAM TABULEK

TABULKA 3.1 – ROZMĚRY ČLÁNKŮ NOHY	15
TABULKA 5.1 – TECHNICKÉ PARAMETRY ATMEGA162	23
TABULKA 5.2 – TECHNICKÉ PARAMETRY SERVO MOTORU HS5645MG [12]	25
TABULKA 5.3 – TECHNICKÉ PARAMETRY SERVO MOTORU HS478HB [13]	26
TABULKA 5.4 -AKUMULÁTOR B-WP 1.3–6 [21]	35
TABULKA 6.1 – PŘÍKAZY PRO MAGNETOMETR CMPS03.....	38
TABULKA 8.1 - PŘÍKAZY PRO OVLÁDÁNÍ CHŮZE	52

1. ÚVOD

Mobilní robotika se zabývá roboty, kteří se mohou přesouvat z místa na místo. Poměrně úzkou skupinou jsou roboty s kráčejičnými podvozky. Ty dosahují dobrých výsledků v nerovném terénu a při překonávání překážek, ale jsou velmi náročné na řízení a konstrukci.

Diplomová práce se zabývá problematikou řízení čtyřnohého kráčejičného robotu. V úvodu jsou rozebrány jednotlivé druhy podvozků. Dále je popsána konstrukce a noha robotu, který byl vytvořen na VUT v Brně. Robot obsahuje dvanáct servomotorů. Z hlediska řízení bylo nutné zvolit správný mikrokontrolér, který dokáže řídit jednotlivé servomotory v reálném čase. Řízení také musí generovat algoritmy pro chůzi robotu v libovolném směru a otáčení. V další kapitole jsou vysvětleny jednotlivé fáze při chůzi a otáčení.

Aby se robot mohl pohybovat v různorodém prostředí je nutné ho vybavit senzory, které ho budou informovat o překážkách.

Bylo potřeba hledat řešení pro napájení, protože robot má omezenou nosnost.

2. MOBILNÍ ROBOTIKA [1]

Roboty mohou být statické nebo mobilní. Statickými roboty bývají nejčastěji jednoúčelové stroje s omezeným dosahem, takže mohou vykonávat určenou práci jen v ohraničeném prostoru (robotické manipulátory). Mobilní roboty mají výhodu ve své univerzálnosti. Mohou se přesouvat na potřebná místa, kde jsou schopni provádět širokou škálu úkolů.

Faktorem, který nejvíce ovlivňuje rychlost, přístupná místa i výdrž mobilního pozemního robotu je způsob, jakým se pohybuje. Pozemní robot může mít v podstatě tři druhy podvozků (kola, pásy, nohy a jejich kombinace). Každý z nich má své výhody i nevýhody.

Mobilní roboty je možno rozdělit podle toho v jakém prostředí se pohybují na roboty operující:

- Na souši (terrestrial)
- Ve vodě (aquatic)
- Ve vzduchu (airborne)
- Ve vesmírném prostoru (space)
- Kombinace předcházejících

Naprostá většina robotů se pohybuje pouze po souši. Roboty pohybující se po souši je dále možno rozdělit na platformy:

- kolové (wheeled)
- pásové (tracked)
- kráčeující (limbed)

2.1 DRUHY PODVOZKŮ

2.1.1 Kolové podvozky

Tento druh podvozku používá většina mobilních robotů pohybujících se po souši. Kola mohou být aktivní či pasivní. Běžně používaná kola mohou mít jeden nebo dva stupně volnosti.

Druhy podvozků:

- Diferenciální podvozek
- Synchronní podvozek
- Trojkolový podvozek s řízeným předním kolem
- Ackermanův podvozek
- Podvozky se všesměrovými koly

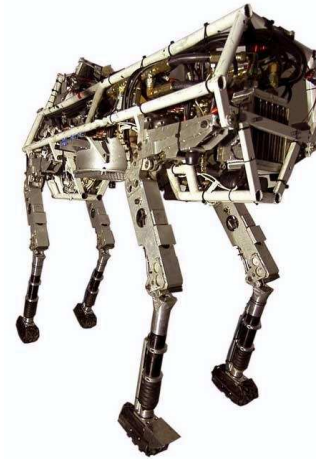
2.1.2 Pásové podvozky

- velmi podobné vlastnosti s podvozky bez pásů se spřaženými koly s jedním stupněm volnosti
- výborné do terénu
- konstrukčně jednoduché, přitom velmi robustní a spolehlivé
- potřebují mnohem více energie pro zatočení

2.1.3 Kráčejíci podvozky

- nejvíce podobné způsobu pohybu živočichů a člověka
- obrovské množství možností jak v počtu končetin (od 1 do desítek) tak v počtu stupňů volnosti (1 - 7)
- často se používá 6 končetin – je vždy stabilní
- u čtyř končetin je nutné mít více stupňů volnosti nebo přesouvat těžiště
- dvounohé představují vrchol – teoreticky patrně nejlepší schopnosti, ale také obrovská složitost, potíže se stabilitou

Na následujících snímcích jsou ukázky čtyřnohých kráčejících robotů Obr. 2.1.



Obr. 2.1 – Ukázka čtyřnohých kráčejících robotů [17] [18]

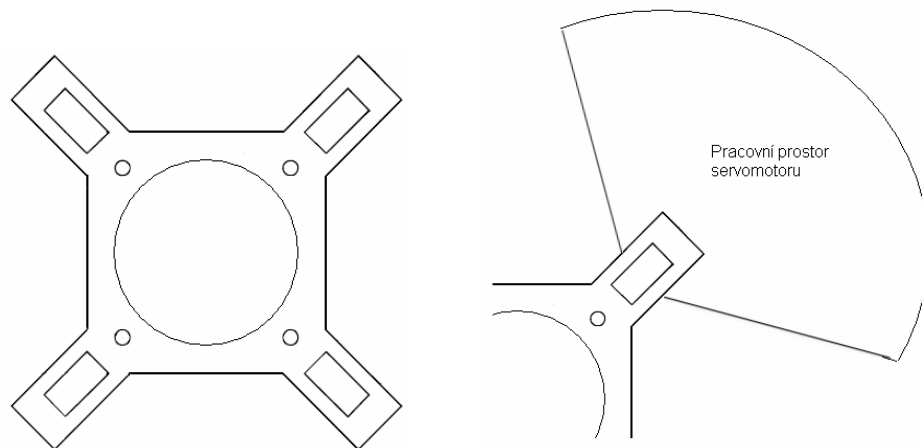
3. KONSTRUKCE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU

Mechanická část robotu se skládá z těla, nohou a akčních členů.

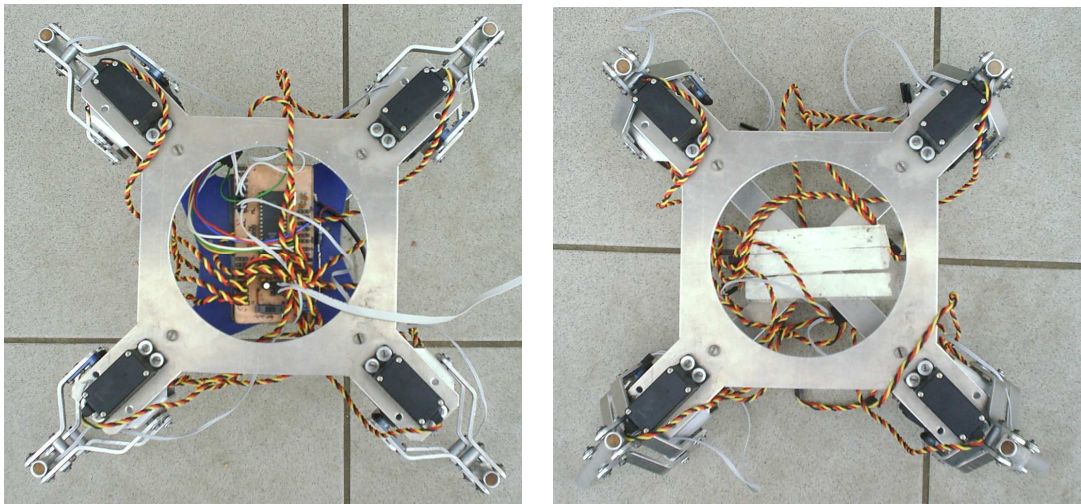
3.1 TĚLO ROBOTU

Tělo robotu má funkci rámu, do kterého jsou upevněny končetiny. Také plní funkci hlavního nosného prostoru, ve kterém jsou umístěny řídicí prvky, zdroj energie a senzory. Mělo by tedy být dostatečně pevné a lehké, neomezovat pracovní prostor končetin a mělo by také být dostatečně prostorné, aby do robotu bylo možné snadno umístit potřebné vybavení.

Konstrukce je vyrobena ze slitiny hliníku. Tento materiál je pevný, dobře obrobitelný a má přijatelnou hmotnost. Tělo robotu je tuhé a má tvar čtverce. Nohy jsou rozmístěny symetricky v rozích viz Obr. 3.1.



Obr. 3.1 – Návrh těla robotu a pracovní prostor nohy

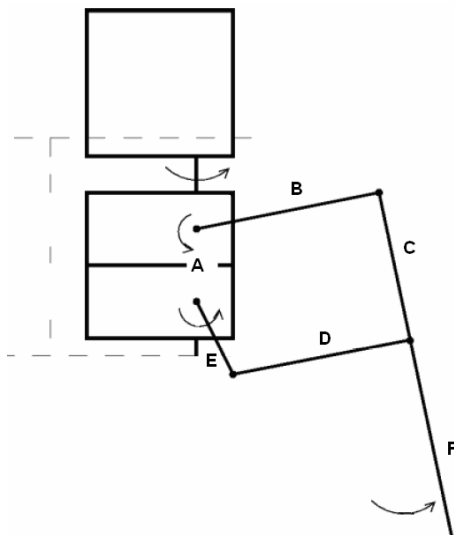


Obr. 3.2 – Realizovaný návrh robotu s elektronikou a bez ní

3.2 NOHA ROBOTU

Nejdůležitější částí celé konstrukce kráčejičího robotu jsou jeho nohy. Závisí na nich všechny ostatní parametry robotu jako jsou nosnost, prostupnost terénem, rychlost a stabilita. Noha je konstruována tak, aby byla co nejlehčí. Proto jsou servomotory umístěny na těle robotu a tak dynamické vlastnosti nohy mohou být zanedbány.

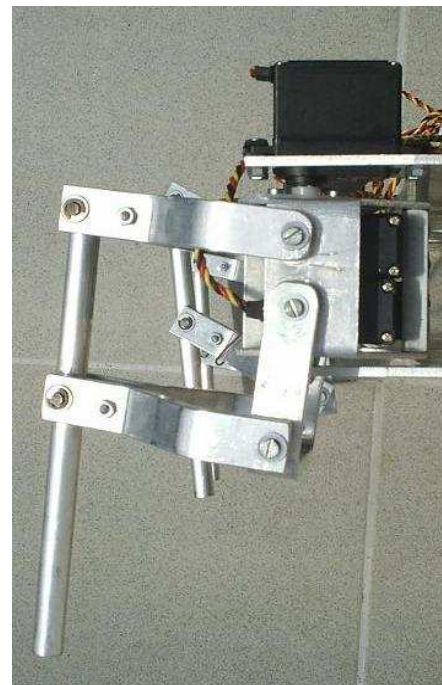
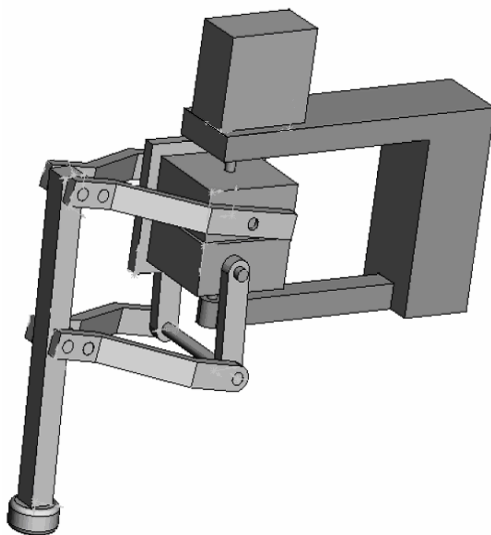
Má-li se robot volně pohybovat po rovině všemi směry s maximální manévrovatelností a stabilitou musí být schopen svými končetinami dosáhnout libovolného místa v rovině. K tomu je zapotřebí pro každou končetinu tři stupně volnosti.



Článek nohy	délka [cm]
A	2
B	7
C	6
D	7
E	4
F	8,5

Obr. 3.3 – Návrh článků nohy [2]

Tabulka 3.1 – Rozměry článků nohy



Obr. 3.4 – Návrh nohy robotu [2] a její praktická realizace

3.3 AKČNÍ ČLENY

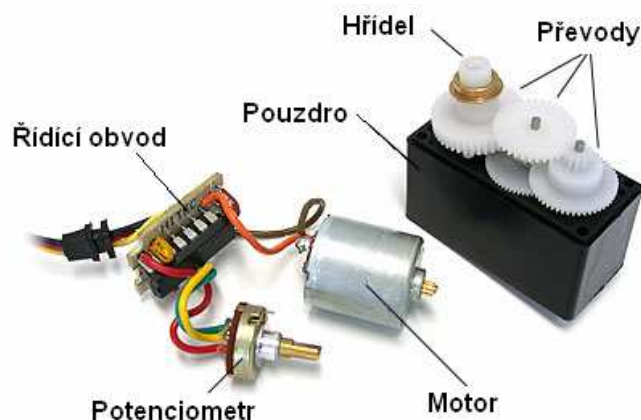
Jako akční členy robotu byly použity servomotory, které jsou umístěny na těle a pohánějí nohy robotu.

3.3.1 Konstrukce servomotoru

Servomotory jsou akční členy, které přeměňují vstupní elektrický digitální signál v mechanickou výchylku, otáčejí výstupním kotoučem nebo pákou. Skládají se z elektrického motoru, nejčastěji stejnosměrného, jsou vybavené integrovanou převodovkou, inkrementálním enkodérem a řídicím obvodem se zpětnou vazbou, který zajišťuje přesnost nastavení žádané polohy viz Obr. 3.5. Poloha servomotoru je určována potenciometrem. U levnějších je potenciometr připojen přímo na výstupní hřídel, u kvalitnějších je připojen přes nepřímý náhon, který jej chrání před přenosem vibrací. Řídicí elektronika je v kompaktním pouzdru se třemi vývody. Připojují se tedy do obvodu tří vodičovým kabelem, v němž dva vodiče slouží pro napájení servomotoru a po třetím se přenáší řídicí signál. Servomotory se primárně nemohou kontinuálně otáčet, jsou určeny pouze pro polohování v rozsahu 180° nebo 120°.

Na čtyřnohém krácejícím robotu jsou použity následující servomotory:

- 4 x HS5645MG od firmy HiTec
- 8 x HS478HB od firmy HiTec



Obr. 3.5 – Konstrukce servomotoru [20]

4. MOŽNOSTI BEZDRÁTOVÉHO ŘÍZENÍ

V současné době je čtyřnohý kráčející robot řízen pomocí joysticku nebo PC, který komunikuje s robotem pomocí kabelu. Toto je vhodné pro testování a ladění algoritmů, ale v závěrečné fázi je kabel zbytečnou přítěží. Proto je vhodné ho nahradit bezdrátovou technologií. Podle typu nosného média můžeme rozlišovat mezi komunikací optickou (světlo), rádiovou a sonickou (zvuk). V zásadě se při bezdrátové komunikaci vždy používá vlnění určité frekvence. Vzdálenost mezi komunikujícími body může být od několika metrů (infračervené světlo) do milionů kilometrů (družice). [5]

Podle typu komunikace tedy můžeme dělit na:

- Optická komunikace (světlo)
 - laserová pojítka
 - infračervené spoje – dálkové ovládání, čidla apod.
 - signální komunikace – světelným paprskem, atd.
- Rádiová komunikace (rádiové vlny)
 - vysílačky, televizní přenos, atd.
- Sonická komunikace (zvuk)
 - ultrazvuk - ponorky
 - verbální komunikace

Nyní je chůze a směr robotu řízena pouze číslem, které odpovídá požadované akci. Veškeré řízení chůze obstarává mikrokontrolér uvnitř robotu. Po zavedení dynamiky do robotu bude řízení obstarávat master zařízení, které vypočítává veškerá data potřebná k chůzi a řízení. Jelikož je zde 12 servomotorů a každý z nich musí dostat data každých 20 ms. Je zapotřebí přenést $12 \cdot 16 \text{ b} \cdot 50 = 9600 \text{ b/s}$ dat. Pokud komunikujeme pomocí sériové linky je nutné k tomu přičíst start a stop bity, paritu, crc kódy, redundanci a případnou ztrátu dat. Proto je nutné, aby zařízení zvládala tok dat minimálně 19 200 b/s a více.

Pro použití na robotu jsou vhodné následující typy:

- IrDA (Infrared Data Association) - infračervené světlo
- VF Moduly
- Bluetooth
- WiFi
- ZigBee

4.1 IRDA

IrDA je zkratkou organizace, která definuje standardy komunikačních protokolů pro přenos dat a na krátkou vzdálenost prostřednictvím infračerveného světla. Komunikace pomocí IrDA vyžaduje mezi komunikujícími přímou viditelnost, má velmi omezený dosah (asi 5 m) a v porovnání s ostatními přenosy nízkou přenosovou rychlost (2,4 kbit/s až 16 Mbit/s). Tento přenos dat splňuje požadavky na rychlost komunikace s robotem. [5]

IrDA zařízení komunikují pomocí infračervených LED diod s vlnovými délkami vyzařovaného světla 875nm.

Ukázka IrDA zařízení :



Vlastnosti:

- rychlost komunikace 9.6- 115.2 kb/s
- dosah až 1.5 m
- napájení 2.7 – 5.25 V
- rozměry 4.0 x 12.2 x 5.1 mm

Obr. 4.1 - Agilent HSDL – 3612 [6]

4.2 BLUETOOTH

Slouží k bezdrátovému propojení mezi dvěma a více elektronickými zařízeními.

Technologie je definována standardem IEE 802.15.1.

Výkonnost je označována následujícím způsobem:

- Class 1. – 100 metrů
- Class 2. – 10 metrů
- Class 3. – 1 metr

Bluetooth pracuje v ISM pásmu 2,4GHz (stejně jako WiFi). K přenosu využívá metody FHSS, kdy během jedné sekundy je provedeno 1600 přeladění mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1 MHz. Tento mechanismus je odolný proti rušení na stejné frekvenci. [5]

Ukázka Bluetooth zařízení :



Vlastnosti:

- vysílací výkon až 18 dBm
- volitelná třída 1/2/3
- dosah 500 m
- technologie v2.0+EDR, CE
- obsluha až 7 slave zařízení
- připojitelné i na USB v2.0

Obr. 4.2 -F2M03GXA [7]

4.3 WI-FI

Je standard pro lokální bezdrátové sítě (Wireless LAN) a vychází ze specifikace IEEE 802.11. Pracuje v pásmu 2,4 GHz. Má nahrazovat klasický kabelový ethernet.

Ukázka Wi-Fi modulu :



Vlastnosti:

- Integrovaný standard 802.11b
- Převodník RS232 na 802.11
- Vestavěný procesor 58.98 MHz
- Vstupy/výstupy 3.3 V
- Rozměry 47 x 72 x 13 mm

Obr. 4.3 - RCM440W RabbitCore [8]

4.4 ZIGBEE

Komunikační technologie ZigBee je standard bezdrátové komunikace, který je zaměřený především na oblasti automatizace a řídicí techniky. Nachází uplatnění zejména v takových oborech, jako jsou řízení budov, dálkové ovládání atd.

Komunikace probíhá v bezlicenčním radiovém pásmu 868 MHz (Evropa) a 2,4 GHz (celosvětově). Přenosové rychlosti jsou 40 kb/s, 250 kb/s a více.

Ukázka ZigBee zařízení :



Vlastnosti:

- rozměry 24 x 13.5 mm
- vysoká citlivost
- nízký odběr, 6 μ A při sleep modu
- interface UART, USART, I2C, SPI, 1-Wire atd.
- 2,4 GHz

Obr. 4.4 - ZDM-A1281-B0 [9]

4.5 VF MODULY

Používají se dva typy modulace. Amplitudová a frekvenční. Amplitudová modulace je méně odolná proti rušení. Typické rychlosti jsou do 2400 b/s. Výhodou je nízká cena. Nejčastěji se používá pro přenos digitálních dat On/Off.

Frekvenční modulace má vyšší spolehlivost přenosu. Odolnější proti rušení. Přenosové rychlosti jsou řádově vyšší než u amplitudové modulace.

Ukázka VF modulu :



Vlastnosti:

- Dosah 120 m na volném prostoru
a 30 m v budově
- napájení 3.3 – 5.5 V, odběr <15 mA
- Přenos dat 64 kbps
- Užitá frekvence 868 – 870 MHz
- Rozměry 33 x 23 mm

Obr. 4.5 -Bim3 [10]

4.6 SHRNU TÍ

Po konzultaci s vedoucím práce bylo dohodnuto, že se tato práce nebude zabývat vlastním návrhem nebo realizací bezdrátové komunikace. Práce je především zaměřena na chůzi a senzorické vybavení robotu.

5. HARDWARE ROBOTU

V této kapitole je popsán elektronický hardware robotu.

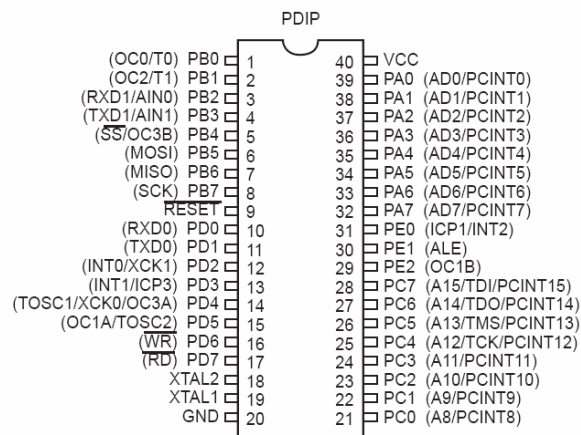
5.1 MIKROKONTROLÉR ATMEGA162 [11]

Jako centrální řídicí prvek byl vybrán mikroprocesor ATMega162. Je to výkonný osmibitový mikroprocesor s architekturou RISC od firmy Atmel. Jeho velká výhoda je v dostupnosti aplikací (překladačů), ve kterých můžeme psát zdrojový kód ve vyšším programovacím jazyku např. C a překladač vše převede do assembleru. Program byl vyvíjen v prostředí CodeVision. Mikrokontrolér byl programován pomocí programu ASIX UP za použití rozhraní ISP. To slouží k programování jednočipů, které jsou již zapojeny k obvodu. Díky tomuto není nutné neustále procesor vydělávat a vkládat do programátoru.

Procesor pracuje s volitelnou frekvencí do 8 MHz (16 Mhz s externím oscilátorem), má velkou paměť a obsahuje 4 × čítač/časovač viz Tabulka 5.1.

Paměť programu	8k bytů
Paměť EEPROM	512 bytů
Paměť SRAM	1024 bytů
Max. frekvence	16MHz
Čítač, Časovač	2 × 8-bit, 2 × 16-bit
Vstupy, výstupy	35 × programovatelných vstupů/výstupů
PWM modulace	Šest kanálů
Komunikace	SPI, 2 × USART
Napájecí napětí	2.7 – 5.5 V
Možnost přepsání dat	1000 zápisových cyklů
Další funkce	Analogový komparátor, Watchdog, 5 režimů provozu, vestavěný RC oscilátor

Tabulka 5.1 – Technické parametry ATMEGA162



Obr. 5.1 – Rozložení pinů ATmega162 [11]

Mikrokontrolér byl použit jako řídicí člen. Jeho úkolem je komunikovat s ovládacím zařízením a podle toho generovat hodnoty a ovládat 12 servomotorů robotu v závislosti na požadovaném směru chůze.

5.2 SERVOMOTOR OD FIRMY HI-TEC

Robot musí obsahovat čtyři nosné servomotory, které budou držet a zvedat celou hmotnost konstrukce. Toto zajišťují motory od firmy HI-TEC HS5645MG. Jedná se o digitální pohony a proto mají větší moment síly než motory analogové. Při výpadku řídicího signálu si pamatují a drží na poslední známe pozici. Na natáčení nohou kolem své osy a do boku bylo použito osm analogových servomotorů HS478HB.

Dle způsobu zpracování signálu se servomotory rozlišují na klasické analogové a digitální. Rozdíl je ve zpracování řídicích impulsů. Digitální zpracování řídicích impulsů je až pětkrát rychlejší, než analogové - odezva servomotoru je proto rychlejší.

5.2.1 Technické parametry servomotorů

Servomotor je napájen a řízen po třech vodičích. Jako připojovací konektor je obvykle použit plochý trojpinový typ s roztečí dutinek 2,54 mm.

Barvy přívodního kabelu: Černá – 0 V
Bílá – řídicí impuls
Rudá – 4.8 ÷ 6V

Základní technické parametry pro servomotor HS5645MG viz Tabulka 5.2.

Řídicí systém	Pulzně šířkové řízení, střed odpovídá 1500 μ s	
Napájecí napětí	4.8 – 6 V	
Při napájecím napětí	4.8 V	6 V
Rychlost natáčení	0.23 s/60°	0.18 s/60°
Moment síly	10.3 kg.cm	12.1 kg.cm
Klidový proud	3 mA	3 mA
Odběr proudu při otáčení	350 mA	450 mA
Rozměry	40.60 x 19.80 x 37.80 mm	
Váha	60 g	
Rozsah teplot pro užívání	-20 až +60 °C	
Další funkce	Digitální, programovatelné, kovové převody, dlouhá životnost potenciometru	

Tabulka 5.2 – Technické parametry servomotoru HS5645MG [12]

Základní technické parametry pro servomotor HS478HB viz Tabulka 5.3.

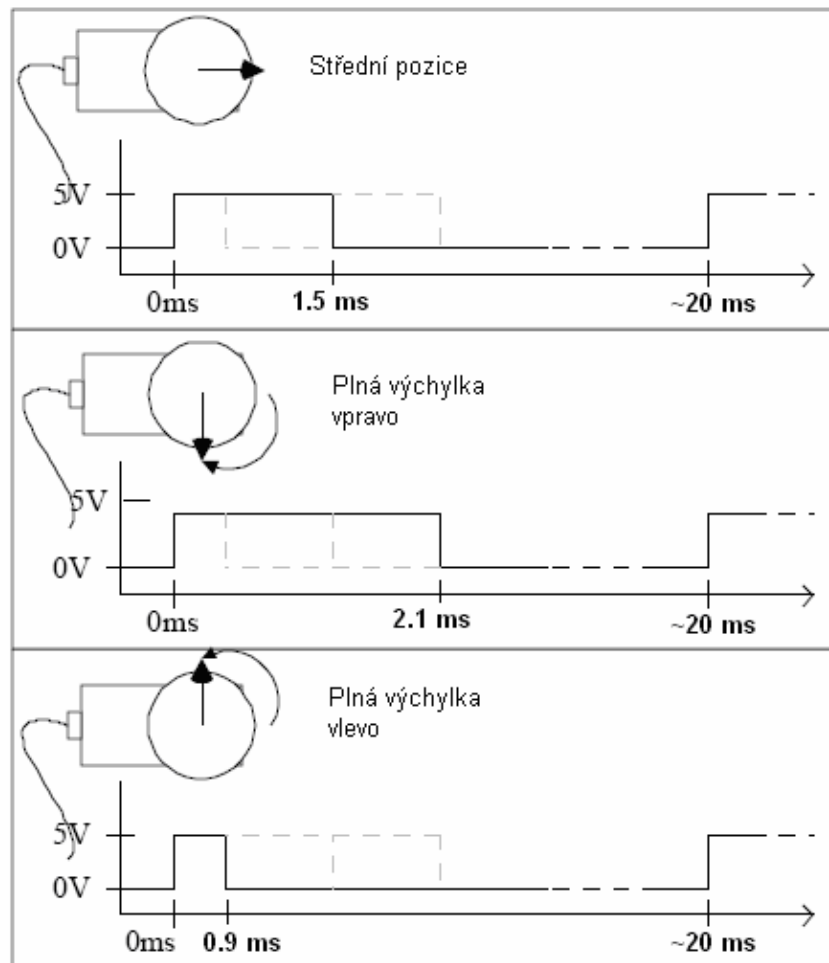
Řídící systém	Pulzně šířkové řízení, střed odpovídá 1500 μ s	
Napájecí napětí	4.8 – 6 V	
Při napájecím napětí	4.8 V	6 V
Rychlost natáčení	0.23 s/60°	0.18 s/60°
Moment síly	4.4 kg.cm	5.5 kg.cm
Rozměry	38.80 x 19.80 x 36.00 mm	
Váha	40 g	
Rozsah teplot pro užívání	-20 až +60 °C	
Další funkce	Analogové, programovatelné, kovové převody, dlouhá životnost potenciometru	

Tabulka 5.3 – Technické parametry servomotoru HS478HB [13]

5.2.2 Ovládání servomotorů

U servomotoru ovládáme signálem natočení hřídele (páky). Řídící signál má podobu obdélníkových pulzů různé šířky o stálé frekvenci 50 Hz, tedy s periodou 20 ms. Šířka impulzu má rozsah 0,9 ÷ 2,1 ms a určuje natočení hřídele motoru. Poloha výstupního hřídele servomotoru odpovídá proporcionálně šířce řídicího impulzu, nulové pozici odpovídá signál o šířce 1,5 ms, maximální kladná výchylka je nastavena signálem šířky 2,1 ms a záporná šířkou 0,9 ms (viz Obr. 5.2). Řídící impulz je pozitivní s amplitudou 5 V. Při výpadku řídicího signálu přestane analogový motor úplně fungovat a digitální se nastaví do nulové polohy nebo drží poslední známou pozici. Šířky řídicích impulzů, které jsou mimo uvedený rozsah, mohou způsobit najíždění servomotoru na mechanický doraz a tím jeho poškození.

Řídící impulz se obvykle opakuje 50 krát za sekundu (perioda 20 ms). Tato hodnota však není kritická, protože na ní závisí především dosažitelný kroutící moment a klidový přídržný moment servomotoru.

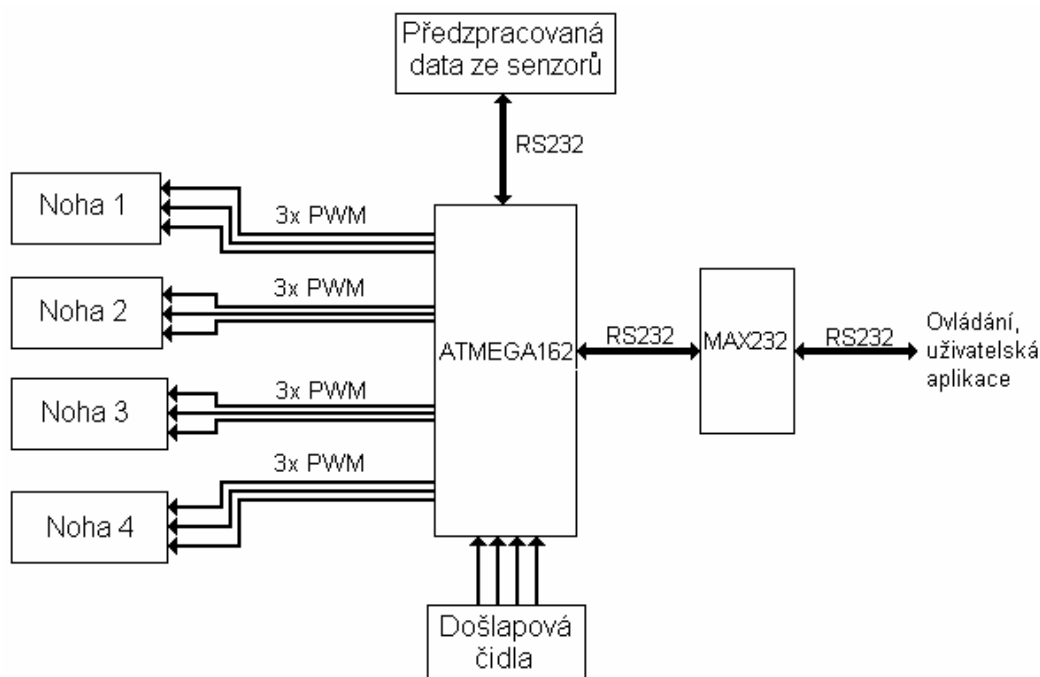


Obr. 5.2 – Natočení hřídele v závislosti na délce impulsu

5.3 HARDWAROVÝ NÁVRH ŘÍDÍCÍ DESKY

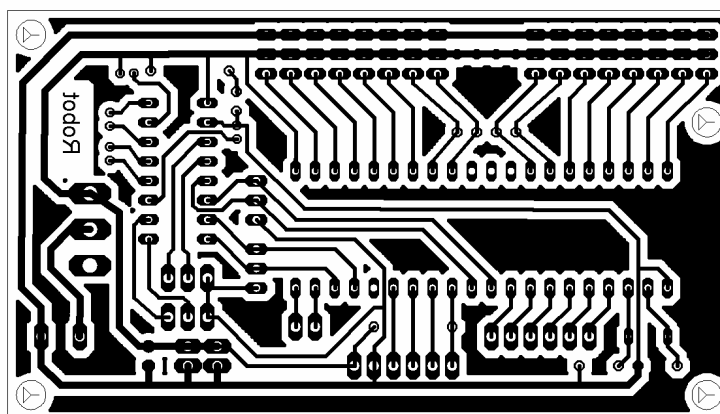
Modul je navržen jako základní řídicí deska celého robotu. Jako hlavní výpočetní jednotka byl použit mikrokontrolér ATMEGA 162. Ten má za úkol generovat chůzi a obsluhovat dvanáct servomotorů řízených šířkou impulsů s periodou 20 ms. Zároveň má za úkol zjišťovat stav čidel došlapu. Pomocí sériové linky RS232 jsou mu pravidelně zasílány informace ze senzorů. K ovládání celého robotu je použita druhá sériová linka. Po této sběrnici také může komunikovat s master zařízením, kterému odesílá stav, ve kterém se nachází a data ze senzorů.

Pro komunikaci s PC je upravena napěťová úroveň pomocí integrovaného obvodu MAX232. Blokové schéma zapojení je na Obr. 5.3.

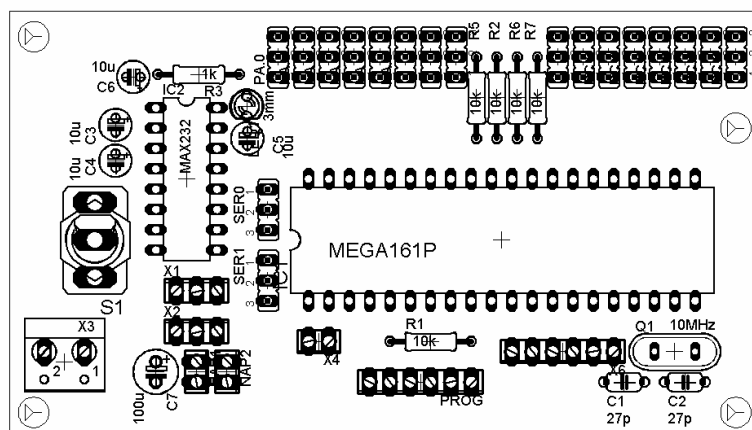


Obr. 5.3 – Blokové schéma zapojení řídicí desky

Schéma zapojení a deska plošných spojů jsou vytvořeny v programu EAGLE 4.11. Deska plošných spojů je jednostranná. Schéma zapojení je uvedeno v PŘÍLOZE 1. Výrobní a osazovací plán je na Obr. 5.4 a Obr. 5.5. Na Obr. 5.6 je zobrazen hotový modul.



Obr. 5.4 – Výrobní plán řídicí desky – rozměr (92 x 52 mm)



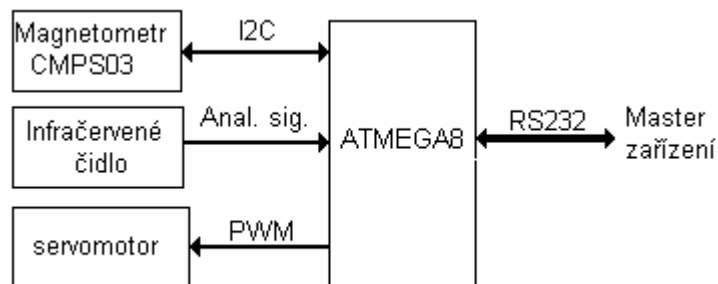
Obr. 5.5 – Osazovací plán řídicí desky – rozměr (92 x 52 mm)



Obr. 5.6 – Realizace řídicí desky

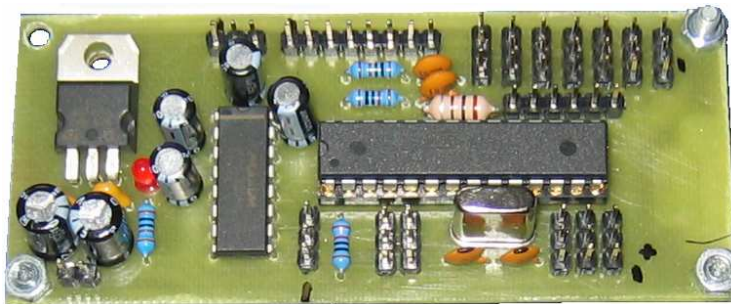
5.4 MODUL PRO SBĚR DAT ZE SENZORŮ

Vzhledem k potřebě reakce robotu na prostředí byl vytvořen tento modul. Jeho hlavní úlohou je natáčení servomotoru a v jednotlivých úsecích zjištění vzdálenosti pomocí infračerveného čidla. Servomotor se řídí pomocí šířky pulzu a výstup z čidla je analogový, který odpovídá vzdálenosti k případné překážce. Dále po sběrnici I2C komunikuje s Magnetometrem CMPS03, ze kterého získává informaci o azimutu. Tyto data pravidelně zasílá dále do řídicího modulu. Blokové schéma zapojení je na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 – Blokové schéma modulu pro sběr dat

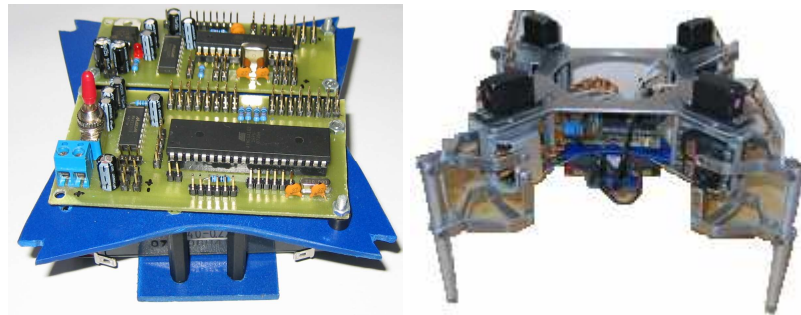
Schéma zapojení, výrobní a osazovací plány desky jsou uvedeny v PŘÍLOZE 3 a 4. Hotový modul je zobrazen na Obr. 5.8.



Obr. 5.8 – Realizovaný modul pro sběr dat

5.5 UMÍSTĚNÍ ELEKTRONIKY A AKUMULÁTORU

K řízení robotu byly vyrobeny dvě desky plošných spojů, které bylo nutné pevně umístit. Mechanická konstrukce je z vodivého kovu a hrozilo nebezpečí vzniku zkratu. Proto byl vytvořen umělý nosič, na kterém jsou upevněny desky. Má tvar čtyřcípé hvězdy a desky jsou k němu přimontovány pomocí 5 mm distančních sloupků Obr. 5.9. Je umístěn ve spodní části robotu. Pod touto deskou je pomocí 35 mm distančních sloupků zavěšeno další patro, ve kterém je umístěna baterie. Akumulátor je tedy zavěšen pod tělem robotu.



Obr. 5.9 - Umístění elektroniky a akumulátoru

5.6 ŘÍZENÍ POMOCÍ JOYSTICKU

Řízení robotu je realizováno pomocí sériové linky. Lze ho ovládat pomocí řídicího počítače nebo joysticku, který má v sobě sériovou komunikaci. Do joysticku viz Obr. 5.10 byla vestavěna pomocí mikrokontroléru ATMEGA8, který zpracovává informace na svých A/D převodnících a řídicí znak posílá po sériové lince robotu.

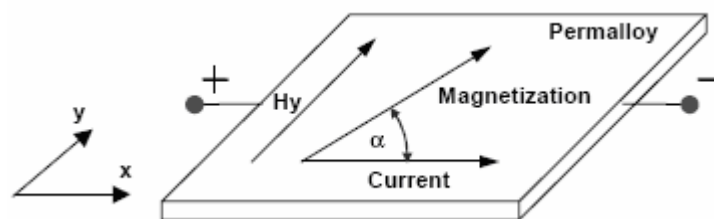


Obr. 5.10 – Ovládací joystick

5.7 MAGNETOMETR

Magnetometr je zařízení schopné měřit magnetické pole. Zde je měřeno magnetické pole Země. Z tohoto údaje je vypočten úhel odklonu od severu, tedy azimut. Siločáry vycházejí z jižního magnetického pólu a vcházejí do severního magnetického pólu. Intenzita magnetického pole se mění v závislosti na místě měření.

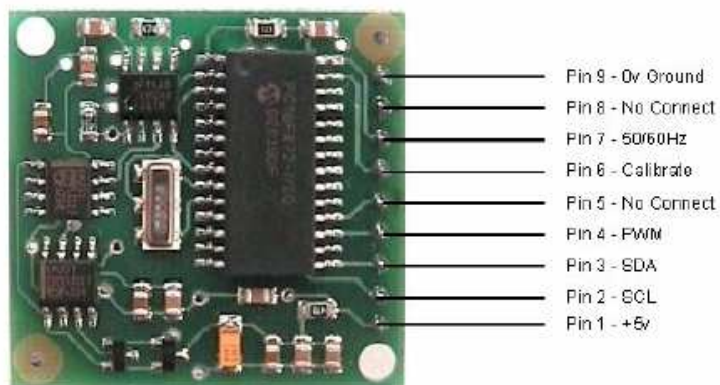
Princip měření je založen na magnetorezistivním jevu Obr. 5.11. Tento jev spočívá ve změně odporu magnetického materiálu při změně působícího magnetického pole. Jako magnetický materiál se nejčastěji používá permalloy. [14]



Obr. 5.11 – Struktura magnetorezistivního snímače [4]

5.7.1 CMPS03 [15]

Pro robot byl vybrán magnetometr CMPS03 viz. Obr. 5.12. Tento modul byl speciálně navržen pro použití v robotech se zaměřením na navigaci. Výhodou je, že odešle přímo azimut v požadované přesnosti. Využívá dvou navzájem kolmých magnetických čidel Philips KMZ51, která jsou dostatečně citlivá k detekci magnetického pole Země. Modul pro sběr dat s magnetometrem komunikuje pomocí sběrnice I2C.



Obr. 5.12 - Magnetometr CMPS03 s popisem vývodů [15]

Modul vyžaduje napájení 5 V a jeho odběr činí 15 mA.

5.8 INFRAČERVENÉ MĚŘENÍ VZDALENOSTI

Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou větší než viditelné světlo, ale menší než mikrovlnné záření. Měřič vzdáleností potřebuje ke své činnosti dvě diody. Jednu vysílací a jednu přijímací. Jedná se o přímočaré měření.

5.8.1 GP2Y0A21YK

Na určování vzdálenosti robotu od překážek byl vybrán infračervený snímač GP2Y0A21YK od firmy Sharp Obr. 5.13. Jde o přímočaré měření a jeho výstup je analogový úměrný vzdálenosti. Projevuje malou závislost na barvě odrazového materiálu.

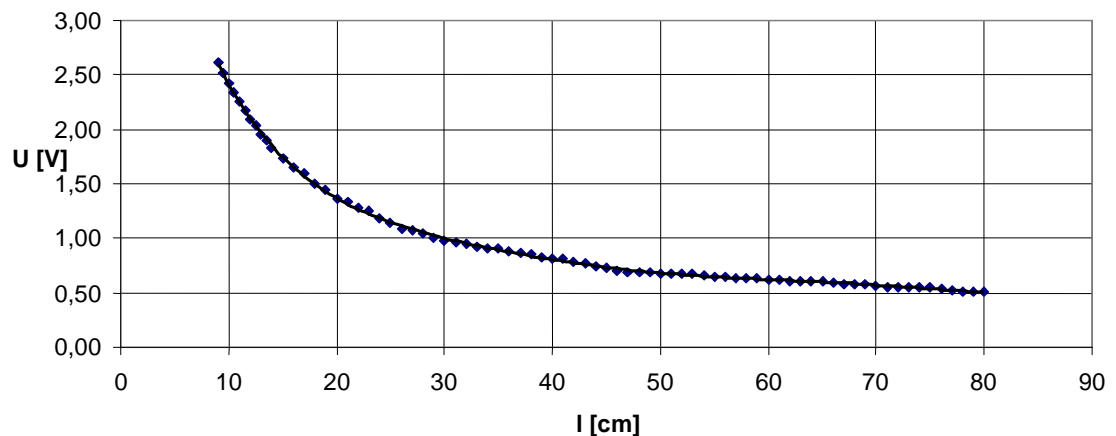


Obr. 5.13 – Infračervený snímač GP2Y0A21YK [19]

Základní vlastnosti [16]:

- Detekovaná vzdálenost 10 až 80 cm
- Napájecí napětí 4.5 – 5.5 V
- Výstupní napětí cca 0.25 – 2.6 V
- Odběr cca 33 mA
- Pracovní teploty -10 až +60 °C

Byla změřena závislost napětí na vzdálenosti a hodnoty vyneseny do grafu Obr. 5.14. Z grafu je patrné, že se napětí na výstupu při menších vzdálenostech mění výrazně, ale při vzdálenosti přes 60 cm se mění velice málo.



Obr. 5.14 - Závislost výstupního napětí na vzdálenosti

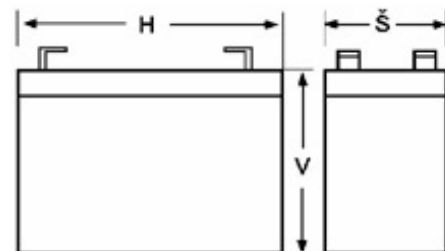
5.9 NAPÁJENÍ

Každé pohybující zařízení – tedy i mobilní robot potřebuje zdroj energie, ze kterého bude napájen jeho řídicí a senzorický subsystém včetně pohybového, kde zpravidla pohybový subsystém má nejvyšší nároky na odběr energie. Mobilní robot můžeme v etapě jeho ožívování napájet z externího stabilizovaného zdroje napětí. Při jeho reálném nasazení pak zpravidla není vhodné, aby byl robot napájen externím zdrojem a s ním spojen vodiči. Zařízení je tedy nutné napájet z vlastní energetické jednotky. Nejrozšířenějšími zdroji elektrické energie jsou v této oblasti buď primární

články nebo akumulátory. Mezi nejdůležitější parametry při volbě vhodného typu článku jsou maximální proudová zatížitelnost, velikost vnitřního odporu, rychlost samovybití, životnost, teplotní podmínky okolí, kapacita a počet nabíjecích cyklů a existenci či neexistenci paměťového efektu v neposlední řadě rozměry a hmotnost. [3] Čtyřnohý krácející robot obsahuje dvanáct servomotorů. Některé z nich mohou odebírat proud až 450 mA. Špičkový odebíraný proud může dosáhnout až 3 A. Původně byl robot napájen z externího stabilizovaného zdroje 5 V/20 A. Velkou roli zde hrály přívodní vodiče, které mají nezanedbatelný odpor a proto na nich vznikal velký úbytek napětí. Toto byla nevýhoda externího zdroje. Proto byl do těla robotu umístěn akumulátor .

Akumulátor je bezúdržbový na bázi olověných suchých baterií, který má vysokou kapacitu, velký zatěžovací proud, je robustní a má vhodné rozměry a váhu.. Viz Tabulka 5.4.

kapacita	1,3 Ah
Napětí	6.75 – 6.90 V (20° C)
Rozměry ŠxHxV	25x97x52 mm



Tabulka 5.4 -Akumulátor B-WP 1.3–6 [21] Obr. 5.15 –Rozměry B-WP 1.3 [21]

Z tabulky je vidět, že napětí akumulátoru by mohlo poškodit řídicí mikrokontrolér i obvody servomotoru. Proto byly připojeny sériově dvě diody (5 A), které sníží napětí o 1,2 V. Toto napětí je již použitelné pro napájení mikrokontroléru i servomotoru.

6. SENZORY

V této kapitole jsou popsána čidla použitá na robotu. Jejich hlavním úkolem je zjišťování překážek kolem robotu a jeho navigace.

6.1 SONAR

Pro snímání překážek v okolí robotu bylo nutné umístit čidlo nad něj a zjišťovat vzdálenost ve více směrech. Z těchto důvodů byla postavena otočná věž s infračerveným čidlem měřícím vzdálenost viz Obr. 6.1.

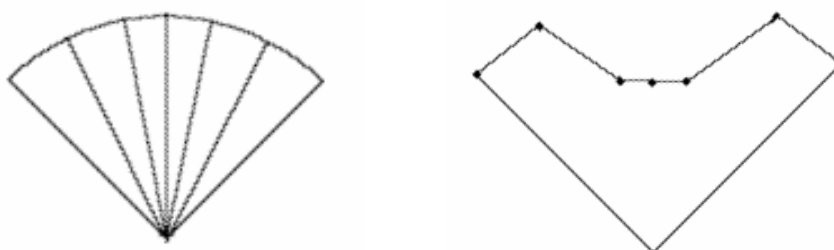


Obr. 6.1 – Otočná věž s infračerveným čidlem

Pro měření vzdáleností bylo použito čidlo GP2Y0A21YK, které je popsáno v 5.8.1. Indikuje překážku do vzdálenosti 80 cm, ale nedokáže rozpoznat předměty blíže než 10 cm. Toto bylo vyřešeno umístěním snímače do středu robotu a tak čidlo má v 10 cm vzdálenosti stále kostru robotu.

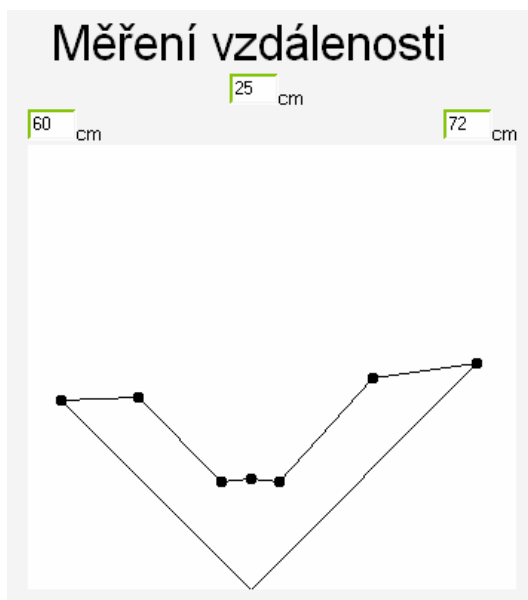
Natáčení věže zajišťuje servomotor, který dovoluje snímat scénu před robotem v zorném poli 90°. Načítá se celkově sedm bodů viz Obr. 6.2

Při každém natočení je změřena vzdálenost. Pro odečtení vzdálenosti je nutné, aby se čidlo minimálně 50 ms nepohybovalo. Proto musí být zajištěna dostatečně dlouhá doba k natočení servomotoru i odečtení z čidla. Naměřené body byly pro lepší orientaci spojeny přímkami viz Obr. 6.2.



Obr. 6.2 – Natáčení servomotoru a spojení bodů z naměřených dat

Na následujícím obrázku Obr. 6.3 jsou vidět zpracovaná data ovládacím panelem pro PC.



Obr. 6.3 – Zpracování dat z infračidla počítačem

Kvůli velkým odběrům proudu servomotory je čidlo na větší vzdálenosti méně přesné. Proto je vhodné k němu umístit LC článek.

6.2 MAGNETOMETR

Modul magnetometru je připojen k desce pro sběr dat. Komunikuje s ní pomocí sběrnice I2C. Modul je nastaven jako slave zařízení. Pokud požadujeme data musí zahájit komunikaci master zařízení (ATMega8) vysláním příkazu 0xC0. Tím se nastaví magnetometr do režimu read. Poté se odešle parametr viz Tabulka 6.1, ve kterém je uloženo co po magnetometru požadujeme. Pro odeslání azimutu s přesností na jedno desetinné číslo má hodnotu 0x02. Následně se příkazem 0xC1 modul přepne do režimu write a odešle požadovaná data. Po přijetí bytů se komunikace ukončuje. Načítání azimutu se provádí cyklicky každých 200 ms.

Registr	Funkce
0	Číslo revize softwaru
1	Přenesení azimutu jako byte, 0-255 reprezentuje 0 – 360°
2,3	Přenesení azimutu jako slovo, 0-3599, reprezentuje 0-359,9°
4,5	Interní test, rozdílový signál pro senzor1, 16 b
6,7	Interní test, rozdílový signál pro senzor2, 16 b
8,9	Interní test, kalibrační hodnota pro senzor 1, 16 b
10,11	Interní test, kalibrační hodnota pro senzor 1, 16 b
15	Kalibrační příkaz

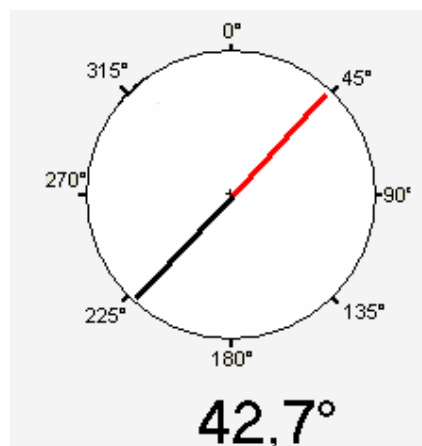
Tabulka 6.1 – Příkazy pro magnetometr CMPS03

Magnetometr je citlivý na kovy a magnetická pole ve svém okolí. Mechanická konstrukce robotu a jeho servomotory snižují přesnost magnetometru. Proto byl umístěn co nejvýše na umělou podložku Obr. 6.4. Pokud se robot nepohybuje je azimut vychýlen o 5° a přesnost je stále velmi dobrá. Při chůzi robotu je rušení intenzivnější i vlivem naklánění. V této fázi azimut kmitá okolo své hodnoty +-10° a tento údaj je brán spíše jen informativně.



Obr. 6.4 – Umístění magnetometru na robotu

Při přenesení úhlu do počítače je azimut pro názornost vykreslen Obr. 6.5.



Obr. 6.5 – Vykreslení azimutu na ovládacím panelu

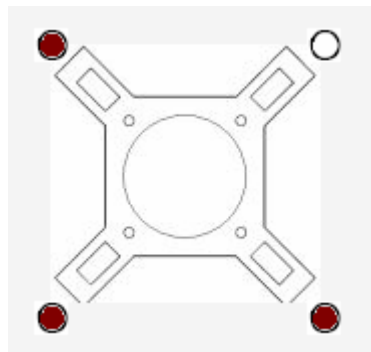
6.3 ČIDLA DOŠLAPU

Mechanická realizace čidel došlapu byla vytvořena zároveň s mechanickou konstrukcí robotu. Čidlo je umístěno v nejnižší části duté nohy Obr. 6.6. Obsahuje mikrospínač, spojovací válec a kontaktní část. Ta má tvar půlkruhu a je z pružného gumového materiálu. Tím je zajištěna dobrá přilnavost i ke klzkým povrchům a robot méně prokluzuje.



Obr. 6.6 – Čidlo došlapu

K pinům mikrokontroléru jsou připojeny pull-up rezistory, které na nich vytváří kladné napětí +5 V. Při doteku nohy s pevným povrchem se sepne mikrospínač, přes který se pin uzemní. Toto se vyhodnotí v mikrokontroléru a výsledek je zaslán řídicímu počítači. Zde se pak signalizuje stav jednotlivých čidel Obr. 6.7.



Obr. 6.7 – Signalizace stavu čidel došlapů

7. POPIS CHŮZE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU

7.1 STABILITA ROBOTU

O statické stabilitě mluvíme tehdy, je-li robot v každém časovém okamžiku ve stabilní pozici. Je-li staticky stabilní pouze v určitých okamžicích svého pohybu jedná se o stabilitu dynamickou. [2]

Robot je staticky stabilní, jestliže horizontální projekce jeho těžiště leží uvnitř polygonu tvořeného podpůrnými končetinami. Těžiště se přesouvá buď nakláněním a vychylováním celého robotu nebo přesouváním hmotné zátěže, nejčastěji akumulátoru. Pokud nechceme přesouvat zátěž pak staticky stabilní robot potřebuje minimálně čtyři nohy, třemi bude udržovat stabilitu a čtvrtou kráčet.

Dynamická stabilita na druhé straně spoléhá na přechodové jevy a setrvačnost pohybu, proto požaduje určitou minimální rychlost. K jejímu udržení je potřeba méně noh a stačí pouze jedna. Tyto nohy mohou mít také méně stupňů volnosti.

Samotná chůze robotu může potom být řešena několika způsoby. Robot má ve své paměti uloženy sekvence kroků a přechodů mezi nimi, ze kterých buď zásahem operátora nebo programem vybírá.

Další možnost je použít centrální generátor kroků. Kde již musíme počítat s kinematikou robotu. Úlohou kinematiky je přesně matematicky popsat pohyb nohy robotu nebo ramene. Podle informací ze senzorů je vytvářen krok, který je vhodný pro konkrétní druh podkladu a náklonu robotu. Realizuje se často pomocí neuronových sítí. Toto řešení je složité a výpočetně náročné.

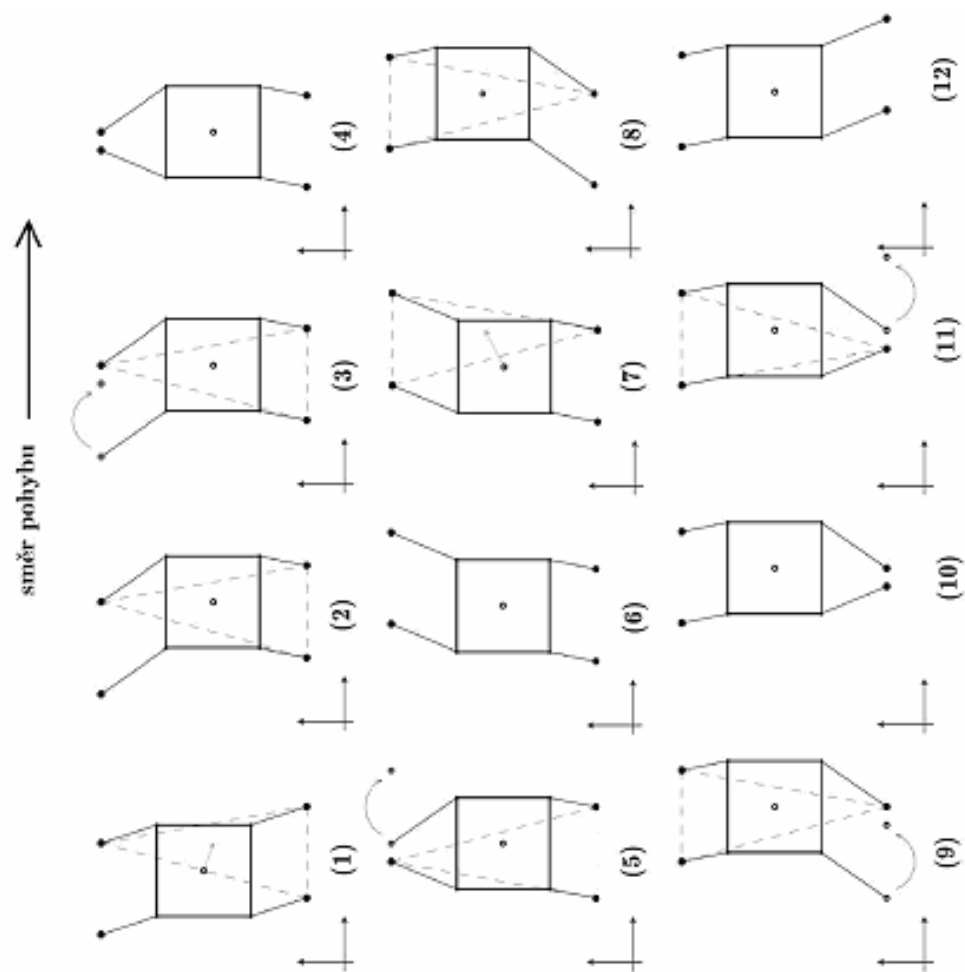
Výhodou předpočítaných kroků je v podstatě nulová výpočetní náročnost. Proto tak byl realizován algoritmus pro chůzi čtyřnohého krácejícího robotu. Toto řešení má ovšem nevýhodu v malé schopnosti reagovat na překážky a je obtížně přizpůsobitelné.

7.2 CHŮZE ČTYŘNOHÉHO ROBOTU

7.2.1 Přímá chůze

Algoritmus má za úkol generovat dílčí kroky přímé chůze po rovině v jakémkoliv směru. Ve fázi záběru se dotýká podložky tak je vhodné, aby trajektorie nohy robotu byla přímková a chodidlo mělo konstantní vzdálenost od těla robotu. Mění-li se pouze poloha otočného servomotoru, pak chodidlo opisuje obloukovou trajektorii. Tím vznikají ztráty třením a zároveň dochází k destrukci terénu. [2]

Na Obr. 7.1 jsou nakresleny dílčí kroky přímé chůze po rovině v jakémkoliv směru.



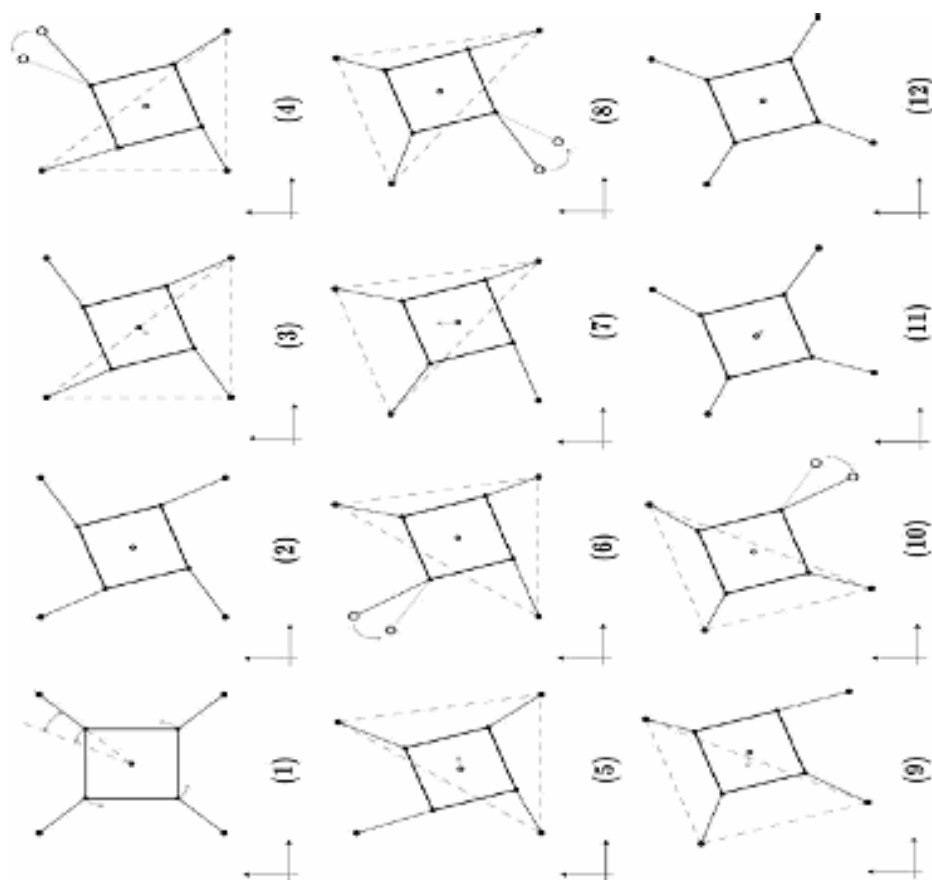
Obr. 7.1 – Jednotlivé fáze chůze robotu [2]

Robot by si vždy měl kontrolovat, zda se těžiště nachází uvnitř trojúhelníku, případně zkontrolovat, zda těžiště má dostatečnou zásobu stability. Pokud se těžiště nachází mimo trojúhelník není robot staticky stabilní.

7.2.2 Otáčení

Pokud má robot nohy umístěny do kruhu je otáčení relativně jednoduché. Na Obr. 7.2 jsou nakresleny dílčí kroky otáčení po rovině. Robot je nejprve nastaven do výchozí polohy. Poté se robot otočí kolem těžiště o zadaný úhel φ . Díky symetrii robotu a předcházejícímu nastavení robotu do výchozí polohy jsou výchylka a natočení pro všechny končetiny shodné. Potom robot vyrovná jednotlivé nohy opět do základní polohy.

Opět je nutné kontrolovat těžiště.



Obr. 7.2 – Jednotlivé fáze otáčení robotu [2]

7.3 CHARAKTERISTIKA CHŮZE

Při chůzi čtyřnohého robotu vidíme, že máme jen velmi malou variabilitu volby kroků. Buď musí mít nohy více stupňů volnosti nebo je nutné přesouvat hmotnou zátěž (nejčastěji baterii). Toto je náročnější i na řízení.

Vzhledem k tomu, že k jednomu kroku kupředu je nutné udělat dvanáct dílčích kroků je chůze velice pomalá. Kvůli konstrukci a mechanickým omezením robotu jsou i dílčí kroky poměrně malé. Na druhou stranu tělo ve tvaru čtverce umožňuje okamžitou změnu směru o 90° . Otáčení robotu probíhá také ve dvanácti krocích. Robot je v každé pozici staticky i dynamicky stabilní.

Z tohoto je zřejmé, že čtyřnohý krácející robot není příliš vhodný pro delší chůzi a autonomní chování. Mnohem vhodnější je šestinohý krácející robot, který dosahuje mnohem vyšších rychlostí. Čtyřnohý robot je spíše zajímavý modelující problém.

7.4 KINEMATIKA ROBOTU

Kinematika je jednou ze tří základních součástí technické mechaniky (statika, kinematika, dynamika). Je to věda o pohybu fyzikálních objektů bez ohledu na působící síly. Základní úlohou kinematiky je zkoumání vzájemného pohybu členů kinematického řetězce, hlavně pak pohybu koncového členu vzhledem k rámu, v závislosti na kloubových proměnných.

Existují dvě úlohy kinematiky [2]. Přímá definuje, jak ze vzájemných poloh kinematických dvojic vypočítat pohyb jednotlivých členů kinematického řetězce a určit tak výslednou polohu koncového bodu. Toto se nazývá sériová kinematika, používá kinematické dvojice, vždy o jednom stupni volnosti (translačních nebo rotačních), které se posouvají či otáčejí nezávisle na sobě a výsledný pohyb je složen z řady pohybů v jednotlivých těchto dvojicích. Počet stupňů volnosti celého kinematického řetězce určuje pohybové schopnosti robotnického ramene, vyšší počet stupňů volnosti umožňuje složitější pohyb.

Inverzní úloha kinematiky určuje vzájemnou polohu jednotlivých kinematických dvojic tak, aby se koncový bod nacházel v požadované pozici. Tato úloha nemusí mít obecné řešení.

Pro obecný matematický popis kinematických vlastností ramene robotu se používá maticový zápis v homogenních souřadnicích. Vztah polohy bodu v základní soustavě 0 (r_0) a v posunuté a natočené soustavě 1 (r_1) lze vyjádřit vztahem (7.1). Transformační matice má tvar (7.2)

$$r_0 = T r_1 \quad (7.1)$$

$$T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & p_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & p_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

Sloupcový vektor p charakterizuje posunutí. Submatice $A(a_{ij})$ je matice charakterizující vzájemné natočení souřadnicového systému. Pro transformační matici T platí (7.3):

$$T = \prod T_k \quad (7.3)$$

Kde T_k jsou elementární transformační matice posunutí nebo natočení.

Posuvný pohyb [1]

Nejjednodušší vzájemný pohyb takových systémů je posuvný pohyb. Při tomto pohybu zůstávají osy pevného a pohybujícího se systému stále rovnoběžné.

Posunutí charakterizuje sloupcový vektor $p = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, 1]^T$. Elementární matice pro posunutí má tvar:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.4)$$

Rotační pohyb

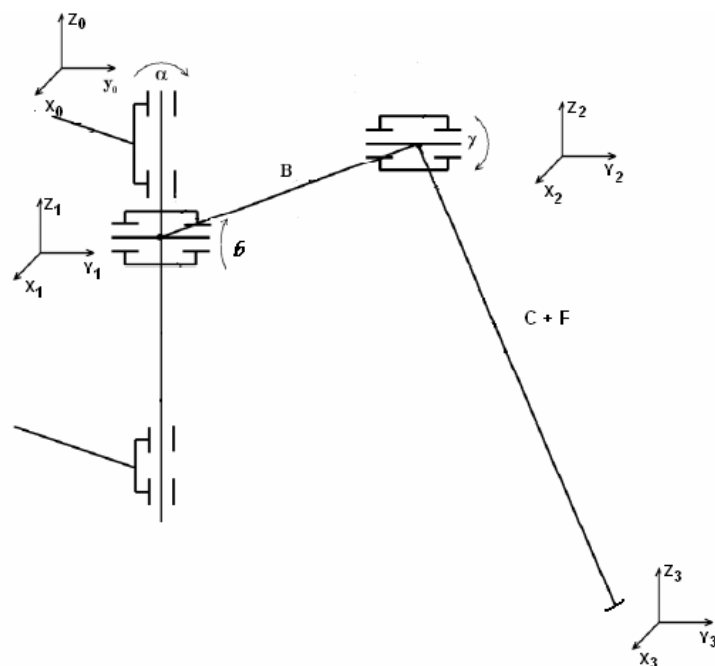
Těleso koná rotační pohyb, jestliže jedna jeho přímka zůstává trvale v klidu. Tato přímka se nazývá osa otáčení. Elementární matice natočení mají tvar:

$$A_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (7.5)$$

$$A_y = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (7.6)$$

$$A_z = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.7)$$

Z výše uvedených vztahů lze určit matematický popis nohy robotu.
Zjednodušená noha s počátky systému je znázorněna na Obr. 7.3.



Obr. 7.3 – Zjednodušená noha robotu [2]

Nyní se z elementárních matic vytvoří výsledná transformační matice. Počátek souřadnicového systému je umístěn v loketním kloubu. Nejprve se vytvoří rotační matice s osou otáčení z a úhlem α . Následně s osou otáčení x o úhel β . Nyní se pomocí translační matice přesuneme k dalšímu kloubu. Posunutí je o velikost B ve směru osy y. Poté se natočíme o úhel γ s osou otáčení x a na konec nohy se posuneme o zápornou velikost C+F ve směru osy z.

$$T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & B \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.8)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ 0 & \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -C - F \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Výsledný vztah mezi rámem a chodidlem robotu má tvar (7.9) kde \mathbf{T} je vypočteno z (7.8). Proměnná \mathbf{r}_0 je souřadnicový systém 0 u lokte robotu a \mathbf{r}_3 jsou souřadnice chodidla robotu.

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{T} \mathbf{r}_3 \quad (7.9)$$

8. POPIS PROGRAMU PRO ATMEGA 162

Hlavní úkol programu je generovat řídicí impulzy pro servomotory v reálném čase tak, aby robot byl schopný chůze. Dále kontroluje čidla došlapu. Pravidelně získává data ze senzorů po sériové lince a zpracovává je. Při požádání nadřazeným systémem musí tato data poskytnout dále. Pomocí sériové linky lze ovládat směr chůze nebo natočení robotu.

8.1 ZÁKLADNÍ ALGORITMUS CHŮZE ROBOTU

Již na počátku jsou předdefinována datová pole, ve kterých jsou uloženy hodnoty, které odpovídají natočení jednotlivých servomotorů. Dále je zde pole *chuze*, ve kterém jsou uloženy hodnoty tak, že pokud je použijeme jako indexy pro pole hodnot u servomotorů dostáváme dílčí krok chůze robotu. Inkrementováním tohoto pole získáme chůzi robotu. Toto pole rozděleno na několik částí, kterým odpovídá směr chůze. Robot tedy může chodit dopředu, dozadu, doleva, doprava, stát, otáčet se po i proti směru hodinových ručiček. Směr je ovládán po sériové lince.

8.2 INICIALIZACE

Tento blok se provede vždy při zapnutí mikroprocesoru jako první. Taktovací frekvence je určena pomocí externího oscilátoru 10 MHz. Byl zvolen záměrně, protože jeden cyklus trvá 0,1 μ s. Jsou povolena všechna přerušení.

Jsou zde načteny pole hodnot pro 12 servomotorů. Každý servomotor má 2 pole. V jednom je uložen horní byte a v druhém spodní byte. Dále je zde nadefinováno pole *chuze* a ostatní proměnné programu.

Aktivují se zde obě asynchronní sériové linky a jsou povoleny pro vysílání i příjem. Rychlost komunikace je nastavena na 9600 baudů, 1 stop bit bez parity.

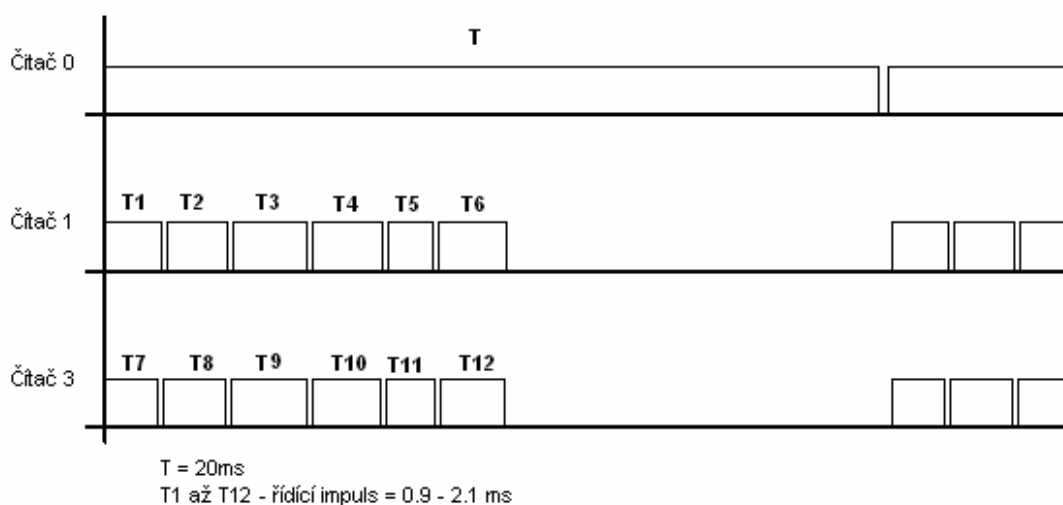
Osmibitovému čítači0 je nastavena předdělička 1024. Je nastaven tak, aby vyvolal přerušení každých dvacet milisekund.

8.3 PŘERUŠENÍ OD ČÍTAČE/ČASOVAČE

Mikroprocesor obsahuje dva osmibitové čítače (čítač 0 a 2) a dva šestnáctibitové čítače (čítač 1 a 3). Servomotory od firmy HI-Tec se ovládají pomocí impulzu o délce 0.9 – 2.1 ms s frekvencí 50 Hz (periodou 20 ms). Délka jednotlivých impulzů je tvořena pomocí 16 b čítačů. Pokud chceme ovládat každý servomotor zvlášť není možné seřadit servomotory sériově za sebou, protože celkový čas pro obsluhu všech je delší než 20 ms. Proto jsou rozděleny do dvou skupin po šesti motorech a obsluhují se paralelně pomocí dvou šestnácti bitových čítačů. Takto mohou čítače obsloužit servomotory i za nejnepříznivějších podmínek.

Čítač 0 vyvolá přerušeni každých 20 ms. Po příchodu tohoto přerušeni se přednastaví a spustí čítač 1. Při spuštění tohoto čítače je zároveň výstupní bit mikroprocesoru (bitA1 na kterém je připojen první servomotor) nastaven na 5 V. Při přetečení čítače 1 je opět přednastaven a spuštěn. Tentokrát se uzemní bitA1 a nastaví bitA2. Délka těchto impulzů odpovídá potřebnému natočení jednotlivých servomotorů a je dána polem hodnot, ve kterém se pohybujeme pomocí dalšího pole *chuze*. Takto se obslouží všech šest akčních členů a jednotlivé řídicí impulzy jsou zasílány na bránu mikroprocesoru. Čítač 3 stejným způsobem obslouží zbylé motory.

Princip viz Obr. 8.1



Obr. 8.1 – Princip řízení servomotorů pomocí čítačů

U každého přerušení od čítače je také na počátku kontrolován směr chůze robotu. Když je dán příkaz stát, přesune se index v poli *chuze* na poslední hodnotu a to odpovídá natočení servomotoru do středních pozic a robot stojí na místě. Pokud je dán příkaz vpřed nebo vzad, pohybuje se index v poli *chuze* od 1 do 17. To odpovídá dílčím krokům chůze přímého pohybu a směr se určuje posunem vlevo nebo vpravo. Pokud je dán příkaz k otočení kolem osy, pohybuje se index v poli *chuze* od 18 do 35. To odpovídá dílčím krokům při úkrocích. Když chceme, aby robot z přímé chůze začal dělat úkroky, prohodí se pomocí pointerů jednotlivé nohy a robot změní směr o 90°.

8.4 PŘERUŠENÍ OD SÉRIOVÉ LINKY

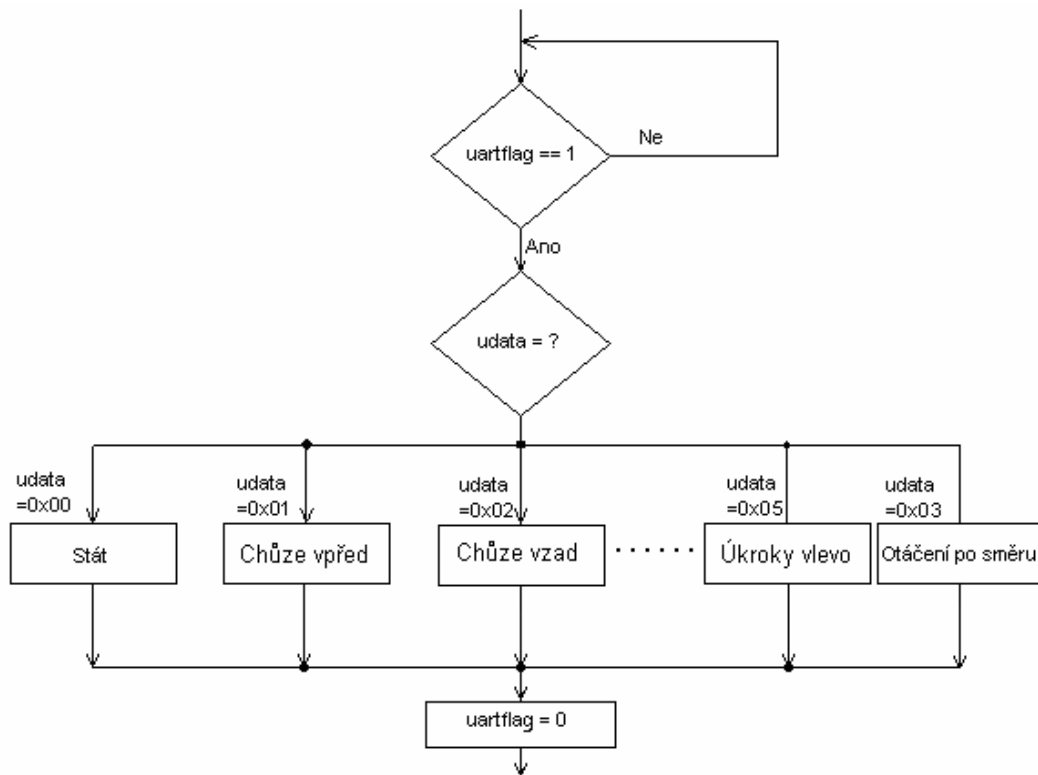
V programu jsou použity 2 sériové linky. Po příjmu bytu je vyvoláno přerušení. Pokud přijdou data na USART0 tak přijatý byte nese hodnotu příkazu, který odpovídá směru chůze. Aby toto přerušení bylo co nejdříve odbaveno, je zde nastaven pouze bit *uartflag*, který se následně testuje v hlavním programu. Přijatý byte je uložen do proměnné *data*.

Když přijdou data na USART1 je zde nastaven bit *uart2flag*. Kvůli možné prodlevě mezi zpracováním příznaku, jsou data ukládána do bufferu pro pozdější použití. Jeho velikost je nastavena na 8 B pro oba směry komunikace. Po této lince přicházejí informace ze senzorů.

8.5 HLAVNÍ PROGRAM

V hlavním programu jsou pouze cyklicky testovány bity *uartflag* a *uart2flag*. Pokud je některý z nich nastaven, je vykonána příslušná reakce.

Při nastaveném bitu *uartflag* se následně rozhoduje pomocí příkazu *switch*. Ten podle parametru příkazu vybere požadovaný směr chůze nebo odešle data ze senzorů. Viz Obr. 8.2 . Ovládací parametry jsou zapsána v Tabulka 8.1.



Obr. 8.2 - Vývojový diagram při rozhodování o směru chůze

Obsah bytu data	Reakce robotu
0x00	Zastavení robotu
0x01	Chůze vpřed
0x02	Chůze vzad
0x03	Otáčení po směru hodinových ruč.
0x04	Otáčení proti směru hodinových ruč
0x05	Chůze vlevo
0x06	Chůze vpravo
0x07	Odeslání z čidel došlapu
0x08	Odeslání azimutu
0x09	Odeslání 7 hodnot z otočného měřiče vzdáleností
0x0B	Test komunikace. Odesláno 0xAA

Tabulka 8.1 - Příkazy pro ovládání chůze

Při nastaveném bitu *uart2flag* se z přijímacího bufferu načte první byte, který je uložen do proměnné *znak*. Tato proměnná je následně testována pokud odpovídá ‘*‘ je poté přijato 7 B, které nám dávají informaci o naměřené vzdálenosti z infračerveného čidla. Když je rovna ‘#’ jsou přijaty pouze 2 B, které odpovídají azimutu.

9. OVLÁDACÍ PANEL PRO PC

Ovládací panel pro PC je naprogramován v prostředí Borland C++ Builder. Jeho úlohou je poskytnout uživateli pohodlné prostředí pro ovládání robotu. Má za úkol řízení robotu, sběr a zobrazení ze senzorů robotu.

9.1 KOMINIKACE PC S MIKROKONTROLÉREM

Pro přenos dat mezi počítačem a ATMega162 je využita asynchronní sériová linka RS232 (TXD, RXD). Na straně počítače je kabel umístěn do konektoru COM1.

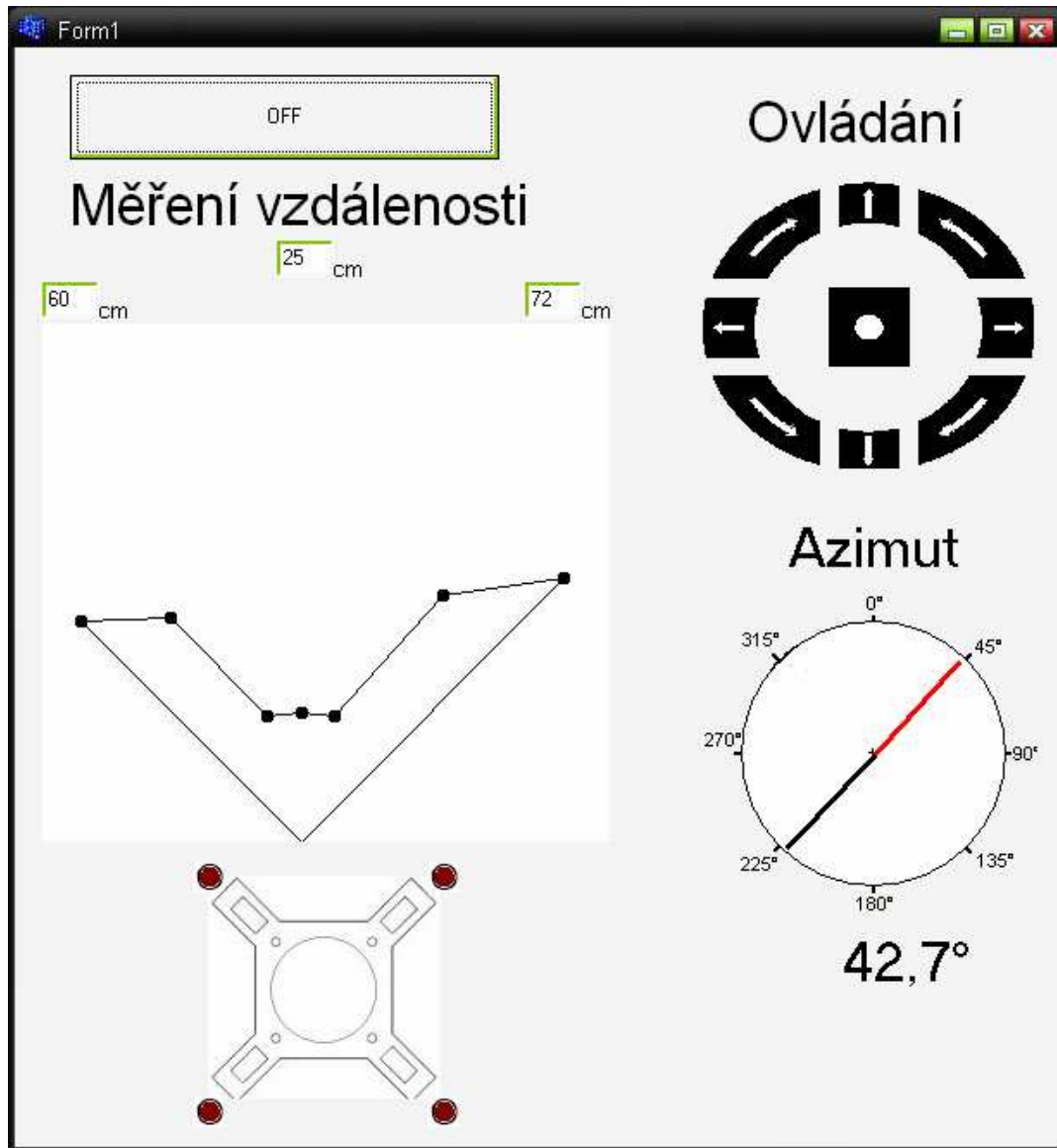
Nastavena je podle následujících parametrů:

Datový rámeček:	8 bitů
Počet stop bitů:	1
Parita:	žádná
Rychlost:	9600 Bd

Z důvodů rychlosti robotu není nutné načítat data ze senzorů častěji než 3 s. Pokud bychom chtěli zobrazovat naměřená data ze sonaru a magnetometru častěji je možné propojit tuto aplikaci s modulem pro sběr dat umístěným v robotu. Informace ze snímačů jsou načítána každých 500 ms a data z magnetometru každých 200 ms. Komunikace opět probíhá pomocí asynchronní sériové linky s stejnými parametry. Kabel je umístěn do COM2.

9.2 OKNO APLIKACE

Na Obr. 9.1 je vidět ovládací panel.



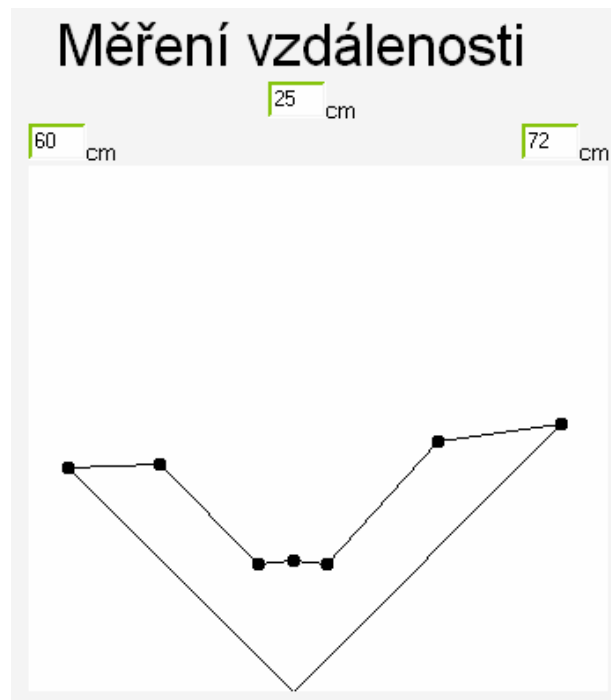
Obr. 9.1 – Ovládací aplikace

V levém horním rohu je tlačítko, kterým se spouští komunikace s robotem. Po jeho stisknutí se aktivují timery a data jsou periodicky načítána. Na tlačítku je nápis ON. Po opětovné použití tlačítka se komunikace ukončí a objeví se nápis OFF.

9.2.1 Sonar

Cyklicky je odeslána žádost mikroprocesoru o data ze snímače vzdálenosti. Mikrokontrolér odešle 8 B. První znak je synchronizační a slouží k rozeznání nesené informace. Ve zbylých datech jsou přenášeny vzdálenosti v různých úhlech od robotu přímo v centimetrech. Textově se zobrazují pouze tři údaje. Naměřená vzdálenost přímo před robotem a na krajích zorného pole. Graficky se zobrazuje všech sedm bodů. Krajní body jsou spojeny se středem robotu. Naměřené body jsou zvýrazněny a pro lepší představu o okolí pospojovány přímkami.

Na Obr. 9.2 je vidět informace předávaná uživateli při zjištění překážky.

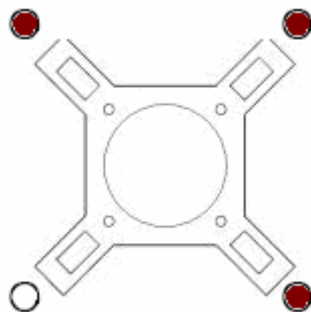


Obr. 9.2 – Mapa prostředí před robotem

9.2.2 Zobrazení stavu čidel došlapu

Na ovládacím panelu vlevo dole je zobrazení aktuálního stavu čidel došlapu. Hodnoty jsou aktualizovány každých 200 ms. Na obrázku je znázorněn robot s jednotlivými končetinami. Pokud se noha nachází ve vzduchu je zobrazeno bílé kolečko, ale jakmile došlápne nebo narazí na překážku změní se na červené.

Na Obr. 9.3 je vidět informace předávaná uživateli o stavu čidel.

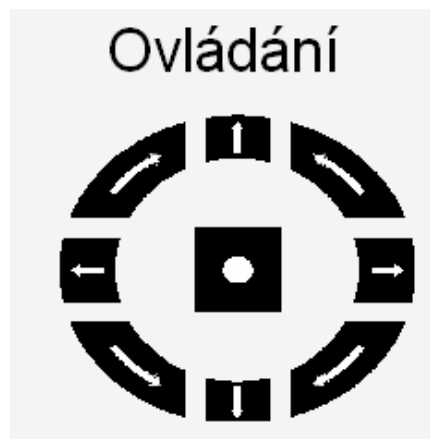


Obr. 9.3 – Zobrazení stavu čidel

9.2.3 Ovládací panel k robotu

Pro jednoduché ovládání směru robotu byl vytvořen tlačítkový panel. Po stisknutí tlačítka se odešle příkaz robotu, který ho informuje o požadované akci. Směry šipek odpovídají směru chůze nebo natočení robotu.

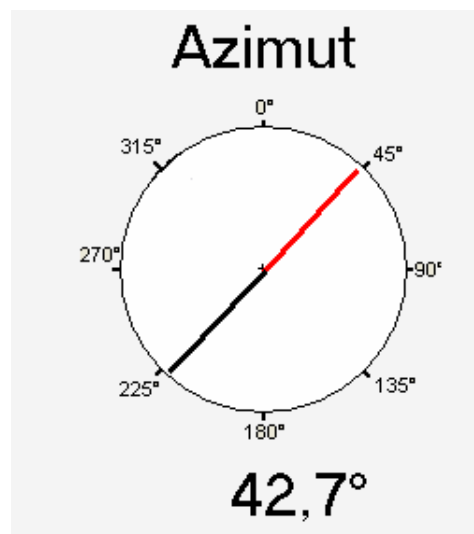
Panel je vidět na Obr. 9.4



Obr. 9.4 – Řízení směru chůze robotu

9.2.4 Zobrazení azimutu

V pravé dolní části obrazovky je zobrazen úhel odklonu robotu od severu, tedy azimut Obr. 9.5. Sever je naznačen jako 0° . Terminál aktualizuje hodnotu každých 200 ms.



Obr. 9.5 – Zobrazení azimutu

10. ZÁVĚR

V této práci byl navržen algoritmus pro chůzi čtyřnohého kráčejího robotu.

Při chůzi je jen velmi malá variabilita kroků. Buď se musí přenášet těžiště, nebo nohy musí mít více stupňů volnosti. Díky konstrukci máme dostačující počet stupňů volnosti. Algoritmus přímé chůze se skládá z dvanácti dílčích kroků, stejně jako otáčení kolem své osy. Vzhledem ke konstrukci a mechanickým omezením robotu jsou dílčí kroky poměrně malé. Proto se robot pohybuje velice pomalu, ale v každé části chůze je staticky i dynamicky stabilní. Díky symetrické konstrukci robotu do čtverce je možné okamžitě změnit směr chůze. Robot dokáže překonávat překážky o výšce 3 cm, což dovoluje překonat například práh místnosti. Z těchto poznatků je zřejmé, že robot není příliš vhodný na delší chůzi a autonomní chování. Mnohem vhodnější se jeví šestinohý kráčejí robot, který dokáže chodit několikanásobně rychleji.

Pro řízení robotu byl navržen modul. Ten má za úkol řízení robotu. Algoritmy byly realizovány pomocí mikrokontroléru ATmega162, který obsahuje dostatečný počet časovačů k řízení dvanácti servomotorů a dvě sériové linky ke komunikaci s okolím. Robot lze ovládat po sériové lince z nadřazeného počítače nebo pomocí joysticku. Samotná chůze robotu je řešena tak, že robot má ve své paměti uloženy sekvence kroků a přechodů mezi nimi, ze kterých se buď zásahem operátora nebo programem vybírá. Výhodou předpočítaných kroků je v podstatě nulová výpočetní náročnost. Toto řešení má ovšem nevýhodu v trhané chůzi, tření o podložku a tím i vyššímu proudovému odběru.

Pro orientaci robotu v okolí a detekci překážek bylo použito několik senzorů. Na nohou jsou umístěna čidla došlapu, která nás informují zda je noha ve vzduchu nebo narazila na překážku. Okolí kolem robotu snímá otočný měřič vzdáleností, který dokáže detekovat překážku do 80 cm. K navigaci slouží magnetometr, který udává azimut. Čidla jsou citlivá na rušivé vlivy ze servomotorů a při chůzi dosahují menších přesností. Ke sběru dat z těchto čidel byl vytvořen modul. Ten odesílá získané informace řídicímu modulu nebo do počítače.

K snadnému ovládní byla v PC vytvořena ovládací aplikace. Slouží k zobrazování dat z čidel a ovládní. Z otočného měřiče vzdáleností je zde vykreslena mapa naměřených bodů. Body jsou pro názornost pospojovány a uživatel díky tomu získá přehled o překážkách před robotem. Indikují se stavy čidel došlapů. Je zde číselně i graficky znázorněn azimut. K ovládní slouží ovládací panel, kterým se ovládá chůze robotu všemi směry.

Špičkový odběr proudu může činit až 3 A. Proto byl jako zdroj zvolen olověný hermetický uzavřený akumulátor s kapacitou 1.3 Ah a napětím 6 V. Tento zdroj má vysoký zatěžovací proud, dostatečnou kapacitu, je robustní, má vhodné rozměry i váhu. Je umístěn ve spodní části těla robotu. Kvůli rušení byla oddělena napájecí část pro servomotory od senzorů.

11. LITERATURA

- [1] Šolc, F, Žalud, L. *Robotika*, Elektronické skriptum FEKT VUT. Brno 2002
- [2] Pouchlý, O. *Čtyřnohý kráčeující robot*, diplomová práce 2005 VUT BRNO
- [3] Novák, P. *Mobilní roboty*, Nakladatelství Ben, 2005, 256 stran, ISBN 80-7300-141-1
- [4] Stork, T. *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52*. Philips Semiconductors [on-line]. Dostupné na: http://www.nxp.com/acrobat_download/applicationnotes/AN00022_C_OMPASS.pdf
- [5] *Bezdrátová komunikace* ,Encyklopedie wikipedia [on-line]. Dostupné na: <http://www.wikipedia.org>
- [6] Datasheet Agilent HSDL-3612 IrDA [on-line]. Dostupné na: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/114087/HP/HSDL-3612-007.html>
- [7] Datasheet F2M03GX [on-line]. Dostupné na: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/184039/ETC/F2M03GLA.html>
- [8] Datasheet RCM4400W [on-line]. Dostupné na: <http://www.microcontroller.com/Embedded.asp?did=108>
- [9] Datasheet ZigBit OEM Modules ZDM-A1281 [on-line]. Dostupné na: http://www.dataspherewireless.co.uk/manufacturers/meshnetics/meshnetics_zigbee_modules_a1281b0.htm
- [10] Datasheet k modulu Bim3 [on-line]. Dostupné na: <http://www.radiometrix.co.uk/products/bim3.htm>
- [11] Datasheet mikrokontroléru ATMEGA162 [on-line]. Dostupné na: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/77303/ATMEL/ATmega162.html>

- [12] Datasheet HS5645MG [on-line]. Dostupné na:
<<http://www.robotshop.ca/PDF/hs5645.pdf>>
- [13] Datasheet HS478HB [on-line]. Dostupné na:
<<http://www.alldatasheet.com/>>
- [14] Skula, D. *Datová fúze pro určování rotace*, Semestrální práce 2008
VUT BRNO
- [15] Datasheet CMPS03 [on-line]. Dostupné na:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/83166/ETC/CMPS03.html>>
- [16] Datasheet GP2Y0A21Y [on-line]. Dostupné na:
<http://www.robotokulu.com/ROBOTOKULU_dosyalar/GP2Y0A21Y_K-DATASHEET.pdf>
- [17] Celeste, B. *Thoughtful robot adapts to injury* [on-line]. Dostupné na:
<<http://technology.newscientist.com>>
- [18] Lowe, Ch. *Drone Doggie Wobbles* [on-line]. Dostupné na:
< <http://www.defensetech.org/archives/002214.html> >
- [19] GP2Y0A21Y [on-line]. Dostupné na:
< http://shop.embedit.de/product_514.php >
- [20] Servomotor Hitec, Server asaseletricas [on-line]. Dostupné na:
<<http://www.asaseletricas.com.br/index.php?name=coppermine&file=displayimage&meta=topn&cat=0&pos=6>>
- [21] Datasheet B-WP 1.3–6 [online]. Dostupné na:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/540/540-022/dsh.540-022.1.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Schéma zapojení řídicího modulu
- Příloha 2 Výrobní a osazovací plán řídicího modulu
- Příloha 3 Schéma zapojení modulu pro sběr dat
- Příloha 4 Výrobní a osazovací plán modulu pro sběr dat

Příloha 1

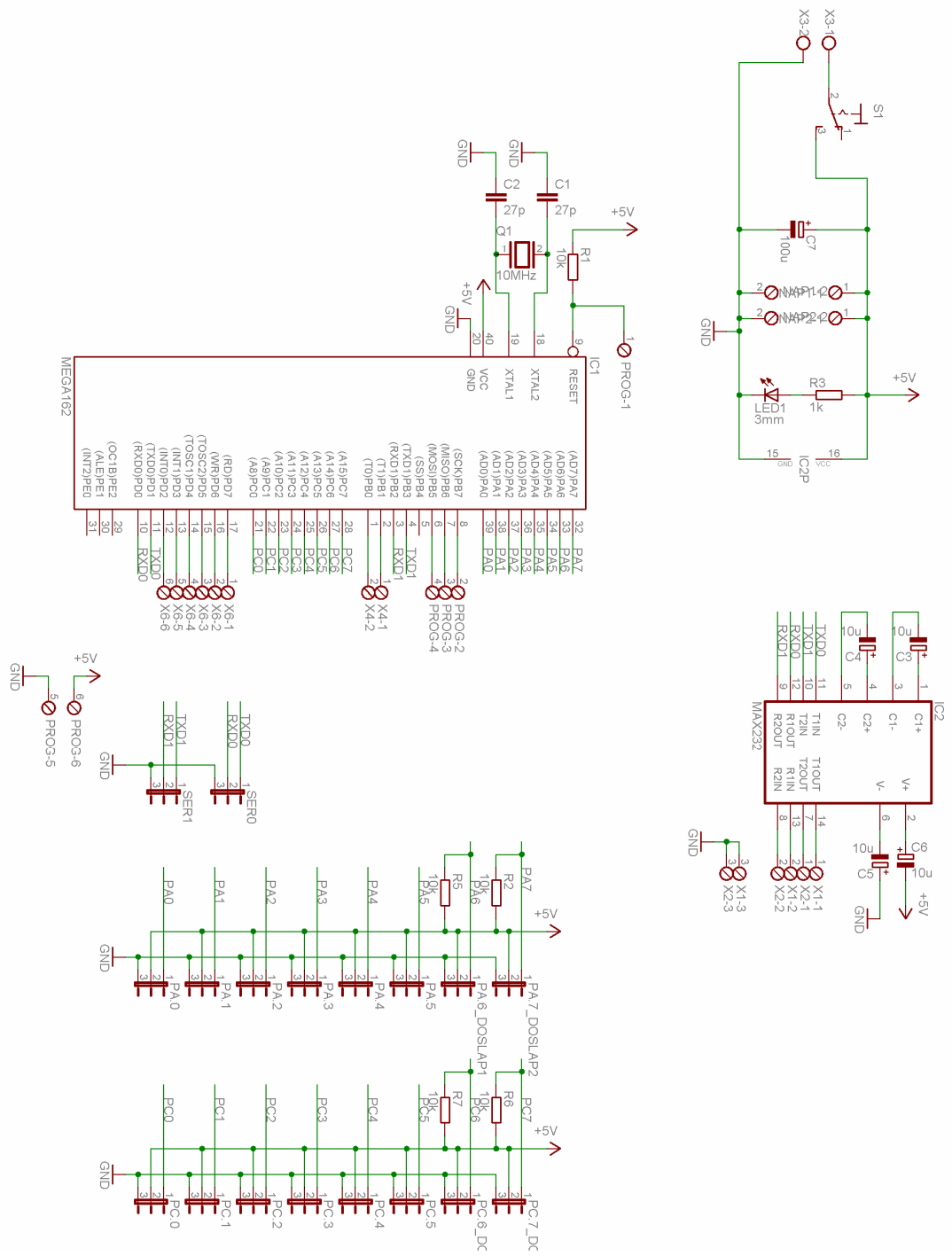
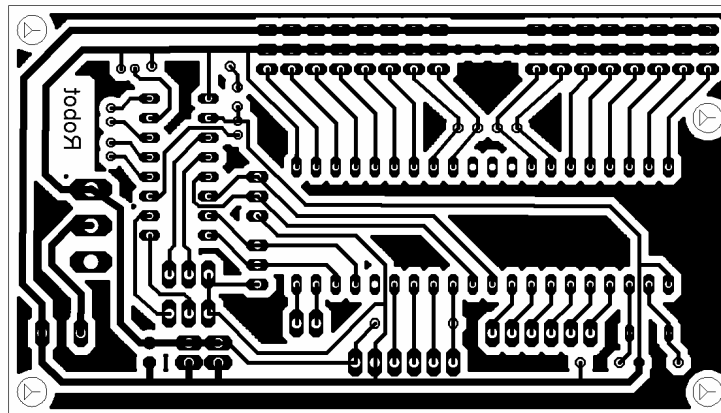
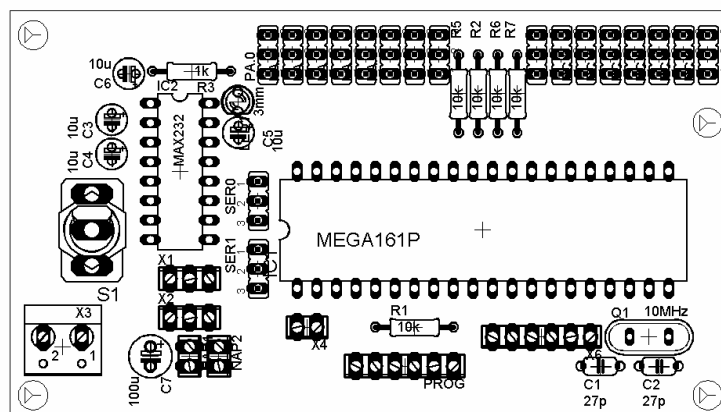


Schéma zapojení řídicího modulu

Příloha 2



Výrobní plán – rozměr (92 x 52 mm)



Osazovací plán – rozměr (92 x 52 mm)

Příloha 3

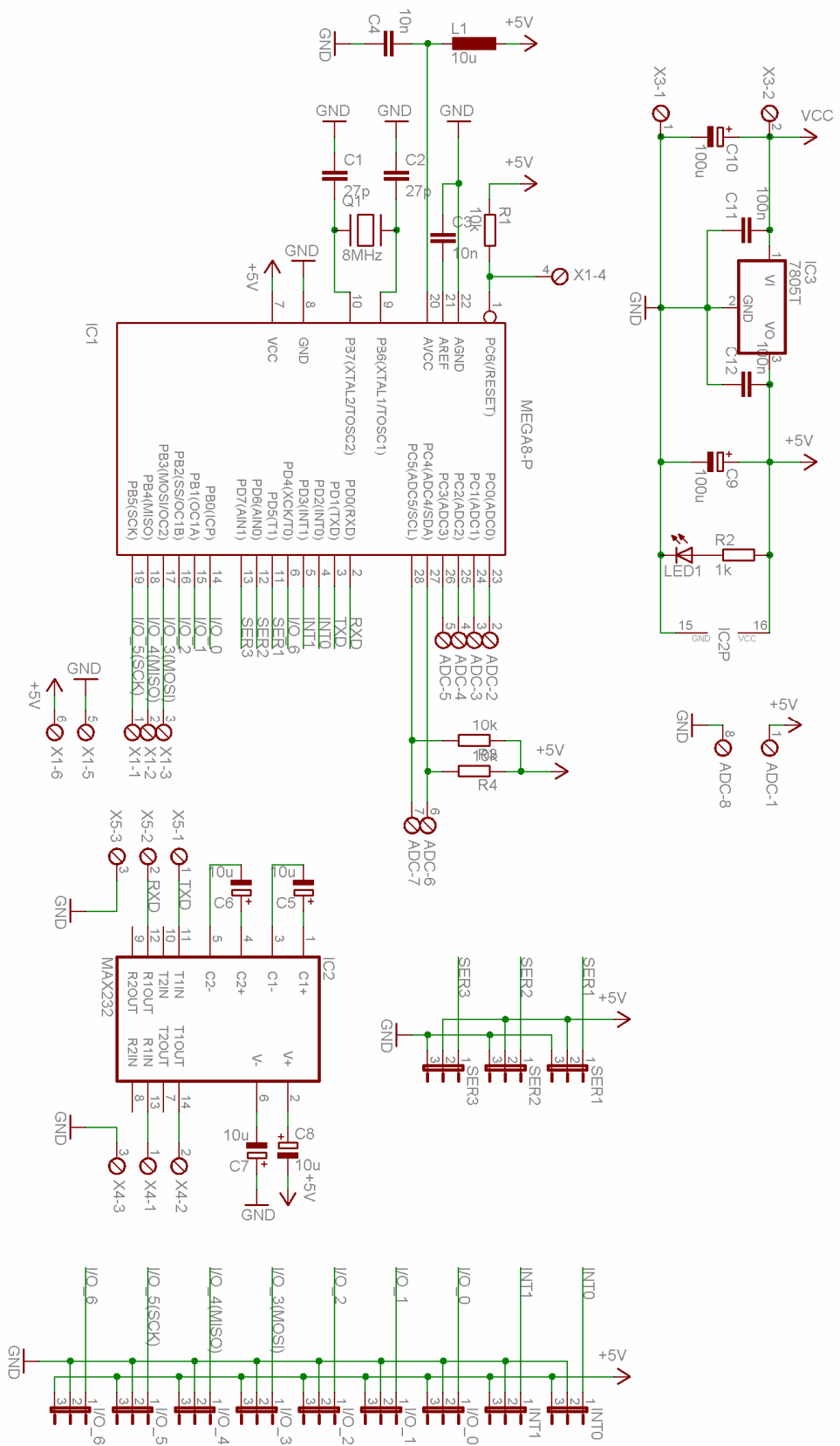
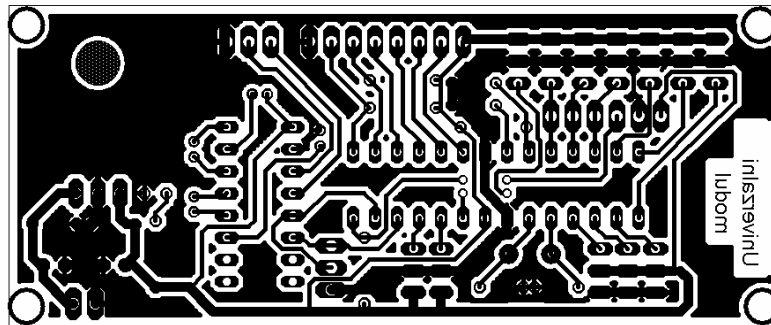
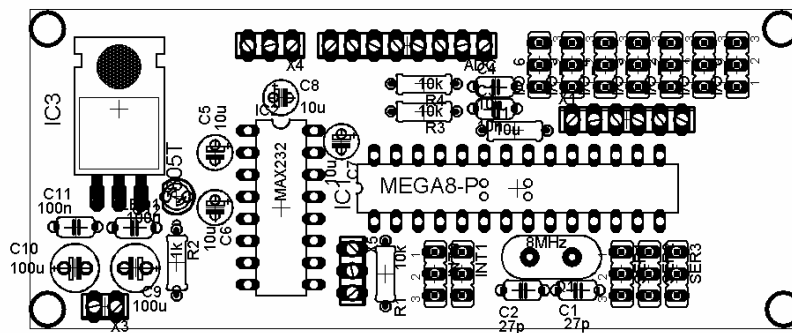


Schéma zapojení modulu pro sběr dat ze senzorů

Příloha 4



Výrobní plán – rozměr (90 x 37 mm)



Osazovací plán – rozměr (90 x 37 mm)