

# Robot sledující čáru

Line tracking robot

Karel Neřád

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel NEŘÁD**  
Osobní číslo: **A08130**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Návrh robota**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši zaměřenou na robotické systémy.
2. V rešerši se zaměřte na konstrukci malých robotů využitelných pro demonstrační a výukové účely.
3. Zrealizujte malého robota se dvěma servomotory a vybavte detektory, které umožní pohyb robota po žádané trajektorii.
4. Napište pro zhotovený výrobek program, který zajistí definovaný pohyb robota.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

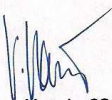
1. MAŇAS, Miroslav. Základy robotiky. 1. vyd. Brno : VUT, 1991. 99 s. ISBN 8021402792.
2. HAVEL, Ivan M. Robotika: úvod do teorie kognitivních robotů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 279 s.
3. KARGER, Adolf; KARGEROVÁ, Marie. Základy robotiky a prostorové kinematiky. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 2000. 265 s. ISBN 80-01-02183-1.
4. Journal of robotic systems. Wiley,J. New York: Wiley,J. Ineuvadenol. 4x ročně. ISSN 0741-2223.
5. ALLDATASHEET [online]. 2011. Electronic Components Datasheet Search Site. [citováno: 27.1.2011] Dostupné z WWW: [http://www.alldatasheet.com].
6. Datasheet catalog for integrated circuits, diodes and other semiconductors [online]. 2011. Datasheet catalog [citováno: 27.1.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.datasheetcatalog.com].

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**  
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

**ABSTRAKT:**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku malých robotů využitelných zejména pro výukové a demonstrační účely. Cílem teoretické části je zhodnotit používané technologie a přiblížit čitateli problematiku malých robotických systémů. Praktická část je zaměřena na ukázkou vývoje malého robotu, který je schopen sledovat čáru a vyhýbat se překážkám. Pohon robotu je realizován servomotory a k snímání čáry i překážek jsou použity IR senzory.

Klíčová slova: Sledování čáry, IR senzory, robotické systémy, servomotory

**ABSTRACT:**

This bachelor thesis is focused on small robots usable for educational and demonstration purposes. The aim of the theoretical part is evaluation of used technologies and explaining the issue of the small robotic systems. The practical part is focused on the demonstration of the development of small robot that is able to follow line and avoid obstacles. Gear of the robot is realized by servo motors and scanning lines and barriers is realized by IR sensors.

Keywords: Following line, IR sensors, robotic systems, servomotors

Děkuji doc. Mgr. Milanu Adámkovi, PhD za odborné vedení při psaní bakalářské práce.

Děkuji svým blízkým za vytvoření ideálních pracovních podmínek a za podporu při studiu.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>10</b>
<b>1 ROBOTIKA</b>	<b>11</b>
1.1 Historie robotiky	11
1.1.1 Průmyslová robotika	11
1.1.2 Experimentální robotika	11
1.1.3 Robotika v literatuře	12
1.2 Dělení robotů	12
<b>2 LOKOMOČNÍ ÚSTROJÍ ROBOTŮ</b>	<b>14</b>
2.1 Kolové podvozky	14
2.1.1 Diferenciálně řízené tříkolové lokomoční ústrojí	15
2.1.2 Matematický model diferenciálně řízeného lokomočního ústrojí:	16
2.2 Pásové podvozky	20
2.3 Kráčeující subsystemy	21
<b>3 POHONY ROBOTŮ</b>	<b>22</b>
3.1 Stejnoseměrné (DC) motory	22
3.2 Bezkomutátorové motory (BLDC)	23
3.3 Krokové motory	23
3.4 Servomotory	24
<b>4 SENZORY</b>	<b>25</b>
4.1 Taktilní senzory	25
4.2 Infračervené senzory	26
4.3 Ultrazvukové senzory	26
4.4 Kamery	27
<b>5 STAVEBNICE A CELÉ ROBOTY</b>	<b>28</b>
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST</b>	<b>31</b>
<b>6 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI</b>	<b>32</b>
<b>7 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ</b>	<b>32</b>
7.1 Základní popis robota	32
7.2 Podvozek a pohon	32

7.3	Servomotory a řízení	33
7.3.1	Úprava servomotoru pro kontinuální pohyb	33
7.3.2	Řízení	35
7.4	Senzory	35
7.5	Mikroprocesor	36
7.5.1	Programování mikroprocesoru 80C2051	37
<b>8</b>	<b>ELEKTRONICKÉ ZAPOJENÍ</b>	<b>39</b>
8.1	Popis hlavní desky	39
8.2	Popis dolní desky	42
8.3	Popis přední desky	44
<b>9</b>	<b>PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ</b>	<b>45</b>
	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
	<b>Závěr anglicky</b>	<b>50</b>
	<b>ZDROJE</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>57</b>
	<b>Příloha 1: Hlavní deska</b>	<b>58</b>
	<b>Příloha 2: Přední deska</b>	<b>59</b>
	<b>Příloha 3: Spodní deska</b>	<b>60</b>
	<b>Příloha 4: Ovládací program</b>	<b>61</b>



## ÚVOD

Život člověka je od počátku pevně svázán s prací. Odepaměti lidé vyvíjí nástroje a stroje, které by jim práci ulehčily. Už v pravěku lidé používali primitivní nástroje, kterými si pomáhali při práci. Postupným vývojem lidstvo vyvinulo velmi složité mechanické stroje, které byly, po objevení elektrické energie, nahrazeny stroji elektrickými. Dnešní technologie využívají automatických strojů, řízených mikroprocesory. Automatických, inteligentně řízených strojů se využívá téměř ve všech odvětvích lidské činnosti. Práce lidí je také nahrazována při výkonu nebezpečných prací nebo prací v extrémních podmínkách. Špičkové technologie umožňují nahrazovat práci lidí s větší přesností, rychlostí a účinností, než jakých je člověk schopen. Stroje, které jsou schopny pracovat v plně autonomním režimu nazýváme roboty. Robot dokáže reagovat na podněty okolí a své okolí ovlivňovat. Často je vybaven možností sledovat změny, které provedl a provádět korekce svých zásahů. Moderní roboty se dokáží „učit“ z předešlých situací.

Roboty jsou využívány také pro reklamní, prezentační a výukové účely. Použití malého robotu k výuce programování mikroprocesorů, může oživit výuku a pozitivně inspirovat žáky. V teoretické části této práce si přiblížíme konstrukci malých robotů. Jelikož se nejedná o malé roboty, které nejsou určeny k provádění práce, jsou jejich konstrukce značně odlišné od průmyslově využívaných robotů. V praktické části práce se zaměříme na vývoj, stavbu a programování robotu, který využívá IR senzorů k detekci překážek a sleduje vyznačenou trajektorii.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ROBOTIKA

Robotika je věda o robotech, jejich designu, výrobě a aplikacích. Robot je stroj pracující s určitou mírou samostatnosti, vykonávající určené úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem a se zadavatelem. Robot je schopen své okolí vnímat pomocí senzorů, zasahovat do něj, případně si o něm vytvářet vlastní představu (model). Vnímáním světa nejenže může poznávat svět samotný, ale může také vyhodnocovat svůj vliv na něj a využívat tak zpětnou vazbu. Robotika úzce souvisí s elektronikou, mechanikou a programováním. Název robotika jako první použil spisovatel Isaac Asimov ve svých povídkách o robotech.

## 1.1 Historie robotiky

### 1.1.1 Průmyslová robotika

První patent týkající se robotiky podal George Devol roku 1954. Jeho společnost Unimation byla první, která vyrobila průmyslového robota. Tento robot byl nasazen do průmyslu v roce 1961. Jejich hlavním účelem bylo přenášení objektů z jednoho místa na druhé a do humanoidního tvaru měli daleko. Unimation měl minimum konkurence až do konce 70. let, kdy do robotiky vstoupilo několik velkých japonských konglomerátů. Japonsko neuznávalo americké patentové právo a japonské patenty Unimation neměl, proto mohli vyrábět podobné roboty. Robotika úzce souvisí s elektronikou, mechanikou a softwarem. Tento název jako první použil spisovatel Isaac Asimov ve svých povídkách o robotech. [1]

### 1.1.2 Experimentální robotika

Za první moderní experiment s robotem lze považovat připojení počítače k jinak ručně ovládanému manipulátoru, které bylo zrealizováno jako doktorská práce H. A. Ernsta v letech 1960 - 1961 na MIT. Vybaven dotykovými a fotooptickými čidly přímo v dlani, byl tento robot schopen vyhledat a zvednout libovolný předmět, předem položený na stůl. V polovině šedesátých let byly zahájeny vědecké experimenty s roboty ve třech k tomuto účelu specializovaných laboratořích v USA (MIT, Stanfordská univerzita, Stanfordský výzkumný ústav), o něco později též ve Velké Británii (Edinburská univerzita) a na několik místech v Japonsku (laboratoře firem Hitachi a Mitsubishi, Elektrotechnická laboratoř v Tokiu, Wasedská univerzita a další). [1]

### 1.1.3 Robotika v literatuře

Slovo "robot" bylo poprvé v dějinách použito v roce 1920 ve hře R.U.R - Rossum's Universal Robots Karla Čapka. Karel Čapek přesto není vynálezcem tohoto slova. Je jím jeho bratr Josef Čapek. Některé internetové stránky uvádějí, že slovo robot Josef použil již ve své povídce Opilec, která vyšla ve sbírce Lelio v roce 1917. Společnost bratří Čapků potvrdila, že to není pravda. V Opilci je použito slovo "automat". [2]

## 1.2 Dělení robotů

Roboty lze dělit podle celé řady hledisek. Zde jsou zmíněny pouze základní dělení.

Podle schopnosti přemísťovat se:

- Mobilní
- Stacionární

Podle míry autonomie:

- Řízený stroj - přímé vedení, bez rozhodovací schopnosti, kromě člověka nepotřebuje interakci s okolím (např. výtah jede pouze při stisknutém tlačítku).
- Ovládaný stroj - vykonává činnost podle zadaného pokynu, logická rozhodovací schopnost, konečný automat (např. výtah zastaví až v požadovaném patře, inteligence s pamětí jednoho bitu, přídržné tlačítko).
- Regulovaný stroj - dosahuje cíle předem určeným způsobem, dosahuje cíle za různých podmínek různými cestami, analogové rozlišení míry intenzity jevu (např. výtah, při náhlé volbě nové cílové stanice těsně před ní, tuto raději přejede a vrátí se, nezastaví hned, takže cestující nepodklesnou v kolenu ani neposkočí s žaludkem v krku).
- Autonomní stroj - dosahuje cíle způsobem, který si zvolí (metodologie volby je však stále předepsána). Sice se stále může držet nejpřímější předpokládané cesty, ale nijak jí nepředpokládá, vždy si jí znovu ověřuje, a v případě překážek i sám hledá cestu k dosažení cíle, bez limitu vzdálenosti od původního přímého směru.
- Inteligentní stroj - sám si volí cíle, člověka nepotřebuje, utopie. Hraniční výsledek oboru umělé inteligence.

Podle účelu:

- průmyslová výroba: manipulátory, dopravníková soustavy, lakovny, svařovny
- průzkumy a manipulace v nebezpečí: Záchranářské práce, vojenský průzkum, pyrotechnika, potrubí, Hubbleův teleskop
- lékařství: operace
- osobní výpomoc: domácí vysavač, robotický administrativní asistent v nemocnicích
- kybersport: robofotbal, minisumo
- doprava: letecký autopilot (robotem je pak celé letadlo), kolejové vozy bez řidiče, vývoj samořízeného automobilu
- na okraj pole působení robotů lze zařadit i značně distribuované systémy: Městské semaforey, systém řízení dopravy např. v pražských tunelech na Smíchově (včetně závor a poloautonomních informačních tabulí)

Podle pohybu (pouze u mobilních robotů):

- diferenciální podvozek – dvě hnaná kola, rovnováha udržována opěrnými body, nebo pasivním kolem (koly)
- synchronní podvozek – často 3 kola, každé se 2 stupni volnosti (může se otáčet i natáčet)
- trojkolový podvozek s řízeným předním kolem – 2 hnaná kola a jedno motoricky natáčené
- Ackermanův podvozek – 4 kola, 2 hnaná a 2 natáčená kola (každé mírně jinak, protože každé při zatáčení opisuje jinou dráhu); tyto podvozky mají běžné automobily
- trojúhelníkový podvozek s třemi nezávisle poháněnými koly, jejichž osy procházejí těžištěm a jejichž povrch (složený obvykle z malých koleček) umožňuje volný skluz ve směru osy
- podvozky se všesměrovými koly
- pásové podvozky
- krácející podvozky

Podle prostředí:

- Suchozemské
- Vodní

- Vzdušné
- Vesmírné
- Hybridní

Z kinematického hlediska se robot skládá ze dvou mechanických soustav, pevné a hybné. Pevná soustava se nazývá báze a je pevně spojena s prostorem, v němž se pohyb odehrává. Hybná soustava je pevně spojena s nástrojem případně členem, pomocí kterého robot vykonává výsledný pohyb (end-effector). [26]

## 2 LOKOMOČNÍ ÚSTROJÍ ROBOTŮ

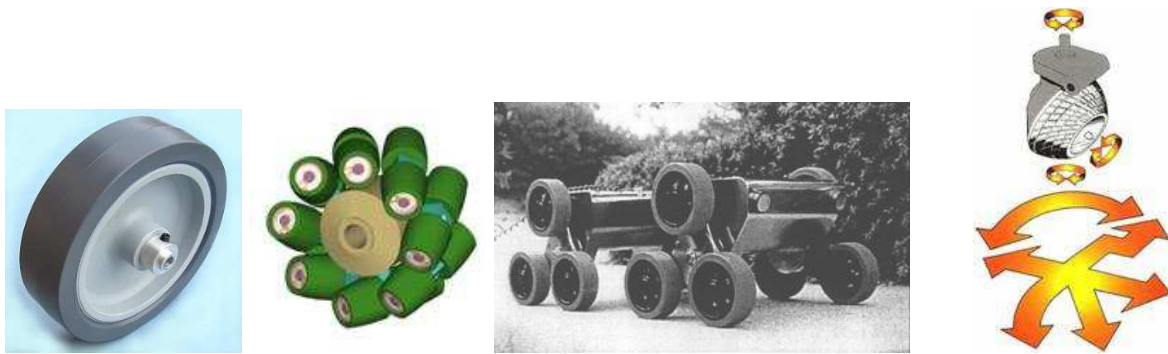
Vzhledem k tomu, že pro značnou rozsáhlost nelze uvést všechny doposud ve světě realizované konstrukce robotů jsou v této kapitole uvedeny pouze příklady charakterizující jednotlivá koncepční řešení.

### 2.1 Kolové podvozky

Jedná se o nejpoužívanější typ podvozků u suchozemských robotů. Rozlišují se podle počtu kol, konstrukce kol a podle způsobu jejich vedení. Kola jsou buď hnaná nebo hnací, a mívají jeden nebo dva více stupňů volnosti. Kola s jedním stupněm volnosti se otáčejí jenom kolem středové osy. Kola s více stupni volnosti se otáčejí ve více osách aniž by došlo ke smyku kola. Jsou to tzv. všesměrová kola. Počet kol může být libovolný, i když jedno kolové nejsou běžné.

Dělení podle konstrukce kol:

- mobilní subsystémy se standardním typem kola
- mobilní subsystémy se všesměrovými koly
- mobilní subsystémy s Weinsteinovými koly
- mobilní subsystémy typu MaxWheel®
- článkové pojezdy



Obrázek 1: Standardní kolo[22], všesměrové kolo [23], Weinsteinovo kolo [24], MaxWheel [25]

Dělení podle počtu kol:

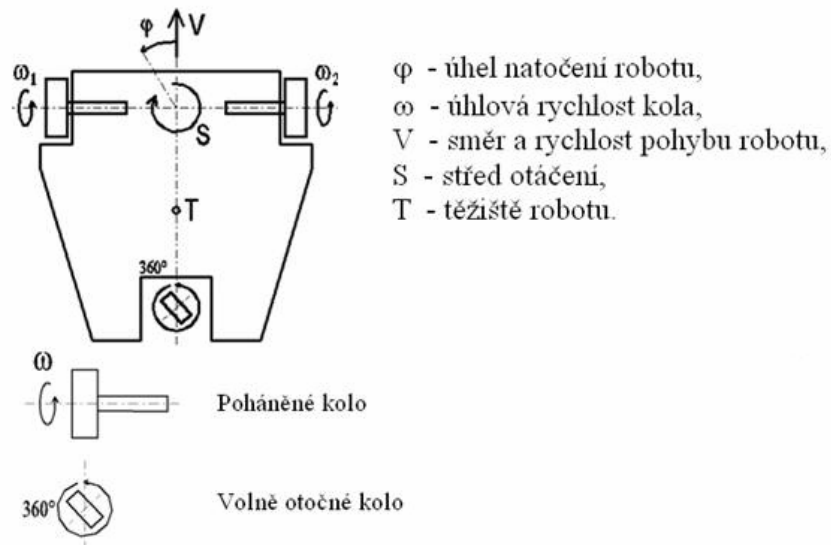
- jednokolové
- dvoukolové
- tříkolové
- čtyřkolové
- šestikolové
- speciální

Dělení podle způsobu vedení kol:

- staticky nestabilní (jednokolové a dvoukolové)
- diferenčně řízené roboty
- roboty s více stupni volnosti
- synchronně řízené roboty
- roboty řízené Ackermanovým způsobem

### 2.1.1 Diferenciálně řízené tříkolové lokomoční ústrojí

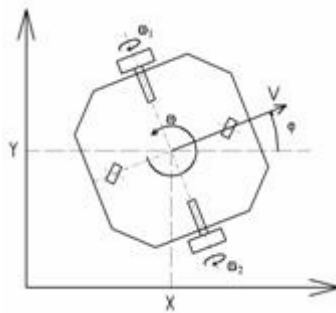
Mobilní roboty s tímto lokomočním ústrojím mají nezávisle poháněná dvě kola a vzadu (popř. vpředu) volně otočné nepoháněné směrové kolo nebo kluzák. Kluzáku lze použít pouze při nízké hmotnosti robota a ve velmi nenáročném terénu. Diferenčně řízené lokomoční ústrojí má kola směrově neřiditelná. Řízení pohybu lokomočního ústrojí a tedy i celého robota je realizováno rozdílnými rychlostmi otáčení každého kola, případně opačným směrem jejich otáčení. Toto řešení umožňuje otáčení robota na místě kolem svislé osy procházející v polovině rozchodu obou poháněných kol, což je výhodou zejména při jeho manévrování v těsných prostorech, nebo v rozích místnosti.



Obrázek 2: Diferenciálně řízený tříkolový robot [3]

### 2.1.2 Matematický model diferenciálně řízeného lokomočního ústrojí:

Tento matematický model byl vytvořen na katedře robotiky na Báňské univerzitě v Ostravě.



Obrázek 3: Matematický model diferenciálně řízeného lokomočního ústrojí [3]

Podle zavedeného označení na obrázku vlevo lze psát:

$$\dot{x} = v \cdot \cos \varphi$$

$$\dot{y} = v \cdot \sin \varphi$$

$$\dot{\varphi} = \omega$$

(1)

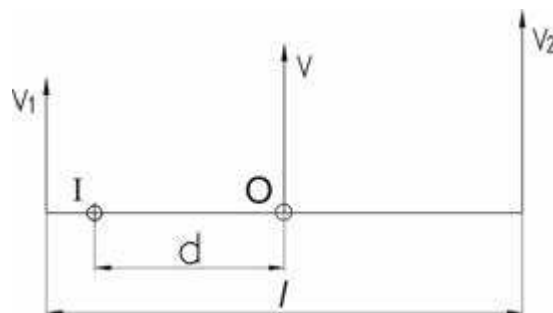
kde  $x$ ,  $y$  a  $\varphi$  - jsou polohy a orientace lokomočního ústrojí

$v$  a  $\omega$  - je obvodová a úhlová rychlost otáčení celého lokomočního ústrojí.



V případě rovinného pohybu segmentu o délce „ $l$ “ (rozteč hnacích kol) a středu „ $O$ “ (viz obrázek 4), lze napsat:

$$\begin{aligned} V_1 &= -\left(\frac{l}{2} - d\right) \cdot \omega \\ V_2 &= \left(\frac{l}{2} - d\right) \cdot \omega \end{aligned} \quad (2)$$



Obrázek 4: Střed otáčení [3]

V obrázku je bod  $I$  považován za okamžitý střed otáčení, přičemž  $d$  je vzdálenost mezi bodem  $I$  a středem  $O$ . Vyjádřením úhlové rychlosti  $\omega$  ze soustavy rovnic (2) dostaneme:

$$\omega = \frac{V_2 - V_1}{l} \quad (3)$$

Vyjádřením vzdálenosti  $d$  dostaneme:

$$d = \frac{V_1 + V_2}{V_2 - V_1} \cdot \frac{l}{2} \quad (4)$$

Lineární rychlost v středu  $O$  je:

$$V = \omega \cdot d \quad (5)$$

Ze vztahů (3) a (4) vyplývá:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (6)$$

Obvodové rychlosti  $V_1$  a  $V_2$  jsou dány úhlovými rychlostmi hnacích kol  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  a jejich poloměry  $R_1$ ,  $R_2$ :

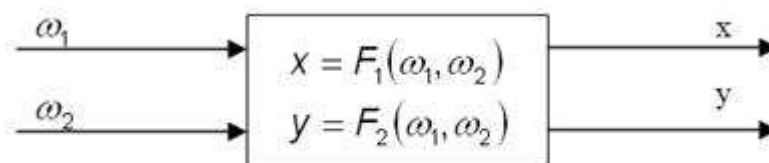
$$\begin{aligned} V_1 &= R_1 \cdot \omega_1 \\ V_2 &= R_2 \cdot \omega_2 \end{aligned} \quad (7)$$

V tomto případě lze psát  $R_1=R_2=R$ .

Ze vztahů (1), (3), (6) a (7) vyplývá soustava rovnic:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\omega_1 \cdot R_1 + \omega_2 \cdot R_2}{2} \cdot \cos \varphi \\ \bar{y} &= \frac{\omega_1 \cdot R_1 + \omega_2 \cdot R_2}{2} \cdot \sin \varphi \\ \bar{\varphi} &= \frac{\omega_2 \cdot R_2 - \omega_1 \cdot R_1}{l} \end{aligned} \quad (8)$$

Integrovaním soustavy rovnic (8) lze definovat polohu lokomočního ústrojí vzhledem k počátku souřadnicového systému  $(x_0, y_0, \varphi_0)$ . Tento model lze schématicky znázornit schématem uvedeným na obrázku, kde  $x$  a  $y$  jsou funkcí úhlových rychlostí  $\omega_1$  a  $\omega_2$ .

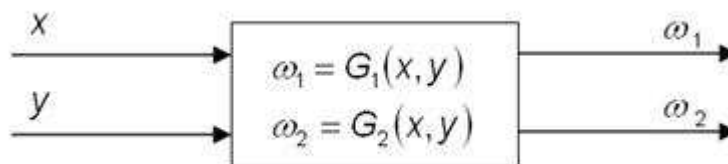


Obrázek 5: Závislost  $x, y$  na  $\omega_1, \omega_2$  [3]

Inverzní funkce k funkcím  $F_1, F_2$  jsou funkce  $G_1, G_2$ , které se vyjádří opět ze soustavy rovnic (8) pro úhlové rychlosti  $\omega_1$  a  $\omega_2$ :

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{R_1} \cdot \left( \frac{\bar{x}}{\cos \varphi} - \frac{l \cdot \bar{\varphi}}{2} \right) \\ \omega_2 &= \frac{1}{R_2} \cdot \left( \frac{\bar{y}}{\sin \varphi} - \frac{l \cdot \bar{\varphi}}{2} \right) \\ \bar{\varphi} &= \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \end{aligned} \quad (9)$$

Tento model lze schématicky znázornit schématem uvedeným na obrázku, kde  $\omega_1$  a  $\omega_2$  jsou funkcí polohy  $x$  a  $y$ .



Obrázek 6: Závislost  $\omega_1, \omega_2$  na  $x, y$  [3]

Řízením úhlových rychlostí obou hnacích kol  $\omega_1$  a  $\omega_2$ , lze stanovit trajektorii pohybu lokomočního ústrojí (robotu) po určené dráze dané časovými funkcemi  $x$  a  $y$ .

S ohledem na diferenční řízení navržené varianty bude pro zatáčení na nulovém poloměru (otáčení okolo středu společné osy hnacích kol lokomočního ústrojí) platit  $\omega_1 = -\omega_2$ . Pro přímý směr pohybu bude platit  $\omega_1 = \omega_2$ .

V případě, že jsou na motorech umístěny inkrementální snímače může lokomoční ústrojí snadno spočítat svou polohu připočítáním relativních souřadnic ke známé počáteční poloze. V časovém intervalu  $i$  lze z pravého a levého snímače získat počty pulsů  $N_L$  a  $N_R$ , pak:

$$c_m = \frac{\pi D_n}{n C_e} \quad (10)$$

kde  $c_m$  - je konstanta převádějící počty pulsů na ujetou vzdálenost,

$D_n$  - je průměr kola,

$C_e$  - je rozlišení snímače (celkový počet pulsů na jednu otáčku),

$n$  - je převodový poměr převodovky mezi motorem, senzorem a poháněným kolem

Podle vztahu (10) se určí přírůstek dráhy levého a pravého kola  $dU_{Li}$  a  $dU_{Ri}$ :

$$dU_{L/Ri} = c_m \cdot N_{L/Ri} \quad (11)$$

a potom pro přírůstek středu mezi levým a pravým kolem platí:

$$dU_i = \frac{(dU_R + dU_L)}{2} \quad (12)$$

Úhlový přírůstek se stanoví ze vztahu:

$$d\Phi_i = \frac{(dU_R + dU_L)}{b} \quad (13)$$

Kde  $b$  - je rozchod kol, tj. ideálně měřená vzdálenost mezi dvěma dotyky kol a terénu.

Novou relativní orientaci  $\Phi_i$  pak lze vyjádřit vztahem:

$$\Phi_i = \Phi_{i-1} + d\Phi_i \quad (14)$$

a relativní souřadnice polohy těžiště lokomočního ústrojí jsou vyjádřeny jako:

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + dU_i \cdot \cos \Phi_i \\ y_i &= y_{i-1} + dU_i \cdot \sin \Phi_i \end{aligned} \quad (15)$$

kde  $x_i, y_i$  - jsou relativní souřadnice těžiště lokomočního ústrojí pro časový interval  $i$

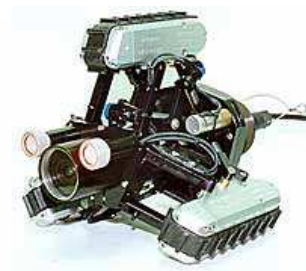
[3]

## 2.2 Pásové podvozky

Roboty na pásovém podvozku mají široké spektrum uplatnění a to převážně v nestrojírenských oblastech. Využití nacházejí jak ve vnitřním tak venkovním prostředí pro jednoduché i náročné servisní úlohy. Pásové podvozky jsou řízeny smykem (diferenciálně). Uplatňují se zejména v náročných terénních podmínkách. Existují různá konstrukční řešení, které jsou vždy specializována na daný problém.

Pásové roboty jsou vhodné pro monitorování vnitřních a vnějších prostor. Podvozek bývá nejčastěji konstruován pomocí dvou hlavních pásů a často pomocí pomocných pásů. Pomocné pásy zajišťují stabilitu i v extrémních podmínkách a umožňují robotu pohyb po schodech či velkých terénních nerovnostech. Pásové podvozky jsou velmi stabilní a umožňují nést větší zátěž (tyto vlastnosti samozřejmě záleží na rozvoru pásů, jejich šířce a délce, počtu hnacích a opěrných kol), ale při plně autonomním pohybu jsou často nepřesné. Dobrá stabilita umožňuje použití poměrně dlouhých manipulátorů (často až 3m). Roboty lze tedy využít k manipulaci s výbušninami a jejich zneškodnění, k likvidaci a průzkumu trosek, atd.

Speciální konstrukce pásových podvozků lze využít ke kontrole potrubí, vzduchových šachet, k likvidaci zamořených oblastí či předmětů. Pro likvidaci kontaminovaných oblastí a předmětů musí podvozek splňovat podmínky odolnosti a možnosti rychlé dekontaminace. Pro kontrolu, čištění a údržbu potrubí bývá robot vybaven třemi pásy rozmístěnými po jeho obvodu a vzájemně otočenými o 120°.



Obrázek 7: Robot s manipulačním ramenem, s pomocnými pásy, pro revizi potrubí [3],[4],[5]

## 2.3 Kráčející subsystemy

Kráčející podvozky dělíme podle počtu nohou a to od jednonohých (skákajících) až po „stonožky“. Neexistuje žádné omezení, co se počtu nohou týče, nicméně čím více má robot nohou, tím je složitější jej řídit. Více než osm nohou se používá jen zřídka. Obvyklé jsou konstrukce, které mají sudý počet nohou. Nejčastěji se jedná o napodobení pohybu lidí nebo zvířat.

Tento typ podvozků má z pohledu prostupnosti terénem největší účinnost. Dokáží překonat i poměrně vysoké překážky, příkopy, dokáží ovlivnit výšku těla robotu nad terénem. Kladou však největší požadavky na řídicí i energetický systém, jsou HW i SW složité.

Jednonohé roboty se využívají obvykle jen v laboratorních podmínkách pro zkoumání dynamického chování. Získané poznatky se poté využívají pro vícenohé roboty.

Jednonohé a dvounohé roboty obvykle napodobují lidské pohyby. Nejčastěji se jedná pouze o nohu a část „těla“. Tyto roboty jsou staticky nestabilní a používají se především k laboratorním výzkumům dynamického chování. Získané poznatky se poté využívají pro vícenohé roboty a složitější aplikace. Výjimkou jsou roboti připomínajícím vzhledem člověka. Jedním z nich je robot Asimo, který je označován za jednoho z nejdokonalejších člověku podobných robotů současnosti. Jedná se o špičku ve vývoji současné robotiky.



Obrázek 8: Dvounoží roboti (ASIMO Honda) [6]

U kráčejících robotů je často napodobován pohyb zvířat a od toho se odvíjí vzhled jednotlivých končetin i celých robotů. Využívá se velkého množství konstrukcí a pohonů.

### 3 POHONY ROBOTŮ

Mezi nejčastější pohony robotů lze zařadit stejnosměrné (DC) motory, bezkomutátorové motory (BLDC), krokové motory, servomotory a v poslední době i umělé svaly. Každý z těchto pohonů má výhody i nevýhody a proto se jim budeme věnovat samostatně.

Motorem myslíme točivý stroj, který mění elektrickou energii v energii mechanickou.

#### 3.1 Stejnosměrné (DC) motory

Stejnosměrný motor má stator po obvodu opatřen pravidelně prostřídánými a navzájem magneticky opačně orientovanými vyniklými hlavními póly (cívky jejich vinutí budí magnetické pole motoru) a vyniklými pomocnými, komutačními póly (napomáhají komutaci rotorového vinutí). Za hlavním pólem dané polaritě následuje ve směru otáčení kotvy vždy pomocný pól téže polaritě. Rotor, nazývaný též kotva, nese v drážkách rozložené vinutí s cívkami, vyvedenými k mechanickému komutátoru. Komutátor zajišťuje přivádění správně orientovaného proudu do cívek vinutí rotující kotvy tak, aby všechny proudem protékané cívkové strany vytvářely v magnetickém poli hlavních pólů točivý moment souhlasného smyslu. Ke komutátoru přiléhají grafitické nebo elektrografitické kartáče. Kartáče se umísťují do magneticky neutrálního místa (teoreticky do středu) mezi po sobě následujícími hlavními póly a je jich, stejně jako pólů, vždy sudý počet. Pro zlepšení komutace se někdy poněkud natáčejí proti směru točení kotvy. Složení, umístění (nastavení), zabroušení a zaběhání kartáčů významně ovlivňují průběh komutace.

Proud, protékající vinutím kotvy, vytváří reakční magnetické pole, které zeslabuje a deformuje magnetické pole hlavních pólů a ovlivňuje i magnetické pole komutačních pólů. K potlačení reakčního pole slouží kompenzační vinutí, zakládané do drážek pólových nastavců hlavních pólů. [7]

Výhodou stejnosměrných motorů je zejména poměrně nízká cena a dobrý poměr cena/výkon. Pro řízení stejnosměrného motoru je obvykle nutné využít dodatečnou elektroniku. Většina DC motorů má příliš vysoké otáčky a malý kroutící moment, proto je nutné použít převodovku. Některé DC motory určené pro robotiku mají převodovky integrované.

### 3.2 *Bezkomutátorové motory (BLDC)*

První pokusy o konstrukci bezkomutátorových stejnosměrných motorů (někdy se používá názvu bezkartáčový) se objevily kolem roku 1929. Jejich praktické použití však přišlo až s nástupem polovodičových spínacích prvků. Na rozdíl od motoru komutátorového, je kotva vždy na statoru a budící magnetické pole (obvykle permanentní magnet) je na rotoru. Princip spočívá v postupném připojování jedné nebo více cívek kotvy stroje ke stejnosměrnému zdroji elektrické energie pomocí elektronických prvků (tranzistorů, tyristorů) v závislosti na poloze hřídele, tak aby stroj vytvářel moment v žádaném směru a otáčel se požadovanou rychlostí. Z hlediska principu činnosti toto uspořádání odpovídá spíše synchronnímu, respektive krokovému motoru. [8],[9]

Bezkomutátorové motory dosahují velkých výkonů při malé hmotnosti. Jejich nevýhodou je však vyšší cena, složité řízení a potřeba převodovky k úpravě rychlosti otáček.

### 3.3 *Krokové motory*

Krokový motor je speciální druh vícepólového synchronního motoru. Využívá se především tam, kde je potřebné řídit nejen otáčky, ale také konkrétní polohu rotoru. Používají se v přesné mechanice, regulační technice, robotice apod. Základní princip krokového motoru je, že proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Motor je schopný v této poloze stát (pokud kroutící moment vyvolaný magnetickým polem je větší než kroutící moment působící na hřídel motoru). Vhodnou kombinací zapojení cívek vznikne rotující krokové magnetické pole, které nejenže otáčí rotorem, ale zabezpečuje i jeho polohu vůči statoru. Kvůli přechodovým jevům je rychlost otáčení motoru limitovaná. Při jeho překročení motor začne ztrácet kroky. Podle způsobu řízení krokových motorů rozeznáváme unipolární a bipolární motory. Při unipolárním řízení prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Výhodou je malý odběr, nevýhodou malý kroutící moment. Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami s navzájem opačně orientovanými magnetickými poli. Výhodou je větší kroutící moment, větší stabilita kroku, nevýhodou vyšší spotřeba. Další výhodou je, že není potřeba použít převodovku. [10]

Krokový motor je točivý stroj využívající elektromagnetické indukce. Krokový motor je speciální druh vícepólového synchronního motoru. Využívá se především tam, kde je

potřebné řídit nejen otáčky, ale také konkrétní polohu rotoru. Používají se v přesné mechanice, regulační technice, robotice apod. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Motor je schopný v této poloze stát a to, pokud kroutící moment vyvolaný magnetickým polem je větší než kroutící moment působící na hřídel motoru). Vhodnou kombinací zapojení cívek vznikne rotující krokové magnetické pole, které nejenže otáčí rotorem, ale zabezpečuje i jeho polohu vůči statoru. Krok je definován jako odezva na jeden řídicí impuls. Kvůli přechodovým jevům je rychlost otáčení motoru limitovaná.

Otáčky krokového motoru jsou určeny vztahem

$$n = \frac{60 f \alpha}{360} \quad (16)$$

Kde  $f$  frekvence kroku,  $\alpha$  úhel kroku [10]

Rozlišujeme bipolární a unipolární krokové motory. Obvykle je můžeme rozeznat pomocí počtu vývodů (bipolární má čtyři vývody a unipolární šest). Pro každý typ se používá jiné buzení. Pro buzení unipolárního krokového motoru stačí jedna polarita napětí a jeho jednotlivá vinutí se spínají např. tranzistory k zemi. Pro buzení motoru bipolárního je zapotřebí polaritu napětí na jeho vinutích měnit, k tomu se používá tzv. H-můstek.

### 3.4 Servomotory

Servomotory (zkráceně Serva) jsou elektromotory, u kterých lze nastavit přesné natočení osy. Toto nastavení je prováděno pomocí různé šířky ovládacích pulzů. Pro robotiku se používají obvykle modelářská serva. Modelářské servo je obvykle schopno otočit osou o cca. 90° resp. 180°. Řízení je standardně prováděno 1-2ms dlouhými pulzy s frekvencí 50Hz (pozn. většina serv reaguje v širším rozsahu od 0.5ms do 2.5ms a rozsah otáčení pak může být až 180°). Šířka pulzu přímo úměrně odpovídá natočení výstupní osy. Tedy pokud budeme generovat pulz o šířce 1.5ms, přesune se servo do střední polohy. Změnou délky pulzu pak můžeme pootočit osou doleva či doprava. Krajním polohám natočení pak odpovídají krajní délky pulzů. Výhodou je, že servo obsahuje kromě motoru i převodovku a elektroniku, takže k řízení stačí generovat pouze řídicí signál. [11]



## 4 SENZORY

Senzorický subsystém slouží k orientaci robotu v prostoru. Obecně mluvíme o lokální a globální orientaci. Lokální orientací je myšleno rozpoznání překážek (ať už přírodních nebo umělých), vyhnutí se jim či udržování vzdálenosti od nich. Globální orientací je myšleno rozpoznání polohy robotu vůči vnějšímu světu. Tato poloha nelze obvykle změřit senzorem, ale musí být dopočítána z naměřených hodnot.

Podle Fyzikálního charakteru podnětů jsme u člověka a vyšších živočichů zvyklí rozlišovat různé smysly: zrak, sluch, hmat, čich, chuť, smysly pro teplo a chlad, pro polohu a rovnováhu, pro pohyb (kinestetický smysl) a jiné. Příslušné receptory se nazývají smyslové orgány. Třídít receptory podle druhu vstupní fyzikální veličiny je možné u robota – a obecně u technických systémů – analogicky jako u živých organizmů:

- Fotoreceptory – příjem světelného záření (např. různá optická čidla od fotonky až po kameru)
- Akustické receptory – citlivé na zvuk a ultrazvuk
- Mechanoreceptory – registrující bezprostřední mechanické kontakty (taktilní senzory)
- Chemoreceptory – chemická a elektronická čidla pro detekci konkrétních chemických látek, zejména plynů a par
- Termoreceptory – citlivé na teplotu (termoelektrické články, termistory apod.)
- Další receptory (zjišťování elektromagnetických polí, radioaktivního záření) [27]

### 4.1 Taktilní senzory

Mezi nejjednodušší senzory patří taktilní (kontaktní) senzory. Využívají se zejména pro detekci překážek. Obvykle jsou realizovány pomocí mikrospínačů v podobě pohyblivých nárazníků. Výhodou je spolehlivá funkce (polohy zapnuto, vypnuto) a nízká cena. Mezi nevýhody patří malý dosah a nutnost kontaktu s překážkou.



Obrázek 9: Mikrospínač [12]

## 4.2 Infračervené senzory

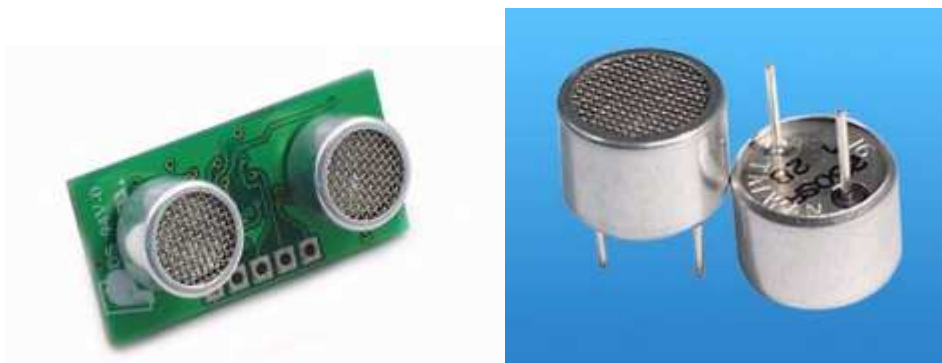
Infračervené senzory (obvykle označovány IR senzory z anglického InfraRed) patří mezi nejběžněji používané senzory v robotice. Jejich rozsah se pohybuje od desetin milimetrů až po několik metrů. Sensor se obvykle skládá z vysílací části (infradioda) a přijímací části (infratranzistor), které jsou umístěny ve společném pouzdře a vzájemně natočeny tak, aby bylo možno snímat odraz infračerveného paprsku od překážky. V některých případech je infračervené záření modulováno, čímž se zvyšuje odolnost proti šumu. Šumem je v tomto případě myšleno například odražené sluneční záření. Nevýhodou infračervených sensorů je závislost detekce na povrchu překážky. Jelikož je snímán odražený paprsek, je nutné, aby i po odrazu měl dostatečnou intenzitu. U některých překážek (např. objekt oblepený kobercem) dochází k velkému rozptylu paprsku a to může vést k pozdní nebo chybné detekci. Minoritně se používají pasivní infračervené senzory (PIR – Passive InfraRed). Tyto senzory fungují na principu pyroelektrického jevu a nemají vysílací část. Lze je použít k detekci předmětů určité teploty nebo osob.



Obrázek 10: IR senzory [13]

## 4.3 Ultrazvukové senzory

Dalším často využívaným typem sensorů v robotice jsou ultrazvukové senzory. Tyto senzory využívají zvuku o frekvenci kolem 29kHz – 43kHz. Podobně jako u IR sensorů jsou tvořeny vysílací a přijímací částí. Tyto senzory jsou vhodné pro měření objektů s mnohotvárným povrchem, průhledných nebo lesklých objektů i tekutin a práškových materiálů. Mají kratší dosah, ale jsou velmi užitečné v průmyslových aplikacích. Jsou schopny přesně měřit vzdálenosti. Často jsou používány i jako parkovací senzory.

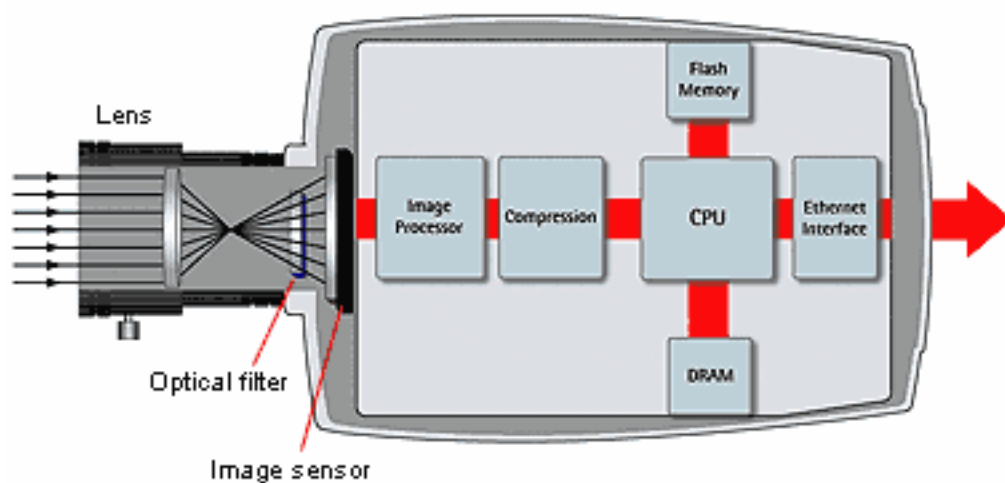


Obrázek 11: Ultrazvukové senzory [13]

#### 4.4 Kamery

V robotice se velmi často setkáváme se senzory, které jsou schopny snímat okolní obraz. Kamery jsou užívány k inspekčním účelům, navigačním účelům a k záznamům okolního dění. V současnosti jsou používány kamery založené na CCD nebo CMOS čipu.

CCD a CMOS snímače představují klíčové součásti, které slouží jako "digitální film" kamery. CCD snímače jsou vyráběny pomocí technologie vyvinuté speciálně pro kamerový průmysl, zatímco CMOS snímače jsou založeny na standardní technologii, která se hojně využívá při výrobě paměťových čipů. Dnešní nejkvalitnější kamery většinou používají CCD snímače, a ačkoli nejnovější modely CMOS snímačů snižují jejich náskok, stále nejsou vhodné pro kamery, od kterých se požaduje nejvyšší kvalita obrazu. Nicméně, CMOS snímače mohou být ideální pro základní řadu síťových kamer, kde jsou rozhodující velikost a cena.



Obrázek 12: Blokové schéma kamery [14]

CCD snímače jsou používány v kamerách už více než 20 let a mají oproti CMOS snímačům řadu výhod, mezi které patří například lepší světelná citlivost. Lepší světelná citlivost se projevuje v lepší kvalitě obrazu při špatném osvětlení. CCD snímače jsou ale dražší, protože se vyrábí nestandardním procesem a je složitější zabudovat je do kamery. Pokud se v záběru objeví velmi světlý objekt (jako přímé sluneční světlo), může se CCD snímač částečně roztéct, což vytvoří pruhy pod a nad objektem. Tomuto jevu se říká skvrna (smear). Pokroky v technologii CMOS snímačů je kvalitou obrazu přiblížili CCD snímačům, ale stále nejsou vhodné pro kamery, od kterých požadujeme nejvyšší možnou kvalitu obrazu. CMOS snímače umožňují nabídnout nižší cenu za kameru, protože obsahují vše, co je potřeba pro vytvoření kamery kolem nich. Umožňují vytvořit menší kamery. K dispozici jsou velké snímače, které přináší megapixelová rozlišení síťovým kamerám. Špatná citlivost na světlo ještě stále představuje omezení pro využití CMOS snímačů. Tato nevýhoda není problém pokud potřebujete kameru pro dobře osvětlené prostředí, ale pokud máte špatně osvětlené prostředí (třeba i chodbu v budově), může být rozdíl v kvalitě obrazu zřetelný. Výsledkem je velmi tmavý obraz plný šumu. [14]

Použití kamer v robotice je velmi široké. Nejčastější aplikace je kamera na pohyblivém rameni. Hlavní výhodou této konfigurace je, že můžeme pohybovat kamerou bez nutnosti pohybu robota, což vede k poměrně značné úspoře energie. Další možností je uchycení kamery přímo na tělo. Tato aplikace je používána zejména u inspekčních robotů (např. pro inspekci potrubí). Velmi důležitý je způsob přenosu obrazu a jeho zpracování. Obvyklý je přenos po metalickém vedení nebo bezdrátový přenos. U špionážních robotů je obvyklý záznam videa a jeho pozdější zpracování.

## 5 STAVEBNICE A CELÉ ROBOTY

V poslední době se setkáváme se značným nárůstem nabídky robotických stavebnic a celých robotů. Bohužel jenom málokterý prodejce je výrobcem nebo aspoň spoluvýrobcem prodávaných setů. Robotické stavebnice jsou velmi vhodné pro začínající stavitele a jednodušší z nich také jako pokročilé hračky. Na trhu nalezneme množství jednoduchých stavebnic jako například RoboKids od výrobce GM Electronic, ale také poměrně složitých programovatelných setů jako Mindstorms od Lego. Mezi nejjednodušší můžeme zařadit

stavebnice, které lze sestavit pouze jedním způsobem a nemají možnost programování. Takové stavebnice lze obvykle sestavit bez jakýchkoli znalostí elektroniky či robotiky a k sestavení stačí použít šroubovák, kleště a základní nářadí. Cena se pohybuje v řádu stovek korun.



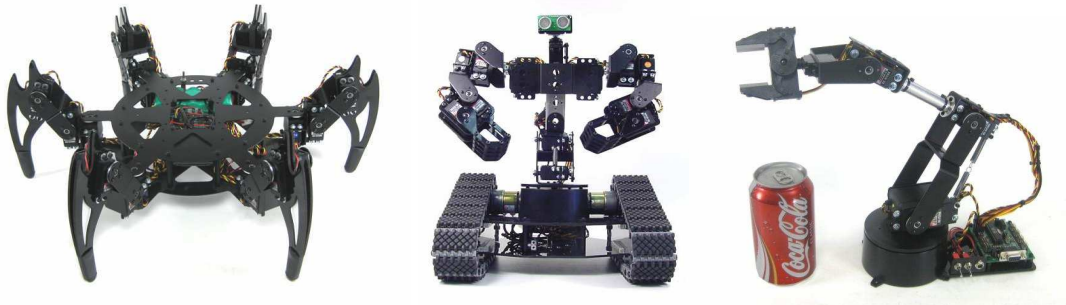
Obrázek 13: TM75020 - Stavebnice šneka sledujícího čáru [15]

Dalším stupněm jsou stavebnice, které lze libovolně přestavovat a vybírat z několika naprogramovaných režimů. Tyto stavebnice jsou většinou založeny na konstrukcích typu „MERKUR“ (kovová šroubovací stavebnice) nebo „LEGO“ (systém kostek, které lze vzájemně spojovat). Tato řešení jsou velmi oblíbená zejména pro svou variabilitu a možnost zábavného rozvíjení dětské kreativity a inteligence. Mezi velmi populární se zařadily stavebnice pro nejmenší (od tří let) od firmy GM Electronic. Stavebnice s názvy AnimalBot, DancingBot a RoboKids, jsou založeny na základech stavebnic LEGO a Merkur. Do stavebnic jsou však přidány díly s integrovanou elektronikou, senzory a motory. Každá stavebnice obsahuje podrobný obrázkový návod, takže vytvoření robotické kachny nebo štěněte je otázka několika minut. Podle výrobce je roboty schopno postavit čtyřleté dítě za dozoru rodičů.



Obrázek 14: Ukázka robotů od firmy GM Electronic [16]

Nejsložitější kategorie robotických stavebnic obvykle mají pevnou konstrukci (např. šestinohý robot, dvoukolý robot), kterou uživatel musí poskládat sám podle návodu, jsou vybaveny servomotory a senzory a je nutné k jejich ovládní napsat program, který určuje chování robota. Tyto stavebnice slouží obvykle jako učební pomůcky a po složení robota se konstrukce již nemění a mění se pouze ovládací program. Takovéto roboty lze s výhodou využít pro výuku programování mikroprocesorů. V minulosti jsme se mohli nejčastěji setkat s různými robotickými jeřáby a rameny. V dnešní době jsou častější mobilní roboty a to buď na kolech nebo na nohou. Velmi zajímavé konstrukce nabízí výrobce Lynxmotion. Výhodou může být, že robota můžeme koupit již sestaveného. Výrobce navíc s některými roboty dodává softwarové balíky, které mají pomoci při programování.



Obrázek 15: Roboty Lynxmotion [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem této části práce je navrhnout, vytvořit a zprovoznit malého robota, který bude schopen sledovat černou čáru na světlém podkladu a vyhýbat se překážkám ve své dráze. Tento robot by měl být cenově dostupný a bude využitelný jako pomůcka při výuce programování mikroprocesorů.

## 7 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ

### 7.1 Základní popis robota

Pro konstrukci těla robota jsem využil kovovou stavebnici Merkur. Tato kovová stavebnice je cenově dostupná a přitom splňuje požadavky pro konstrukci pevného podvozku. Další výhodou je variabilnost a velké množství dílů, které stavebnice obsahuje. Pohon robota je tvořen dvěma servomotory (HS - 422), upravenými pro kontinuální pohyb. Pro indikaci překážek a čáry jsou použita senzory firmy Fairchild. Jedná se o odrazové infrsenzory, (označení QRB1114) tvořené infradiodou a infratranzistorem. Celé zapojení bude řízeno mikroprocesorem značky Atmel řady 80C2051. I když je tento mikroprocesor starší, jeho výkon je pro tuto aplikaci dostatečný. Pro jeho použití jsem se rozhodl zejména proto, že jsem s ním v minulosti již pracoval a vlastním programátor. Jako zdroj energie lze použít libovolný 6V akumulátor nebo baterii. Robot byl odzkoušen s olověným akumulátorem značky Rima typu UN4.5-6.

### 7.2 Podvozek a pohon

Podvozek je tvořen díly stavebnice Merkur. Je sestaven tak, aby byl univerzální a dostačte robustní. Je dostatečně pevný, aby bylo umožněno použití i velkokapacitní olověných akumulátorů. Díky pevnosti lze robota po jednoduché přestavbě využít i v jiných aplikacích než sledování čáry jako například minisumó.

Robot je vybaven dvojicí servomotorů Hitec HS-422. Tyto motory jsou běžně využívány modeláři, protože poskytují dostatečnou hnací sílu za poměrně nízkou cenu. Každý servomotor je upevněno k podvozku čtyřmi šrouby, aby byla zajištěna stabilita motorů a přenos hnací síly. Na výstupní hřídeli je připevněno kolečko z umělé hmoty, které je vybaveno gumovou pneumatikou. Dále je k podvozku připevněn kluzák, který drží stabilitu robota. V případě použití robustních akumulátorů nebo používání robota k přemísťování



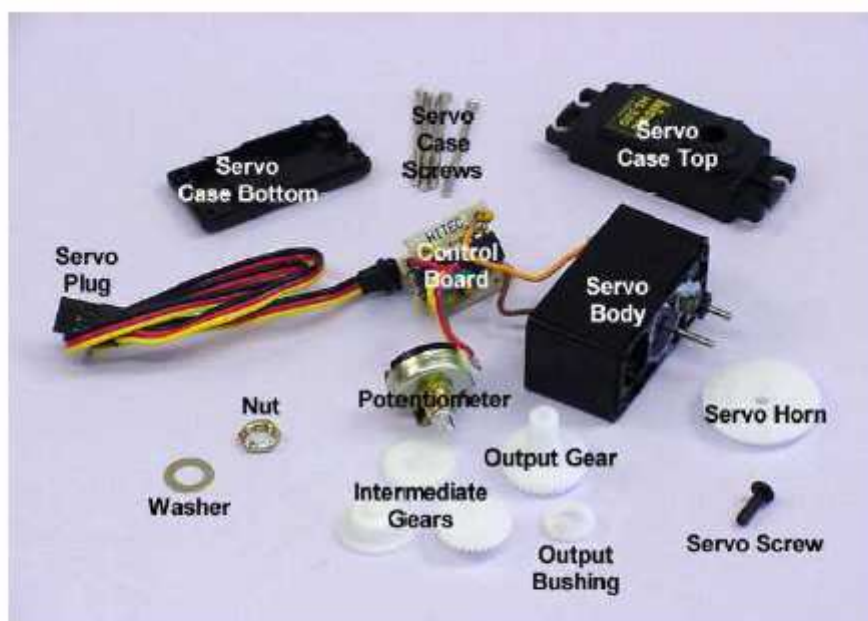
předmětů je doporučeno použít místo kluzáku volně otočné kolečko. Použitím kolečka dojde k eliminaci kluzného odporu (je nahrazen značně menším valivým odporem kolečka).

### 7.3 Servomotory a řízení

Servomotory jsou vyráběna pro rotační pohyb v rozmezí 180°. Lze je však upravit tak, aby se otáčela kontinuálně. Pro tuto úpravu není třeba mít žádné hlubší znalosti konstrukce servomotorů ani není potřeba žádné speciální vybavení. Celé úprava spočívá v odstranění mechanické zarážky otáčení a v nahrazení zpětnovazebního potenciometru dvojicí rezistorů se stejnou hodnotou.

#### 7.3.1 Úprava servomotoru pro kontinuální pohyb

Krok 1: Rozložte servomotor



obr. 2 - takto vypadá servo rozložené na jednotlivé díly

Servo plug	konektor serva	Servo Body	těleso serva
Servo Case Bottom	spodní víko serva	Intermediate Gears	vložená ozubená kola
Servo Case Screw	spojovací šrouby tělesa serva	Output Gear	výstupní ozubené kolo převodovky
Servo Case Top	vrchní víko serva	Output Bushing	těsnění výstupní hřídele serva
Washer	podložka potenciometru	Servo Body	těleso serva
Nut	matice potenciometru	Servo Horn	unašeč
Potentiometer	zpětnovazební potenciometr	Servo Screw	upevňovací šroub unašeče

Obrázek 16: Rozložený servomotor [18]

Krok 2: Demontujte zpětnovazební potenciometr z tělesa serva. Odpájejte přívodní vodiče a potenciometr rozeberte. Odporová dráha je v tělese potenciometru zajištěna pomocí zahnutých plechových jazýčků. Odporovou dráhu odložte – již jí není potřeba.



Obrázek 17: Rozložený potenciometr servomotoru [18]

Krok 3: Odstraňte sběrač z plastového unašeče. Odstraňte mechanický doraz v tělese potenciometru.



Obrázek 18: Mechanický doraz v tělese potenciometru [18]

Krok 4: Odstraňte výstupek na ozubeném kole servomotoru, který tvoří mechanickou zábranu proti otočení převodovky a více než 180°.



Obrázek 19: Mechanický doraz převodovky [18]

Krok 5: Ze dvou rezistorů 2k7Ω vytvořte odporový dělič nahrazující zpětnovazební potenciometr. Červený a zelený vodič jsou zapojeny na krajích a žlutý uprostřed.



Odporový dělič (2 x 2k7)

Zaizolování pomocí lepicí pásky

Obrázek 20: Odporový dělič [18]

### 7.3.2 Řízení

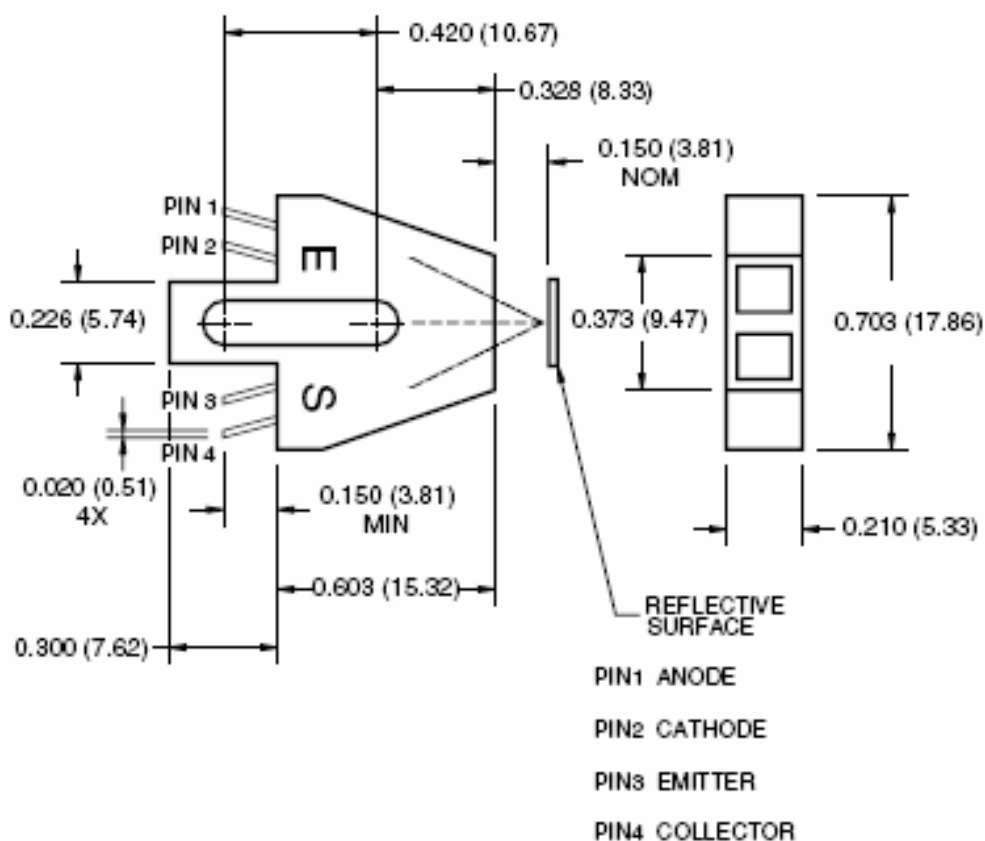
Pohon je tvořen dvojicí motorů, které jsou pevně spojeny s podvozkem. Z tohoto uložení vyplývá, že robot je řízen diferenciálně. Servomotory jsou ovládány pomocí šířky impulzů, které jsou generovány mikroprocesorem. Obvyklé je generování impulzů o frekvenci 50Hz a délce 0,8 – 2,2ms. Po úpravě na kontinuální pohyb reagují servomotory následovně:



Obrázek 21: Řízení servomotoru[18]

## 7.4 Senzory

Pro orientaci v prostoru a indikaci překážek bylo využito infrsenzoru firmy Fairchild semiconductor. Jedná se o kombinaci infradiody a infratranzistoru v jednom pouzdře (označení QRB1114). Původní záměr byl konstruovat senzory pomocí samostatných IR diod a IR tranzistorů, ale po sérii neúspěšných pokusů bylo od tohoto řešení upuštěno. Hlavním problémem byl malý vyzařovací úhel diod a nízká hodnota vyzářené energie. Úzký vyzařovací úhel značně komplikoval správné nastavení senzoru a nízká hodnota vyzářené energie drasticky snižovala dosah senzorů. Senzory QRB1114 oba tyto problémy elegantně řešily. Jak můžeme vidět na obrázku pouzdro je přizpůsobeno malému vyzařovacímu úhlu diody a je po stranách zkoseno. Tím je dosaženo ideální nastavení senzoru a jeho největší citlivost je na vzdálenost cca 1 cm (vzdálenost je závislá na intenzitě okolního IR záření). Tato vzdálenost však nebyla dostatečná pro indikaci překážek a proto bylo využito připojení tranzistorů BC639 do Darlingtonova zapojení. Tím bylo dosaženo citlivějších reakcí senzorů.



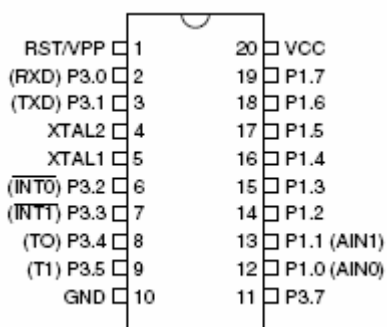
Obrázek 22: Odrazový senzor QRB1114 [19]

## 7.5 Mikroprocesor

Mikroprocesor 80C2051 je založen na jádru 8051. Toto jádro pochází z roku 1980 a bylo vyrobeno firmou Intel. I přesto, že se jedná o procesor poměrně starý je stále hojně používaný. Spoustu firem se orientovalo na výrobu jader 8051 (vyrábí ho firmy ATMEL, PHILIPS, Analog Devices aj.) a je ho také možno rozšířit o další periferie. Jeho další výhodou je nízká cena (89C2051 je k dostání za 38 Kč). Výrobci nabízejí procesory od základního provedení s hodinovým kmitočtem 12Mhz až do 33Mhz ve standardním pouzdře DIL, přes provedení PLCC až po malá pouzdra PQFP. Jiné firmy se orientují na procesory s rozšířenými aritmetickými operacemi (Siemens 80C537) nebo s odlišným vnitřním časováním (Dallas 80C320), který při standardním hodinovém kmitočtu má trojnásobný výkon. Sjednocujícím základem všech těchto rozmanitých typů procesorů je vlastní jádro procesoru 8051.

Atmel 80C2051 je 8-bitový jednočipový mikroprocesor se smíšenou hardwarskou a Von Neumanovou architekturou, u které je oddělena programová a datová paměť, ale formát

instrukcí a dat je totožný a přenáší se po stejné sběrnici. Procesor je schopen samostatné činnosti po připojení vnějšího piezokeramického rezonátoru (krystalu) na vývody XTAL1 a XTAL2, a napájecího napětí +5V. Na čipu procesoru je umístěna vlastní procesorová jednotka CPU, tvořená aritmeticko – logickou jednotku ALU, která kromě sčítačky / odčítačky obsahuje i násobičku / děličku a booleovskou aritmetickou jednotku. ALU je přímo propojena s aritmetickými registry ACC, B a PSW. CPU je vnitřní společnou sběrnicí propojena s pamětí programu ROM nebo PEROM o kapacitě 2Kb (existují i typy bez této paměti), s pamětí RAM o kapacitě 128 bytů a prostřednictvím registrů P1 a P3 se dvěma vstupně – výstupními porty P0 a P3. Pro snadnější styk s periferiemi je procesor vybaven přerušovacím systémem, který zpracovává 5 zdrojů přerušování. Dva externí (INT0, INT1) a tři interní ( dva od vnitřních časovačů a jeden od sériové linky). Jednotlivá přerušování jsou maskovatelná, mají pevně určenou prioritu ( lze programově změnit). Vnitřní čítače jsou 16 – bitové a jsou ovládané vnitřním signálem odvozeným od vnitřního hodinového generátoru nebo z vnějších vstupů T0 a T1. Dále je mikroprocesor vybaven plně duplexním sériovým kanálem, který usnadňuje komunikaci např. s PC.



Obrázek 23: Zapojení vývodů [21]

### 7.5.1 Programování mikroprocesoru 80C2051

K naprogramování mikroprocesoru jsem použil jazyk symbolických adres (JSA). Jedná se o programovací jazyk nejnižší úrovně, který je přímo závislý na strojovém kódu. Každý typ procesorů má vlastní JSA. Společným rysem většiny JSA je to, že kódovou jednotkou je zde jeden řádek. Pro programování mikroprocesoru 80C2051 bylo nutné postavit programátor. Rozhodl jsem se pro EmulUni. EmulUni je vhodný pro komunikaci s procesory Atmel řady 8051 a sériové paměti řady 24Cxx a 93Cxx. Díky tomuto přípravku lze číst uvedené typy obvodů, zamykat mikroprocesory, porovnávat jejich obsah atd. Výhodou je, že

daný program lze okamžitě odzkoušet na připojených portech. Ovládací software je freeware a je možné jej použít jak k ovládní přípravku EmulUni, tak i k přenosu programu do zařízení využívajícího prostý simplexní sériový přenos. Software také umožňuje přístup několika počítačů přes síť k jednomu HW přípravku (např. ve školní počítačové učebně). Desku programátoru jsem zakoupil a osazení jsem provedl dle dokumentace. [20]



Obrázek 24: Programátor EmulUni

## 8 ELEKTRONICKÉ ZAPOJENÍ

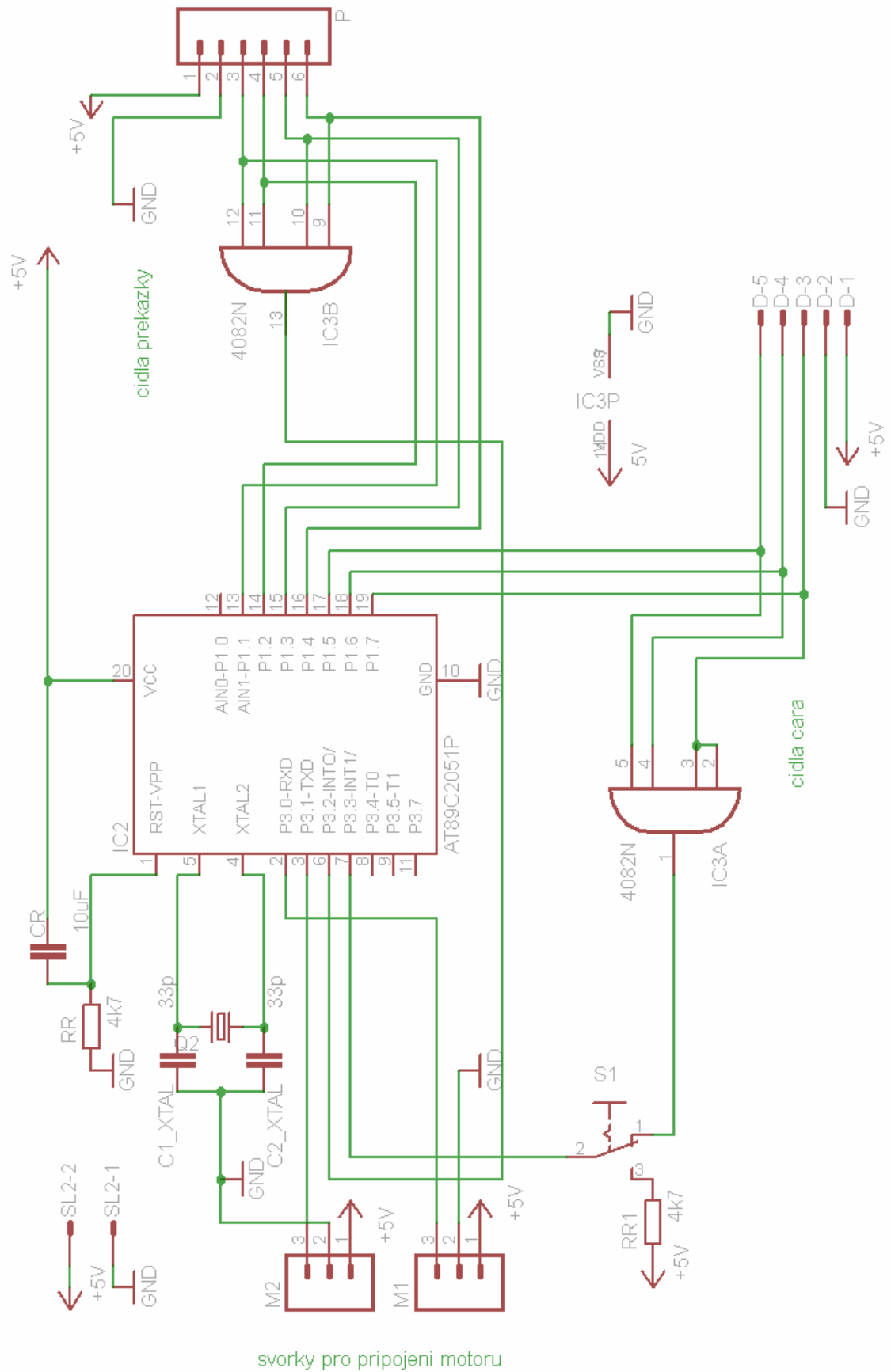
Robot je tvořen třemi plošnými spoji. Hlavní deska, na které je umístěn mikroprocesor, vyhodnocuje přijaté signály od jednotlivých senzorů a generuje signály pro řízení motorů. Druhá deska je umístěna na spodní straně robota. Na ní jsou celkem tři senzory – dva pro sledování čáry a jeden pro sledování povrchu. Senzor pro sledování povrchu by mělo zajistit, aby robot nespadol ze stolu nebo ze schodů. Třetí deska je umístěna na přední části robota a jsou na ní připevněna dva senzory a dva mechanické senzory (mikrospínače). Signál z těchto senzorů je přiveden na hlavní desku. Všechny plošné spoje jsem navrhoval v programu EAGLE 4.15 Light.

### 8.1 Popis hlavní desky

Úkolem hlavní desky umožnit práci mikroprocesoru a generovat signály pro servomotory. Jedná se o nejjednodušší možné zapojení mikroprocesoru. Na piny XTAL1 a XTAL2 je připojen krystal a resetovací pin RST je zapojen přes derivační článek. Použitím správných hodnot rezistoru a kapacitou dosáhneme, že se procesor rozběhne až po čase  $\tau$  ( $\tau = R \cdot C$ ). Na pinech P1.3 a P1.2 je generován řídicí signál pro servomotory. Servomotory jsou připojeny na konektorech M1 a M2. Další konektor (D) slouží pro připojení dolní pomocné desky, která snímá černou čáru a povrch. Použitý konektor je 5-ti pinový (napájení, GND, tři datové vodiče). Bylo nutné použít 3 datové vodiče, protože jinak bychom nebyli schopni rozlišit levý senzor, pravý senzor a senzor pro snímání povrchu. Datové vodiče jsou přivedeny na hradlo 4082N. Jedná se o 2krát čtyřvstupý AND. Výstup hradla je přiveden na vstup P3.3 (INT1). Funkce hradla je nezbytná pro správné vyhodnocení přerušení. Všechny datové vodiče jsou běžně v hodnotě log1. To znamená, že i na výstupu hradla je log1. Pokud některý ze senzorů najede na černou čáru (nebo pokud se senzor pro sledování povrchu vzdálí od podkladu) pojde k překlopení na log0. Hradlo okamžitě rozpozná změnu úrovně a překlopí se do hodnoty log0. Jelikož přerušení je vyvoláno právě touto hodnotou, dojde k přerušení. Obsluha přerušení poté testuje piny P1.5, P1.6 a P1.7 na něž jsou přivedeny jednotlivé datové vodiče každého senzoru zvlášť. Déle je na desce umístěn přepínač S1. Pomocí tohoto přepínače jsme schopni hardwarově vypnout sledování čáry. Přepnutím přepínače přivedeme na vstup INT1 trvale hodnotu log1. Konektor s označením P slouží k napájení přední

pomocné desky, která snímá překážky. Konektor je šestipinový (Napájení, GND, 4xdatový vodič). Datové vodiče jsou přivedeny do hradla 4082N. Výstup z hradla je přiveden na pin P3.2 (INT0). Každý datový vodič je také samostatně přiveden na piny procesoru. To umožňuje rozlišit, které senzory zareagovaly na překážku. Deska a soupis součástek je přiložen (Příloha 1)

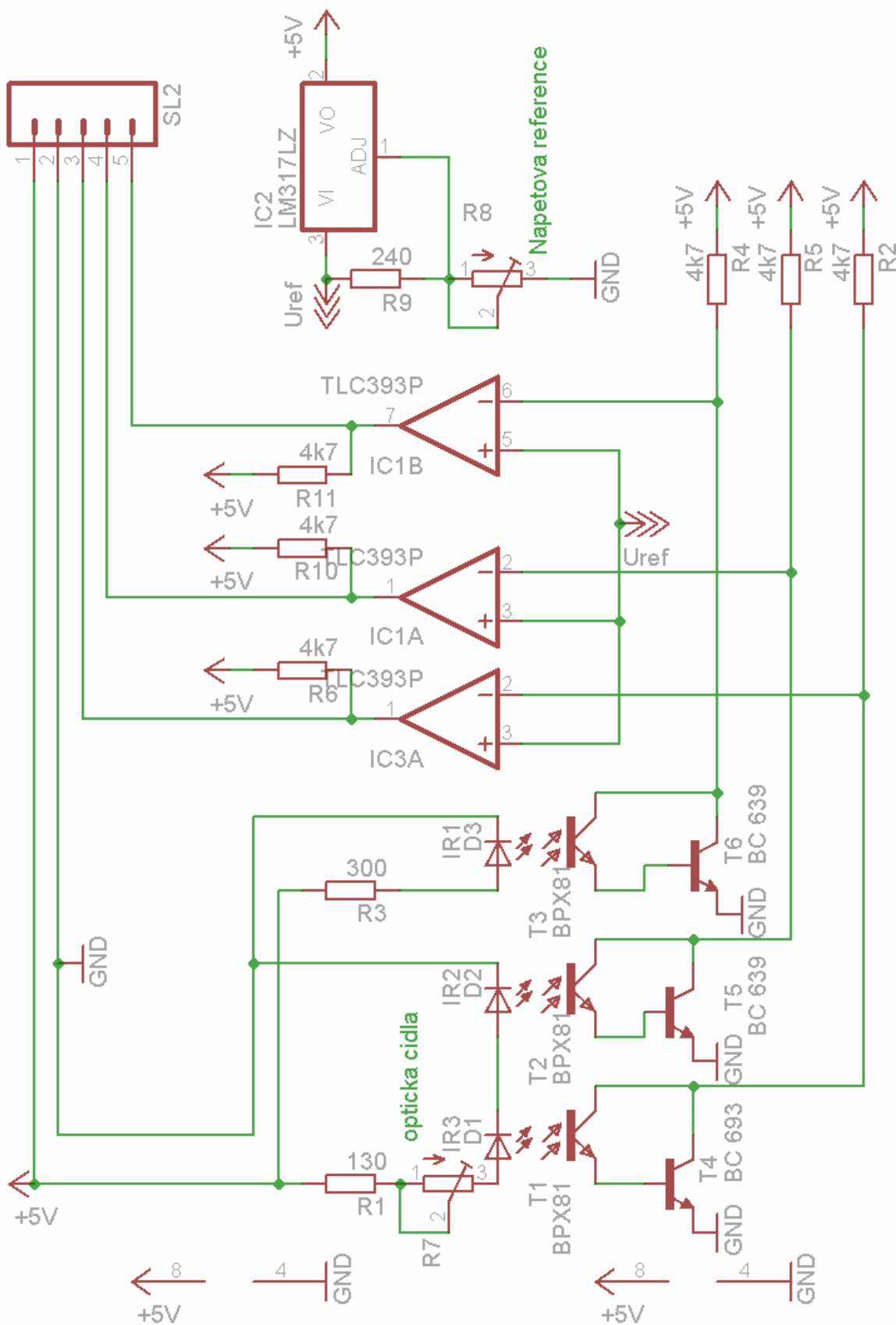




Obrázek 25: Schéma hlavní desky

## **8.2 Popis dolní desky**

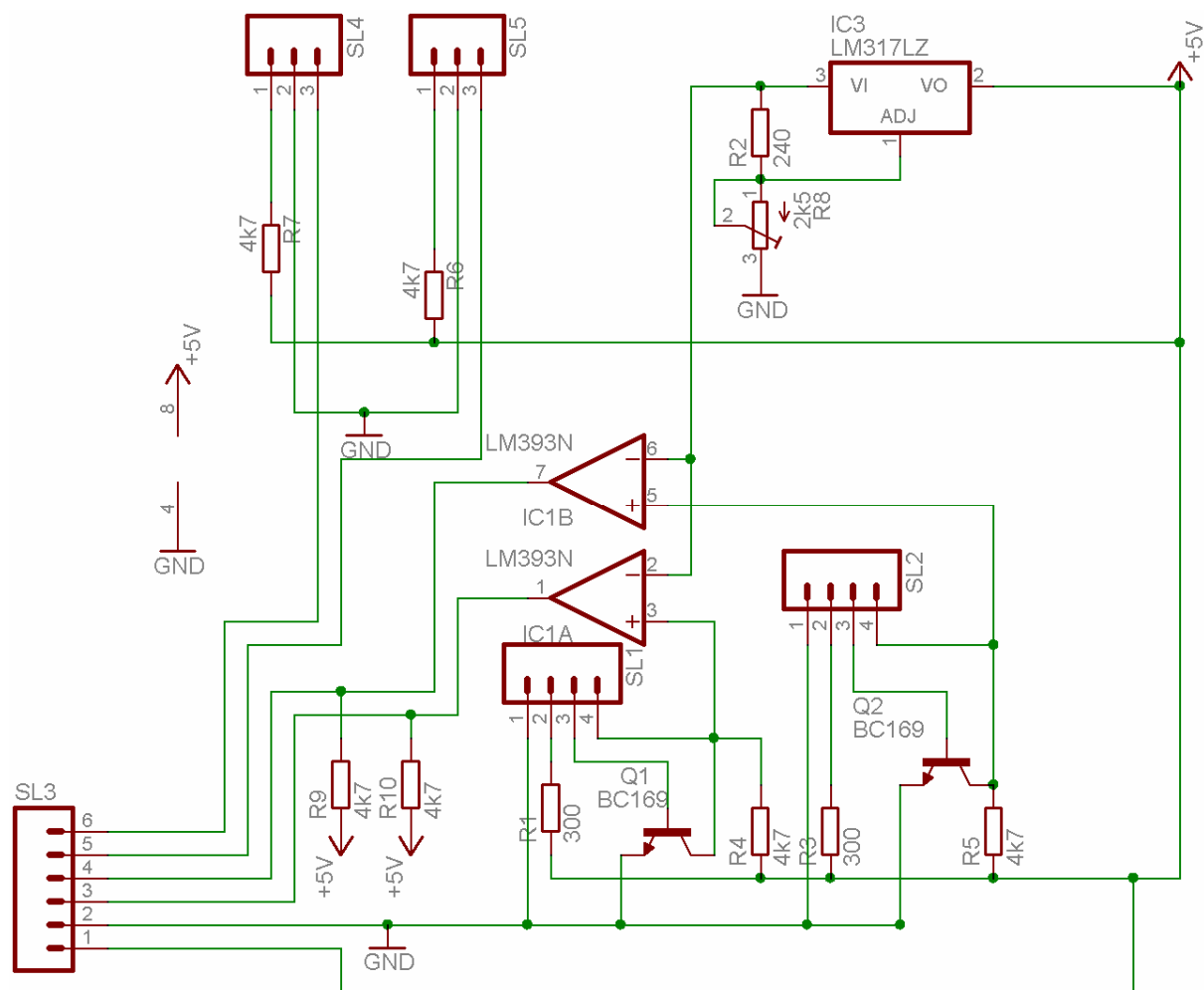
Dolní pomocná deska se stará o sledování čáry a kontrolu povrchu. Je vybavena třemi senzory (dvě sledují černou čáru a jedno sleduje povrch). Do série s IR diodou senzory je zapojen nejen nezbytný rezistor, ale také trimr, s jehož pomocí jsme schopni omezovat proud diodou a tím regulovat dosah a citlivost senzorů. U všech senzorů je využito Darlingtonova zapojení s univerzální NPN tranzistorem BC 639. Darlingtonovo zapojení zvyšuje citlivost senzoru a zrychluje jeho reakci. Z kolektorů tranzistorů je signál přiveden na neinvertující vstup nízkonapěťového komparátoru LM393. Pomocí tohoto obvodu je realizován převod na TTL logiku. Komparátor pracuje s napětím +6V a GND. Na výstup je nutné připojit pull-up rezistory. Na invertující vstup je přivedeno napětí z napěťové reference tvořené stabilizátorem LM317LZ. Stabilizátor je v pouzdře TO92 a snese pouze malé proudové zatížení (od 0,1A). Pro potřeby napěťové reference je to však hodnota naprosto dostačující. Velkou výhodou je možnost nastavení výstupního napětí. Díky tomu lze nastavit při jakém napětí se komparátor přepne z úrovně 1 do úrovně 0. V jednom pouzdře jsou dva komparátory, to znamená, že bylo nutné využít dvou integrovaných obvodů tohoto typu.



Obrázek 26: Schéma dolní desky

### **8.3 Popis přední desky**

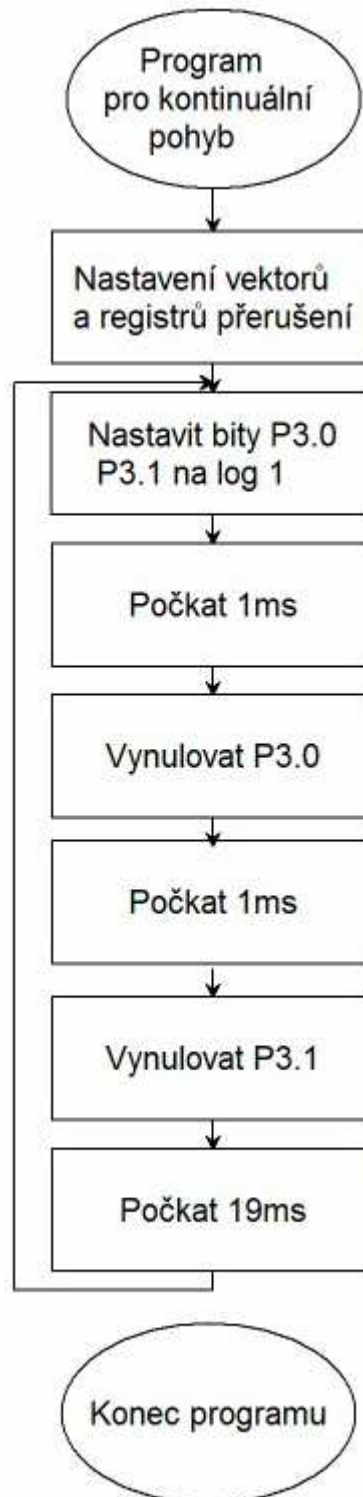
Funkcí přední pomocné desky je sledování prostoru před robotem a lokalizace překážek. Deska je vybavena čtyři senzory. Dvěmi IR senzory a dvěmi mechanickými senzory. Všechny senzory jsou připojeny do konektorů desky. Tento způsob připojení je výhodnější než přímé napájení na desku, protože umožňují ideální rozmístění senzorů po těle robota. Infrsenzory jsou připojena čtyřmi vodiči a je využito Darlingtonovo zapojení s tranzistorem BC 639 (popsáno výše). Jejich funkce spočívá v detekci překážek bez kontaktu robota a překážky. Jsou schopny reagovat na vzdálenost 3cm. Výstup z Darlingtonového zapojení je přiveden na invertující vstup komparátoru LM393. Na neinvertující vstup je přivedena napěťová reference tvořená stabilizátorem LM317LZ. Některé překážky však mohou být čidlem obtížně zachytitelné buď pro jejich tvar nebo pro jejich polohu. Mechanické senzory jsou připojeny třemi vodiči. Jedná se o mikrospínače vybavené páčkou. Mikrospínače jsou umístěny těsně za pohyblivý nárazník robota a jsou schopny reagovat velmi rychle po kontaktu s překážkou. Signály z senzorů a komparátorů jsou přiváděny na hlavní desku, kde jsou vyhodnocovány procesorem.



Obrázek 27: Schéma přední desky

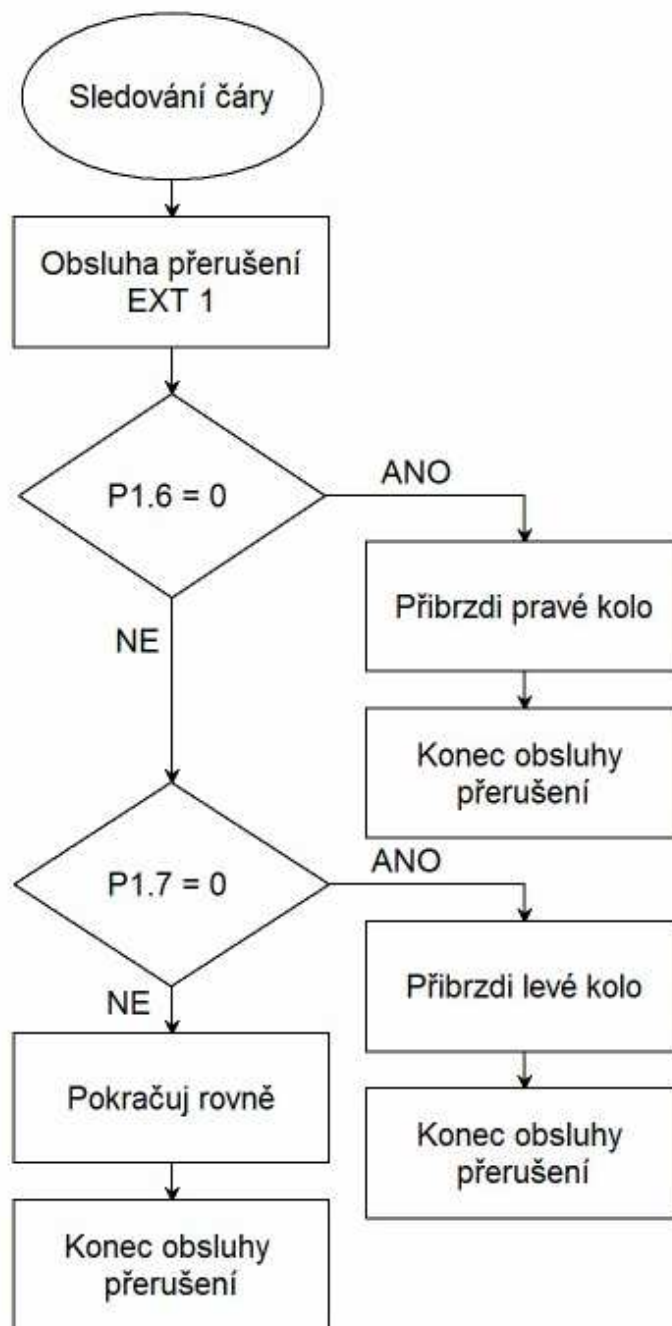
## 9 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Celé zapojení je založeno na mikroprocesoru AT80C2051. Procesor jsem programoval pomocí přípravku EmulUni, který je popsán výše. K programování je použit jazyk symbolických adres s instrukční sadou pro procesory s jádrem 8051. Použil jsem programovací prostředí programu Context. Context je freewarový textový editor, který nabízí základní zvýraznění příkazů v programovacích jazycích. Program je popsán zjednodušeným vývojovými diagramy. Celý kód programu je přiložen (příloha 4).



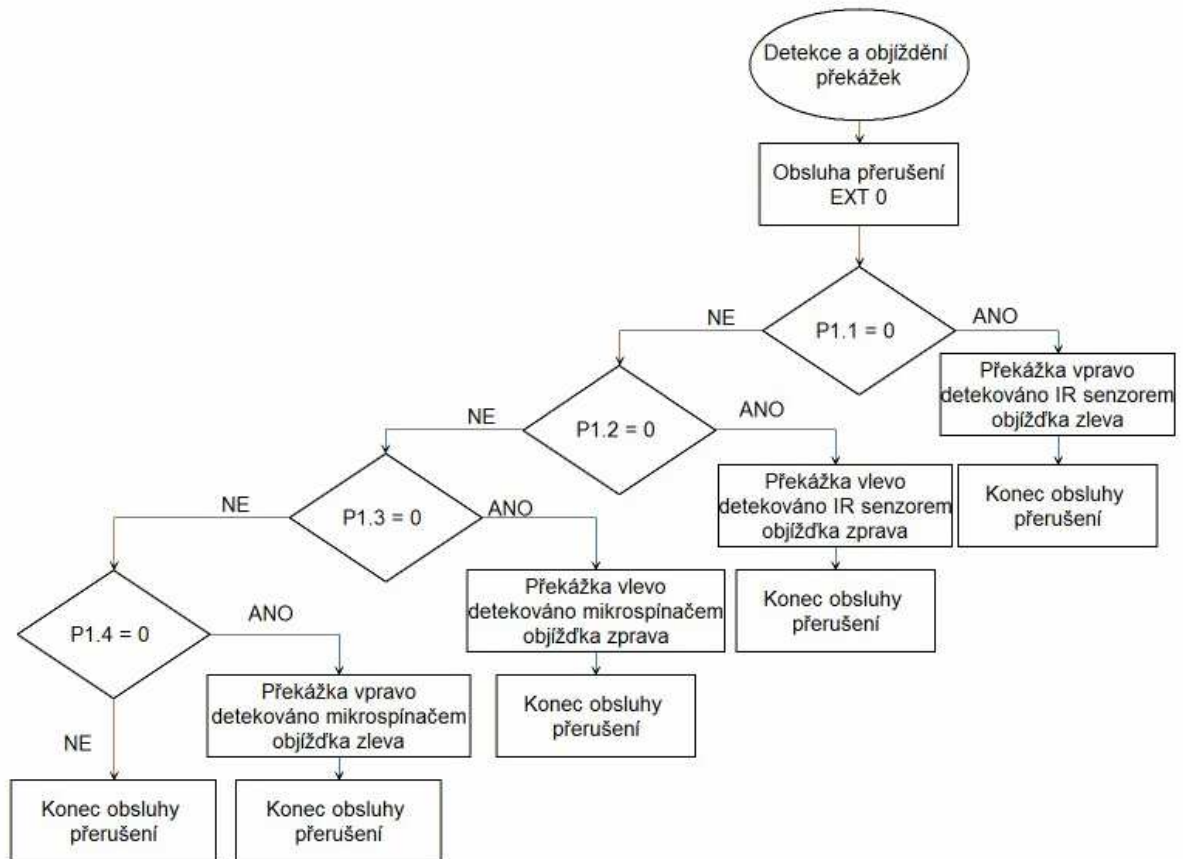
**Obrázek 28: Zjednodušený vývojový diagram pro pohyb vpřed**

Pohyb robotu v před je velmi jednoduchý a vychází ze základní znalosti ovládní servomotorů. V podstatě se jedná pouze o generování pulzů o správné frekvenci. Je nutné mít na paměti, že motory jsou umístěny na vzájemně opačným směrem a proto se jeden musí točit obráceně. Program běží v nekonečné smyčce.



Obrázek 29: Zjednodušený diagram podprogramu pro sledování čáry

Pokud jeden ze senzorů sledující čáru najede na černý povrch dojde k přerušení hlavního programu. Obsluhou přerušení EXT 1 je podprogram znázorněný diagramem. Procesor postupně zkontroluje stavy pinů, které odpovídají připojení senzorů a přibrzdí jedno kolo tak, aby se kola robotu srovnaly na kolmici k čáře. Pokud se dostanou na černý podklad oba senzory zároveň je tento stav ignorován a robot pokračuje rovně. Toto umožňuje přejíždět přes křížení čar. Po vykonání sekvence příkazů je pokračováno v hlavním programu.



**Obrázek 30: Zjednodušený diagram podprogramu pro detekci a objíždění překážek**

Pokud IR senzor nebo mechanický senzor zaznamená překážku je vyvoláno přerušení EXT 0. Obsluha přerušení spočívá v kontrole jednotlivých senzorů a následné reakci. Pokud je překážka detekována na senzory na pravé straně, pak je zvolena objížděcí trasa zleva a naopak. Při detekci mechanickým senzorem robot nejdříve mírně couvne a poté zahájí objíždění. Po dokončení manévru se robot dostane zpět na černou čáru a pokračuje dál v pohybu.



## Závěr

Cílem této práce je přiblížit jednoduchou robotiku širšímu okruhu studentů. Úvodní rešerše slouží jako přehled používaných technologií a konstrukcí robotů. Jedná se o shrnutí nejčastěji používaných konstrukcí s poukázáním na jejich přednosti a nevýhody. Robotická zařízení lze dělit podle různých hledisek. Rešerše dělí roboty podle lokomočního ústrojí a způsobů pohonu. Dále se věnuje nejpoužívanějším robotickým sensorům.

Praktická část je zaměřena na ukázkou vývoje malého robotu, který je schopen sledovat vyznačenou trajektorii a vyhýbat se překážkám. V práci je popsán celý pracovní postup včetně schémat zapojení, ukázky rozmístění součástí na plošných spojích a fungujícího programu. Při konstrukci byla využita stavebnice Merku, která díky své variabilitě a dostupnosti přesně vyhovovala požadavkům, které klademe na malé roboty. IR senzory, které jsou použity, mají poměrně malý dosah, ale pro ukázkou použití jsou naprosto dostatečné. Nevýhodou je absence sensorů na stranách robotu. Pokud by byl robot doplněn o boční senzory, získal by možnost orientace v bludištích. Navíc by bylo možné zdokonalit i objíždění překážek. Vzorový program je zaměřen na sledování čáry a detekce překážek je pouze druhořadý úkol. Vzhledem k tomu, že se robot pohybuje malou rychlostí, je možné využít pomalejších mikroprocesorů. Výpočetní výkon použitého mikroprocesoru je dostatečný.

## Závěr anglicky

The aim of this thesis is to present a simple robotics to wider range of students. First part serves as an overview of the technologies and constructions of small robots. It is a summary of the most used structures in pointing out their advantages and disadvantages. Robotic equipment can be divided according to different criteria. In the thesis it is divided according robots locomotion system and method of propulsion. It also deals with the most widely used robot sensors.

The practical part is focused on the development of small robot that is able to follow the marked path and avoid obstacles. The thesis describes the working procedure, including diagrams, examples of the deployment of components on printed circuit boards and a functioning program. For construction was used kit „Merkur“, which because of its variability and availability of precisely meet the demands of the small robots. IR sensors which are used, they have relatively little range, but to illustrate the application are adequate. The disadvantage is the lack of sensors on the sides of the robot. If the side sensors are added to robot, it will be ready to be used in mazes. Moreover, it would be possible to improve the avoidance of obstacles. Sample program is focused on the line following and obstacle detection is only a secondary task. Given that the robot moves at low speed, it is possible to use slower microprocessors. Computing power microprocessor used is sufficient.

## ZDROJE

- [1] *Game Park: Robotika* [online]. c2010 [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <[http://www.gamepark.cz/robotika\\_480394.htm](http://www.gamepark.cz/robotika_480394.htm)>
- [2] *Karel Čapek* [online]. [citováno 29. 06. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://capek.misto.cz/robot.html>>
- [3] *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ* [online]. [citováno 30. 06. 2010]. Dostupný z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/interest1312221111.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest1312221111.htm)>
- [4] *iRobot corporation* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <[www.irobot.com/uk/images/irobot\\_uk/urbie.jpg](http://www.irobot.com/uk/images/irobot_uk/urbie.jpg)>
- [5] *International industries* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <<http://www.internationalindustries.net/Inuktun/vertical-crawler.jpg>>
- [6] *Honda – the power of dreams* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <<http://world.honda.com/ASIMO/history/>>
- [7] *Elektronika.cz: Stejnoseměrné motory* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosemernih-motoru>>
- [8] *Pohony pro mobilního robota* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <[http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Pohony\\_pro\\_mobilniho\\_robota.pdf](http://www.eurobot.cz/Workshop2006/Pohony_pro_mobilniho_robota.pdf)>
- [9] *Principle of the brushless DC motors* [online]. [citováno 01.07.2010] Dostupný z WWW: <<http://www.s-line.de/homepages/bosch/sensorless/node9.html>>

- [10] *Střední odborná škola Blansko: Ukázka žákovského projektu* [online]. c2010 [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <[www.sosblansko.cz/suplovaci\\_rozvrh/priklad\\_3.doc](http://www.sosblansko.cz/suplovaci_rozvrh/priklad_3.doc)>
- [11] *Robotika: řízení serva* [online]. c2010 [citováno 2. 1. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://robotika.cz/guide/servo/en>>
- [12] *Subminiaturní mikropínač* [online]. c2010 [citováno 2. 1. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektoraj.cz/detail.asp?floor=15&database=fkt&shop=76&id=107054>>
- [13] *Robotika – senzory pro roboty* [online]. c2010 [citováno 2. 1. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.snailinstruments.com/cze/robotics/sensors.php>>
- [14] *Obrazové snímače CCD vs. CMOS* [online]. c2010 [citováno 25. 3. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/obrazove-snimace-ccd-cmos.php>>
- [15] *Robotika – robotické stavebnice* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.snailinstruments.com/cze/robotics/kits.php>>
- [16] *RoboRobo* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.roborobo.cz/index.php?page=RoboKids#AnimalBot>>
- [17] *Lynxmotion* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.lynxmotion.com/c-126-al5b.aspx>>
- [18] *Hobbyrobot* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <[http://www.hobbyrobot.cz/PDF/T\\_T201.pdf](http://www.hobbyrobot.cz/PDF/T_T201.pdf)>
- [19] *Fairchild* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/QRB1114.pdf>>

[20] *EmulUni* [online]. c2010 [citováno 10. 4. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://web51.sweb.cz/index.html>>

[21] *Alldatasheet* [online]. c2010 [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/56218/ATMEL/AT89C2051-12PA.html>>

[22] *Active robots* [online]. c2010 [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.active-robots.com/products/motorsandwheels/rd01-drive.shtml>>

[23] *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ* [online]. [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/interest13122211111111111111.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest13122211111111111111.htm)>

[24] *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ* [online]. [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/interest13122211111111111111.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest13122211111111111111.htm)>

[25] *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ* [online]. [citováno 16. 5. 2011]. Dostupný z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/interest13122211111111111111.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest13122211111111111111.htm)>

[26] KARGER, DRSC, Doc. RNDr. Adolf; KARGEROVÁ, CSC, Doc. RNDr. Marie. *Základy robotiky a prostorové kinematiky*. První vydání. Praha 6 : ČVUT, 2000. 265 s. ISBN 80-01-02183-1.

[27] HAVEL, CSC, Ing. Ivan M. *Robotika: Úvod do teorie kognitivních robotů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 280 s.

[28] MAŇAS, Miroslav. *Základy robotiky*. První vydání. Brno: VUT, 1991. 99 s s. ISBN 8021402792.

[29] *Journal of robotic systems*. Wiley, J. New York: Wiley, J. 4x ročně. ISSN 0741-2223.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Standardní kolo[22], všesměrové kolo [23], Weinsteinovo kolo [24], MaxWheel [25] .....	15
Obrázek 2: Diferenciálně řízený tříkolový robot [3].....	16
Obrázek 3: Matematický model diferenciálně řízeného lokomočního ústrojí [3] .....	16
Obrázek 4: Střed otáčení [3].....	17
Obrázek 5: Závislost $x, y$ na $\omega_1, \omega_2$ [3] .....	18
Obrázek 6: Závislost $\omega_1, \omega_2$ na $x, y$ [3] .....	19
Obrázek 7: Robot s manipulačním ramenem, s pomocnými pásy, pro revizi potrubí [3],[4],[5] .....	20
Obrázek 8: Dvounozí roboti (ASIMO Honda) [6] .....	21
Obrázek 9: Mikroskop [12] .....	25
Obrázek 10: IR senzory [13] .....	26
Obrázek 11: Ultrazvukové senzory [13] .....	27
Obrázek 12: Blokové schéma kamery [14] .....	27
Obrázek 13: TM75020 - Stavebnice šneka sledujícího čáru [15] .....	29
Obrázek 14: Ukázka robotů od firmy GM Electronic [16] .....	29
Obrázek 15: Roboty Lynxmotion [17] .....	30
Obrázek 16: Rozložený servomotor [18] .....	33
Obrázek 17: Rozložený potenciometr servomotoru [18] .....	34
Obrázek 18: Mechanický doraz v tělese potenciometru [18].....	34
Obrázek 19: Mechanický doraz převodovky [18].....	34
Obrázek 20: Odporový dělič [18].....	34
Obrázek 21: Řízení servomotoru[18].....	35
Obrázek 22: Odrazový senzor QRB1114 [19] .....	36
Obrázek 23: Zapojení vývodů [21] .....	37
Obrázek 24: Programátor EmulUni.....	38
Obrázek 25: Schéma hlavní desky .....	41
Obrázek 26: Schéma dolní desky .....	43
Obrázek 27: Schéma přední desky .....	45
Obrázek 28: Zjednodušený vývojový diagram pro pohyb vpřed.....	46

Obrázek 29: Zjednodušený diagram podprogramu pro sledování čáry .....	47
Obrázek 30: Zjednodušený diagram podprogramu pro detekci a objíždění překážek .....	48
Obrázek 31: Rozmístění součástek na hlavní desce .....	58
Obrázek 32: Rozmístění součástek na přední desce .....	59
Obrázek 33: Rozmístění součástek dolní desky .....	60

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozpis součástek hlavní desky .....	58
Tabulka 3: Rozpis součástek přední desky .....	59
Tabulka 2: Rozpis součástek dolní desky .....	60

## SEZNAM ZKRATEK

MIT - Massachusetts Institute of Technology (MIT, Massachusettský technologický institut)

HW - hardwarově

SW – softwarově

IR – infračervený

PIR – passive infrared

CCD - Charged Coupled Device

CMOS - Complementary Metal Oxide Semiconductor

JSA – jazyk symbolických adres

F – frekvence kroku

$\alpha$  – úhel kroku

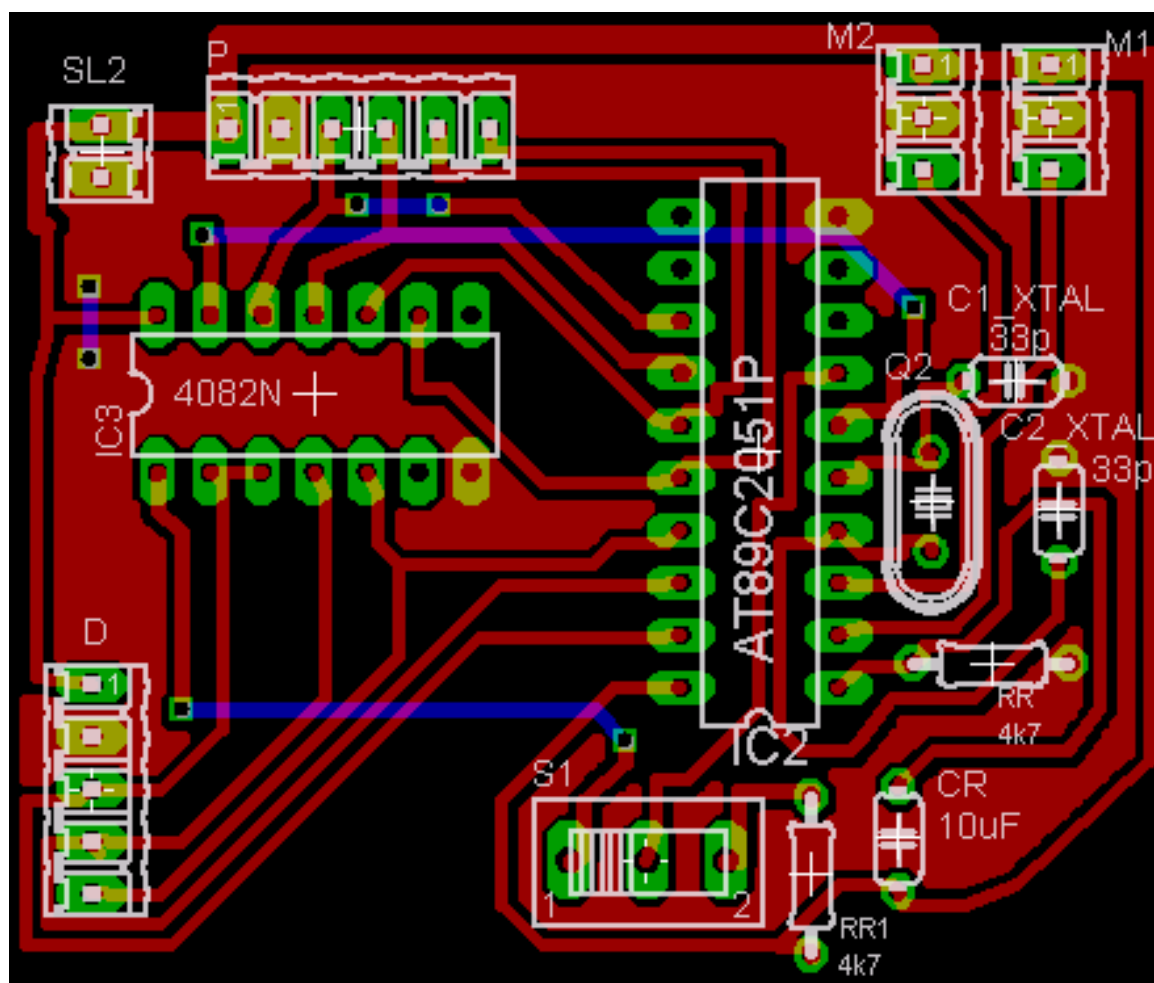


## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Hlavní deska.....	58
Příloha 2: Přední deska.....	59
Příloha 3: Spodní deska.....	60
Příloha 4: Ovládací program.....	61

## Příloha 1: Hlavní deska

Rozmístění součástek na hlavní desce jsem volil tak, aby rozměr desky nepřesáhl 5cm x 5cm. Z tohoto důvodu jsem byl nucen použít na desce čtyři drátové propojky. Samozřejmě bylo možné použít dvoustranný plošný spoj, ale to by zbytečně prodražilo stavbu robota. Drátové propojky jsou na obrázku znázorněny modře.

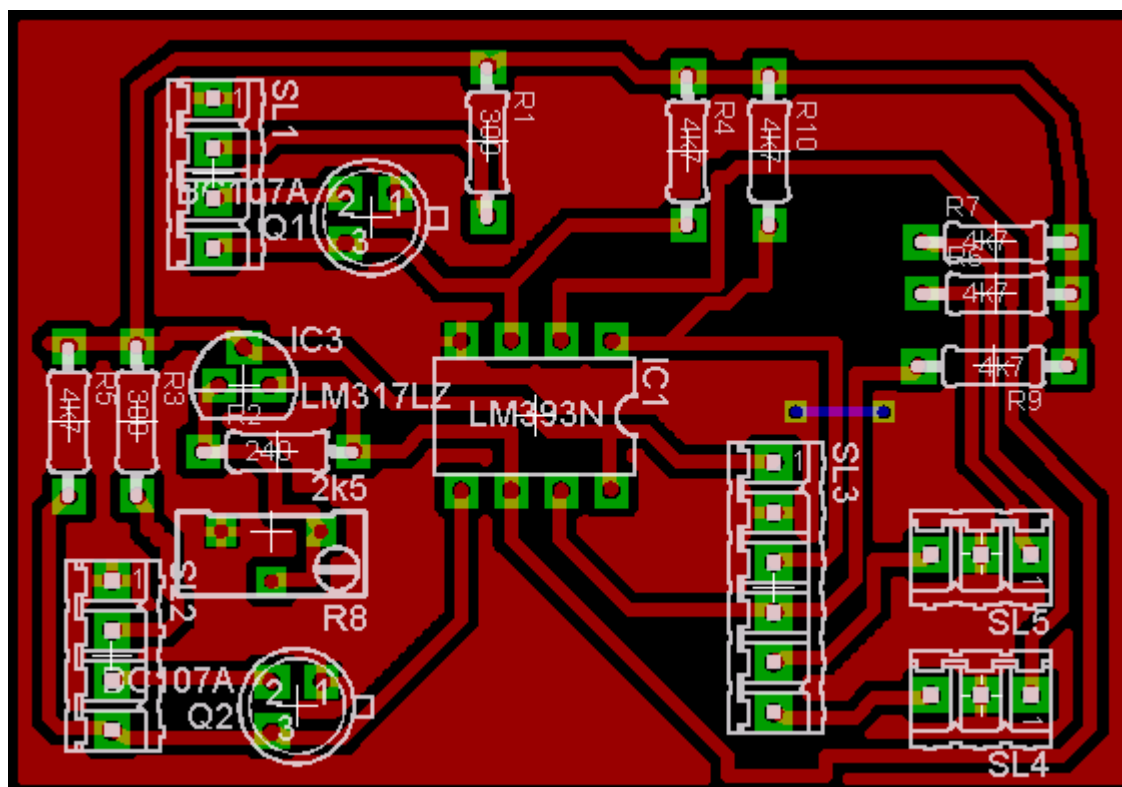


Obrázek 31: Rozmístění součástek na hlavní desce

Název	Hodnota	Pouzdro	Název	Hodnota	Pouzdro
C1_XTAL	33pF	C050 - 024x044	SL2	konektor	2 piny
C2_XTAL	33pF	C050 - 024x044	D	konektor	5 pinů
CR	10uF	C050 - 024x044	P	konektor	6 pinů
RR	4k7	0204/7	M1	konektor	3 piny
R1	4k7	0204/7	M2	konektor	3 piny
S1	přepínač		IC2	AT89C2051	DIL 20
Q2	krystal	HC47/s	IC3	4082N	DIL 14

Tabulka 1: Rozpis součástek hlavní desky

## Příloha 2: Přední deska



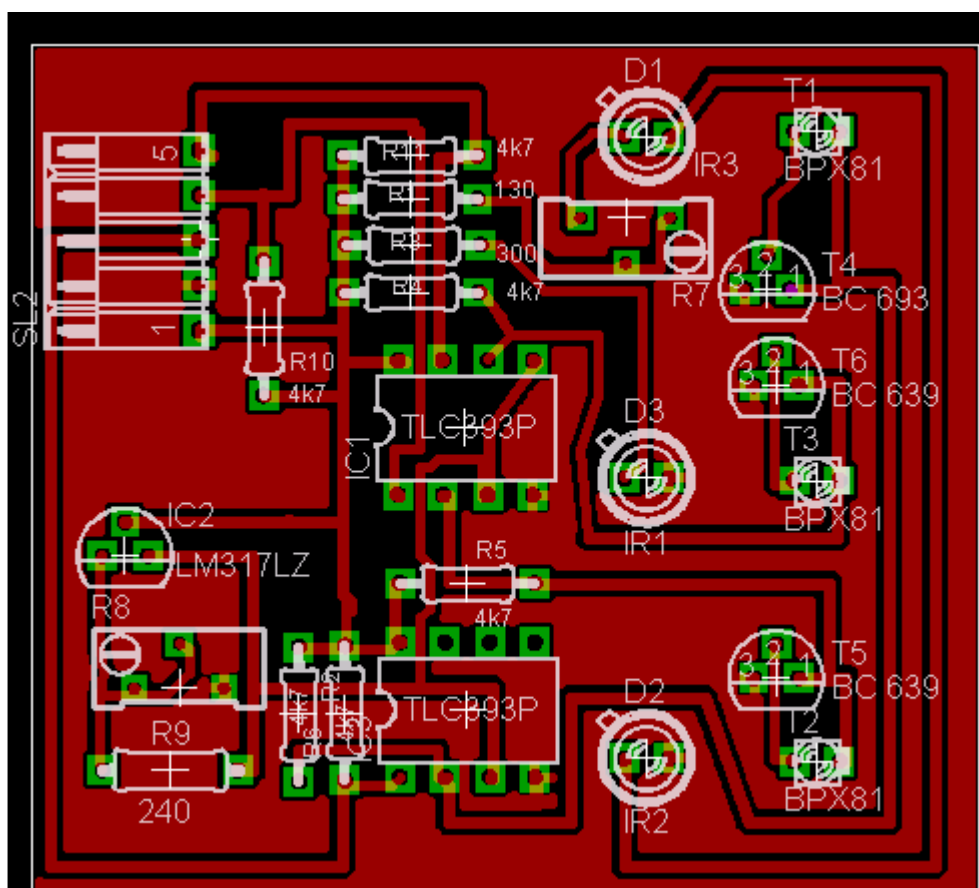
Obrázek 32: Rozmístění součástek na přední desce

Název	Hodnota	Pouzdro	Název	Hodnota	Pouzdro
IR čidlo	QRB1114		R5	4k7	0204/7
IR čidlo	QRB1114		R6	4k7	0204/7
IC1	LM393N	DIL8	R7	4k7	0204/7
IC3	LM317LZ	TO92	R8	2k5	Trimr
Q1	BC 639	TO92	R9	4k7	0204/7
Q2	BC 639	TO92	R10	4k7	0204/7
R1	300	0204/7	SL1	konektor	4 piny
R2	240	0204/7	SL2	konektor	4 piny
R3	300	0204/7	SL3	konektor	6 pinů
R4	4k7	0204/7	SL4	konektor	3 piny
			SL5	konektor	3 piny

Tabulka 2: Rozpis součástek přední desky

## Příloha 3: Spodní deska

Deska je navrhována na rozměr 55mm x 50mm. Díky těmto rozměrům je ji možno umístit mezi servomotory robota. Na desce jsou senzory zobrazeny jako samostatné IR diody a IR tranzistor. Ve skutečnosti jsou ale v jednom pouzdře.



Obrázek 33: Rozmístění součástek dolní desky

Název	Hodnota	Pouzdro	Název	Hodnota	Pouzdro
IR čidlo	QRB1114		R6	4k7	0204/7
IR čidlo	QRB1114		R7		100 RTRIM64Y
IR čidlo	QRB1114		R8	2k5	RTRIM64Y
IC1	TLC393P	DIL 08	R9		240 0204/7
IC2	LM317LZ	T092	R10	4k7	0204/7
IC3	TLC393P	DIL 08	R11	4k7	0204/7
R1		130 0204/7	T1	BC 639	T092
R2	4k7	0204/7	T2	BC 639	T092
R3		300 0204/7	T3	BC 639	T092
R4	4k7	0204/7	SL2	konektor	5 pinů
R5	4k7	0204/7			

Tabulka 3: Rozpis součástek dolní desky

## Příloha 4: Ovládací program

;nastaveni vektorů přerušení, priority, reakce na sestupnou hranu u vnějšího přerušení 0

org 0H

    jmp hl

org 3H

    jmp prekazka

org 13H

    jmp cara

org 33H

    jmp start

hl:    mov IE, #10000101b  
        mov IP, #00000001b  
        mov tcon, #00000000b

;\*\*\*hlavni program, kontinuální pohyb vpřed\*\*\*

start:

    setb p3.0  
    setb p3.1  
    call del  
    clr p3.0  
    call del  
    clr p3.1  
    call dell  
    jmp start

;\*\*\*\*\*pohyb vzad\*\*\*\*\*

vzad:  mov r2, #20  
back:  setb p3.1  
        setb p3.0  
        call del  
        clr p3.1  
        call del  
        clr p3.0  
        call dell  
        djnz r2, back  
        ret

;\*\*\*\*\*100 kroku vpřed \*\*\*\*\*

```
rovne: mov r2,#50
rov:   setb p3.0
       setb p3.1
       call del
       clr p3.0
       call del
       clr p3.1
       call dell
       djnz r2,rov
       ret
```

```
;*****otoceni 90° vlevo*****
```

```
vlevo:   mov r2, #40
left:    mov p3,#00000011b
         call del
         call del
         mov p3,#00000000b
         call dell
         djnz r2,left
         ret
```

```
;*****otoceni 90° vpravo*****
```

```
vpravo:   mov r2, #42
right:    mov p3,#00000011b
         call del
         mov p3,#00000000b
         call dell
         djnz r2,right
         ret
```

```
;*****spozdeni cca 19ms*****
```

```
dell:   mov r3, #190
fill4:  mov r4, #50
        djnz r4,$
        djnz r3,fill4

        ret
```

```
;*****spozdeni cca 1ms*****
```

```
del:   mov r5, #100
fill6:  mov r6, #5
        djnz r6,$
        djnz r5,fill6
```

ret

;\*\*\*\*\*obsluha preruseni 1\*\*\*\*\*

cara: mov IP, #00000001b  
jnb p1.6,prabre  
jmp levbre

;\*\*\*\*\*pibrzdeni praveho kola\*\*\*\*\*

prabre: jnb p1.7,vpred  
setb p3.1  
clr p3.0  
call del  
call del  
clr p3.1  
call dell  
reti

;\*\*\*\*\*pibrzdeni leveho kola\*\*\*\*\*

levbre: jnb p1.6,vpred  
setb p3.0  
clr p3.1  
call del  
clr p3.0  
call dell  
reti

;\*\*\*\*\*jeden krok v pred \*\*\*\*\*

vpred: setb p3.0  
setb p3.1  
call del  
clr p3.0  
call del  
clr p3.1  
call dell  
reti

;\*\*\*\*\*obsluha preruseni 0\*\*\*\*\*

prekazka: pop 1H  
setb p3.2  
jnb P1.1, pracid

```
jnb p1.2, levcid
jnb p1.3, praspin
jnb p1.4, levspin
push 33H
reti
;*****překážka zaznamenána pravým spínačem***
praspin:  call vzad
          call vpravo
          call rovne
          call vlevo
          call rovne
          call vlevo
          call rovne
          call vpravo
          mov IP,#00000100b
          push 33H
          reti
;*****překážka zaznamenána pravým IRčidlem***
pracid:  call vlevo
          call rovne
          call vpravo
          call rovne
          call vpravo
          call rovne
          call vlevo
          mov IP,#00000100b
          push 33H
          reti
;*****překážka zaznamenána levým IRčidlem***
levcid:  call vpravo
          call rovne
          call vlevo
          call rovne
          call vlevo
          call rovne
          call vpravo
          mov IP,#00000100b
          push 33H
          reti
;*****překážka zaznamenána levým spínačem***
levspin: call vzad
          call vlevo
          call rovne
          call vpravo
          call rovne
          call vpravo
          call rovne
          call vlevo
```



```
mov IP,#00000100b  
push 33H  
reti
```

```
end
```