

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Diferenciálně řízený podvozek robota se servopohony
a základní odometrií

David Cvrk

Bakalářská práce
2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: David CVRK
Osobní číslo: I08214
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Komunikační a mikroprocesorová technika
Název tématu: Diferenciálně řízený podvozek robota se servopohony
a základní odometrií
Zadávací katedra: Katedra elektrotechniky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úkolem je vytvoření diferenciálně řízeného podvozku se servopohony, schopného základního odhadu polohy v závislosti na počtu otáček hnaných kol.

Teoretická část bude obsahovat přehled použitelných motorů pro podvozek malého robota, metody řízení DC motoru, měření otáček motoru. Popis jednoduchého určení polohy se znalostí průběhu otáčení kol.

Praktická část bude potom obsahovat návrh elektroniky pro řízení dvou motorů podle volby (doporučuji DC motor s enkodérem) realizovaném na mikroprocesoru. Řídící jednotka bude autonomní zařízení ovladatelné po I2C případně SPI sběrnici schopná řídit otáčky motorů a schopná přibližného výpočtu polohy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

http://www.uzimex.cz/soubory/20070103_maxon_serial.pdf

<http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-1-cast-typy-motoru>

<http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-2-cast-spinaci-mustky-jejich-pripojeni-k-mcu>

<http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-3-cast-ridici-algoritmy-regulace-s-mcu>

ŠULC B.; VÍTEČKOVÁ M.; Teorie a praxe návrhů regulačních obvodů, ČVUT, ISBN 80-01-03007-5

Mobilní roboty Novák P.; BEN - technická literatura, 2005, ISBN: 80-7300-141-1

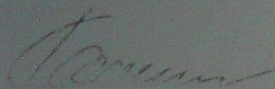
www.robotika.cz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. prosince 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 13. května 2011



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 8. 2011

David Cvrk

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Rozsivalovi za pomoc při tvorbě bakalářské práce a své rodině.

Anotace

Tato práce popisuje různé druhy motorů, které se dají použít pro pohon robota a způsoby řízení DC motorů. Dále popisuje návrh elektroniky pro realizaci diferenciálně řízeného podvozku robota se základní odometrií, který bude schopen základního odhadu polohy v závislosti na počtu otáček hnaných kol.

Klíčová slova

DC motor, odometrie, diferenciálně řízený podvozek

Title

Differential gear-driven robot with actuators and basic odometry.

Annotation

This work describes the various types of motors that can be used to drive the robot and ways of control the DC motors. Also describes proposal of electronics for the implementation differential gear-driven robot with basic odometry that will be able to estimate the basic position depending on the number of turns of the drive wheels.

Keywords

DC motor, odometry, differential gear-driven robot

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
1 Úvodní informace	10
2 Použitelné motory pro mobilní roboty	11
2.1 Stejnoseměrný komutátorový motor	11
2.2 Stejnoseměrný BLDC motor	12
2.3 Krokový motor	12
2.4 Střídavý třífázový motor	12
2.5 Střídavý jednofázový motor	13
2.6 Reakční motor	13
3 Metody řízení DC motoru	14
3.1 Řízení bez zpětné vazby	14
3.2 Řízení se zpětnou vazbou	15
3.2.1 Proporcionální řízení	15
3.2.2 Vylepšení proporcionálního řízení	16
3.2.3 Přidání integrační složky	17
4 Měření otáček motoru	19
4.1 Inkrementační enkodér	19
4.2 Absolutní enkodér	21
4.3 Otáčkoměry	22
5 Popis jednoduchého určení polohy se znalostí průběhu otáčení kol	23
5.1 Auto	23
5.2 Tank	24
5.3 Všesměrový	26
6 Servopohon	28
6.1 Motor	28
6.2 Mikroprocesor	28
6.3 I2C sběrnice	28
6.4 H-můstek	28
6.5 Návrh servopohonu	28
6.6 Realizace podvozku	31

7 Závěr.....	32
Literatura.....	33

Seznam zkratek

DC	Direct current
BLDC	Brushless direct current
PWM	pulse width modulation
LED	Light-Emitting Diode

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Stejnoseměrný komutátorový motor (VOJÁČEK, 2008).....	11
Obrázek 2 - Řízení zpětné vazby	14
Obrázek 3 - Řízení se zpětnou vazbou.....	15
Obrázek 4 – Proporcionální řízení (WINKLER, 2007)	16
Obrázek 5 – Vylepšení proporcionálního řízení (WINKLER, 2007).....	17
Obrázek 6 – Přidání integrační složky (WINKLER, 2007)	18
Obrázek 7 - Signál z jednoduchého enkodéru (DLOUHÝ, a další, 2007).....	19
Obrázek 8 - Signál z dvojitého enkodéru (DLOUHÝ, a další, 2007).....	20
Obrázek 9 - Princip absolutního enkodéru (VOJÁČEK, 2006)	21
Obrázek 10 - Kódové kotouče absolutního enkodéru (VOJÁČEK, 2006)	21
Obrázek 11 - Model tříkolka (WINKLER, 2005)	23
Obrázek 12 - Model tank (WINKLER, 2005).....	25
Obrázek 13 - Všesměrový model (WINKLER, 2005).....	26
Obrázek 14 - Schéma výkonové části.....	29
Obrázek 15 - Deska výkonové části	29
Obrázek 16 – Schéma řídicí části	30
Obrázek 17 – Deska řídicí části.....	30
Obrázek 18 - Testovací aplikace	31

1 Úvodní informace

Mým cílem bylo vytvoření diferenciálně řízeného podvozku se servopohony, který bude schopný základního odhadu polohy v závislosti na počtu otáček hnaných kol.

Nejdříve jsem se seznámil s různými typy použitelných motorů pro podvozek malého robota, a jejich řízením. Po prostudování této problematiky jsem se rozhodl použít pro pohon robota stejnosměrné motory. Aby byl robot schopný základního odhadu polohy vybral jsem si DC motory, které mají v sobě navíc zabudované enkodéry, pomocí kterých zjistím počet otáček kol. Motory bude řídit pomocí PWM pulsů mikroprocesor Atmega48.

V první kapitole bakalářská práce jsou popsány principy a základní charakteristiky motorů, které se dají využít pro mobilní roboty. Ve druhé kapitole nalezneme metody řízení stejnosměrných motorů pomocí zpětné vazby i bez ní. Třetí kapitola popisuje, jak lze zjistit počet otáček motoru pomocí inkrementačního enkodéru, absolutního enkodéru nebo pomocí otáčkoměrů a na jakém principu tyto součástky fungují. Poslední kapitola je věnována tomu, jak je možné určit polohu robota pomocí znalostí otáček kol pro odometrické modely auta, diferenciálního a všesměrového robota. Závěr práce je věnován praktickému řešení servopohonu a diferenciálnímu řízení podvozku.

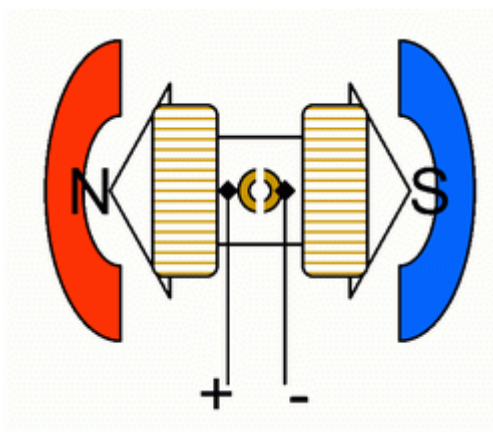
2 Použitelné motory pro mobilní roboty

Za dobu, od vzniku prvního elektromotoru, bylo vynalezeno a využíváno mnoho různých principů jeho provedení. Nejpoužívanějšími typy motorů pro mobilní roboty jsou krokové a stejnosměrné motory. V této kapitole se s nimi a ještě s dalšími typy seznámíme.

2.1 Stejnosměrný komutátorový motor

Stejnosměrný komutátorový motor je poměrně často používaným typem motoru v oblasti pohonu mobilních robotů.

Skládá ze statoru tvořeného permanentním magnetem a rotoru ve formě elektromagnetů navinutých okolo pólových nástavců. Jeho princip je založen na periodickém střídavém přepínání polarity napájecího stejnosměrného proudu na komutátoru po každém otočení o 180° . Aby se minimalizovala možnost zaseknutí motoru v okamžiku změny polarity, je rotor nejčastěji tvořen třemi magnety.



Obrázek 1 - Stejnosměrný komutátorový motor (VOJÁČEK, 2008)

Výhodou tohoto typu motoru je velice příznivý poměr hmotnost/výkon, relativně snadné řízení otáček. Výhodná je i jeho cena a široká nabídka těchto motorů na trhu. Nevýhodou je složitější rychlostní a zejména polohové řízení oproti krokovému motoru. Stejnosměrný motor obvykle pracuje na vysokých otáčkách a to je pro mobilní roboty nevýhodou. Tento problém lze odstranit použitím převodovky, která je v některých motorech přímo zabudovaná.

2.2 Stejnosměrný BLDC motor

BLDC neboli bezkartáčový stejnosměrný motor patří do kategorie stejnosměrných motorů, ale svoji strukturou je podobný třífázovému synchronnímu motoru. Tento motor nelze napájet přímo ze stejnosměrného zdroje, ale je nutné provádět jeho spínání.

BLDC motor se skládá ze statoru a rotoru. Stator je obvykle tvořený třemi budícími vinutími zapojenými do hvězdy. Menší motory mohou obsahovat pouze dvě vinutí, přičemž stejnoměrné napájecí napětí se střídavě připojuje ke dvěma ze tří vinutí nebo se celé připojí k jednomu a na zbylá dvě vinutí se připojí polovina napětí. Rotor se skládá z permanentních magnetů a může být ve vnitřním, vnějším nebo paralelním zapojením.

2.3 Krokový motor

Krokový motor je ve většině případů napájený impulsy stejnosměrného proudu. Pohyb rotoru je při nízkých rychlostech nespojitý. Rotor se pohybuje mezi polohami vždy v určitém úhlu. Počet stabilních klidových poloh (kroků) je dán počtem pólů dvoje.

Princip krokového motoru spočívá v tom, že v cínce statoru vytvoříme magnetické pole pomocí tekoucího proudu. Toto pole pak přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Rotujícího magnetického pole, které způsobí otáčení rotoru, dosáhneme vhodným zapojením cívek. Přesnost krokování ovlivňuje počet pólů v rotoru. Krokové motory rozlišujeme podle jejich konstrukce na bipolární a unipolární.

U bipolárního krokového motoru je stator podobný jako u BLDC, ale obsahuje nejčastěji pouze dvě vinutí. Rotor se skládá z ornamentních magnetů, které jsou přitahovány póly statorového vinutí.

Unipolární krokový motor se skládá ze šesti vodičů a v případě, že použijeme jeden společný vodič místo tří, je složen jenom ze čtyř. Tato varianta neumožňuje reverzaci, ale pouze dopředný chod daný vždy napájením jednoho vodiče každého páru.

Krokové motory se používají v případech, kde potřebujeme přesně nastavit směr natočení a i přes působící síly tuto polohu udržet, například souřadnicové zapisovače nebo počítačem řízené obráběcí zdroje. Vyznačují se velkou mechanickou odolností, dlouhou dobou života a téměř bezúdržbovým provozem. Mezi nevýhody řadíme trhaný chod motoru, trvalý odběr proudu, i když se motor netočí, poměr výkonu vůči hmotnosti a cenu, která je ve srovnání s DC motory vyšší.

2.4 Střídavý třífázový motor

Střídavé třífázové motory obsahují stator, který je tvořen ze tří pevných budících vinutí, které jsou napájeny napětím nebo proudem. Jednotlivá vinutí mají mezi sebou

pootočenou fází o 120° , čímž se vytvoří točivé magnetické pole. Tyto motory dělíme podle provedení rotoru na dva základní typy- synchronní a asynchronní.

U synchronního motoru se rotor skládá z ornamentních magnetů, nebo z kartáčů, které jsou neustále napájeny elektromagnety. Pohyb rotoru závisí na točivém magnetickém poli statoru. Rychlost otáčení statoru ovlivňujeme změnou frekvence.

Druhým typem je asynchronní motor. Ten má oproti synchronnímu, rotor tvořený tyčovou klecí spojenou nakrátko, říkáme mu rotor s kotvou nakrátko, anglicky squirrel cage. Státorem tvořené proměnné magnetické pole indukuje v kleci proud, a tím vznikne vlastní magnetické pole. Pole rotoru a statoru se navzájem odpuzují, a způsobí, že se rotor otáčí. Stejně jako u synchronního motoru se rychlost otáčení řídí změnou frekvence.

2.5 Střídavý jednofázový motor

Jak už název napovídá, jedná se o motor, který napájí jen jedna fáze napětí. Aby se tento motor rozběhl, musí být doplněn o pomocné, tzv. rozběhové vinutí. Tyto motory se vyrábějí nejčastěji ve dvou provedeních, které se liší tím, jaké je použito rozběhové vinutí.

Prvnímu provedení říkáme motor se stínovým polem. U tohoto typu se tvoří pomocné vinutí jednoduchými měděnými smyčkami, které vytvářejí fázové zpoždění. Pozice fázového zpoždění určuje směr otáčení. Tento motor je vhodné kvůli jeho nízkému točivému momentu použít jen tam, kde bude zatížen malou zátěží.

Druhý typ střídavého jednofázového motoru nazýváme motor s rozběhovou fází. U tohoto typu vytváří potřebné fázové zpoždění pomocné vinutí, které je k hlavnímu připojeno přes kondenzátor.

Jelikož jsou tyto motory buzeny pouze jednou fází, jejich chod je někdy nepravidelný. Další nepříjemnou vlastností je to, že se hůře rozbíhají a že se více zahřívají. Rychlost otáčení nastavujeme pomocí frekvence budícího napětí.

2.6 Reakční motor

Reakční motor je kombinací BLDC a unipolárního krokového motoru. Stejně jako krokový motor má rotor pólové nástavce, které jsou tvořené silnými magnety, ale jejich počet je výrazně menší. Stator se skládá ze tří oddělených vinutí, které jsou buzeny pouze v jednom směru. Indukce je skoro lineární a má minimální hodnotu, když pól rotoru je od vinutí nejdále a maximální hodnota nastává v případě, když se je pól nejbližší k vinutí. K zajištění hladkého chodu potřebujeme zpětnou vazbu.

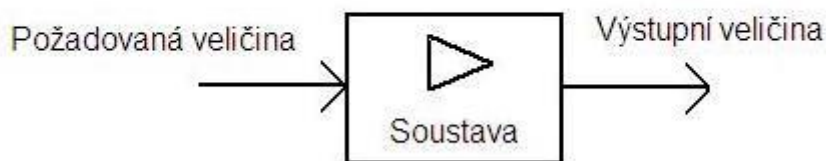
3 Metody řízení DC motoru

Abychom mohli robota řídit, potřebujeme informace z enkodéru, který je zabudovaný do servomotoru. Řídit rychlost pohybu robota budeme pomocí PWM pulsů, kdy průměrná hodnota napětí je dána vzájemným poměrem četností stavů zapnuto a vypnuto.

Metody řízení DC motor můžeme rozdělit podle toho, jestli používáme zpětnou vazbu nebo ne.

3.1 Řízení bez zpětné vazby

Řízení bez zpětné vazby se používá pro nenáročnou regulaci motoru. Výhodou je, že teoreticky nepotřebujeme enkodéry, ani další jiné senzory, které zpětně kontrolují skutečné otáčky motoru.



Obrázek 2 - Řízení zpětné vazby

Principiálně můžeme předpokládat, že pro pohyb robota nám stačí rovnice:

$$\text{pulse_width} = (\text{max_width} + \text{min_width})/2 + \text{req_speed}/\text{max_speed}$$

kde :

pulse_width - je šířka pulzu

min_width - je minimální šířka pulzu

max_width - je maximální šířka pulzu

req_speed - je požadovaná rychlost

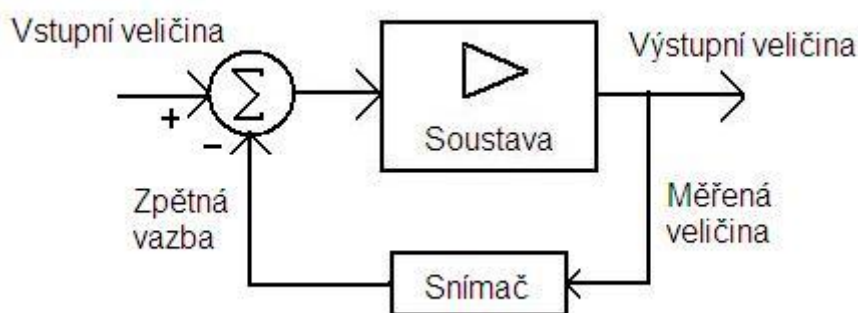
max_speed - je maximální rychlost

Pomocí informace o maximální rychlosti otáček motoru můžeme vypočítat, jak široká bude šířka pulsu, aby se motor otáčel požadovanou rychlostí. Má to ale několik problémů. Prvním je, že maximální rychlost otáček není konstanta a mění se pro každý typ servomotoru. Závisí na hmotnosti robota, na kvalitě povrchu, po kterém se robot pohybuje, na kterou stranu se motor otáčí a na spoustě dalších okolností. Kvůli tomuto problému nemůžeme považovat hodnotu `max_speed` za konstantu a z tohoto důvodu není naše rovnice moc přesná.

Druhým problémem je skutečnost, že náš výpočet předpokládá lineární závislost šířky pulsu a rychlosti pohybu robota. My ale víme, že je tento předpoklad chybný a servomotor lze řídit pomocí šířky pulsu pouze v celkem úzké oblasti.

3.2 Řízení se zpětnou vazbou

Pro řízení se zpětnou vazbou budeme potřebovat informace o aktuální rychlosti pohybu robota. Ty získáme z enkodéru, který může být zabudovaný do motoru robota. Pomocí těchto informací budeme dodatečně upravovat šířku impulzu tak, aby se robot pohyboval požadovanou rychlostí.



Obrázek 3 - Řízení se zpětnou vazbou

3.2.1 Proporcionální řízení

První možností jak řídit robota s pomocí zpětné vazby vychází z myšlenky, že čím je momentální rychlost menší než požadovaná, tím víc zvětšíme šířku impulzu. V momentě, kdy se obě rychlosti sobě rovnají, pulz dále neměníme.

Pro tento způsob řízení použijeme následující vztahy:

$$e = \text{req_speed} - \text{cur_speed}$$

$$\text{pulse_width} += x * e$$

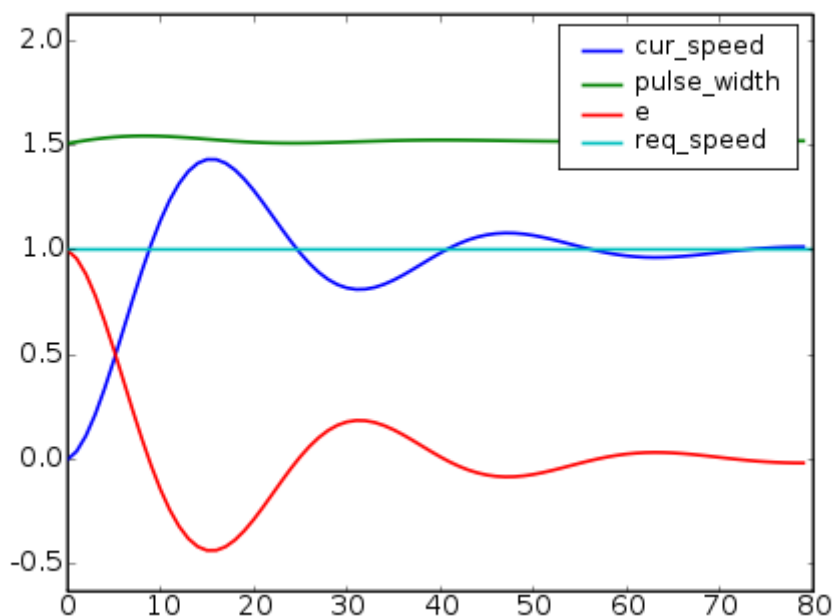
kde:

e - je regulační odchylka

cur_speed - je momentální rychlost

x - je vhodně zvolená konstanta

Oproti předchozímu vztahu má tento způsob řízení tu výhodu, že nepoužívá hodnotu maximální rychlosti, o které víme, že není konstantní a ovlivňuje ji spousta faktorů. Ale i tento vztah počítá s lineární závislostí změny rychlosti na změně šířky pulzu.



Obrázek 4 – Proporcionální řízení (WINKLER, 2007)

Chování tohoto regulátoru je znázorněno na obrázku. Vidíme, že momentální rychlost neustále zakmitává okolo požadované rychlosti.

3.2.2 Vylepšení proporcionálního řízení

Nežádoucího zakmitávání momentální rychlosti okolo požadované rychlosti se pokusíme zbavit přidáním dalšího členu do předchozí rovnice. Tento člen bude udávat, jak rychle se mění aktuální rychlost. Výsledkem bude to, že se bude momentální rychlost měnit pomaleji, čím bude blíže rychlosti požadované a nebude docházet k překmitům.

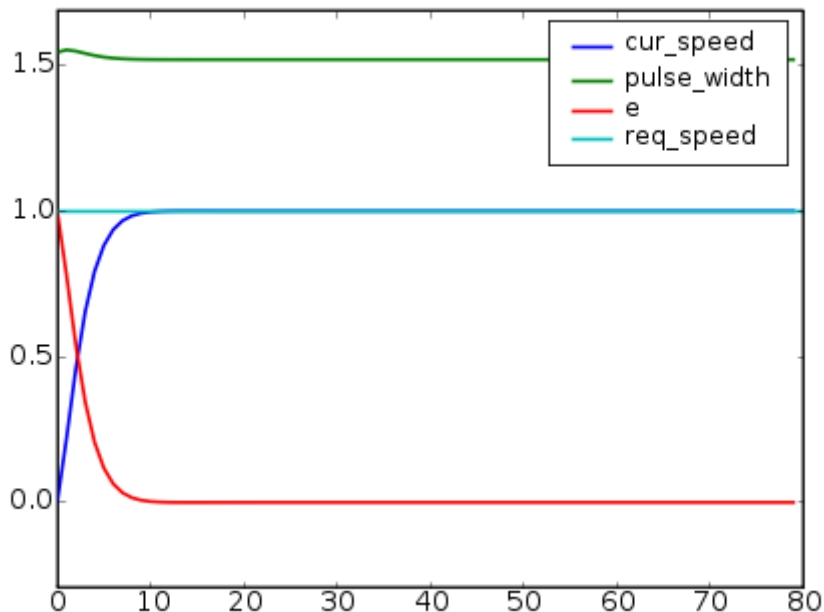
$$e = \text{req_speed} - \text{cur_speed}$$

$$\text{pulse_width} += x * e - Y * (\text{cur_speed} - \text{last_speed})$$

kde: last_speed – je rychlost v minulém kroku

Y – je konstanta

Chování regulátoru bude takové, že jestliže bude první člen v rovnici ($x*e$) větší než druhý člen ($Y*(\text{cur_speed} - \text{last_speed})$), výkon poroste. Pakliže bude druhý člen větší než první, a aktuální odchylka bude minimální, výkon začne pozvolna klesat. Tento okamžik, od kdy začne výkon motoru klesat, nastavíme pomocí konstant X a Y .



Obrázek 5 – Vylepšení proporcionálního řízení (WINKLER, 2007)

Chování tohoto vylepšeného regulátoru vidíme na obrázku. Přidáním druhého členu do rovnice z předchozího regulátoru jsme skutečně zabránili překmitům aktuální rychlosti okolo požadované rychlosti. Tento regulátor bude mít také rychlejší reakci na změnu požadované rychlosti, protože díky druhému členu rovnice můžeme zvětšit konstantu X .

3.2.3 Přidání integrační složky

Tento způsob se od předchozích možností řízení robota liší v tom, že místo postupného upravování šířky impulsu ji spočítá přímo. Základem bude vzorec z předchozího způsobu, který rozdělíme do dvou částí. Jedna část se bude obsahovat

aktuální odchylky a druhá se bude skládat z hodnot minulých odchylek. Výsledná šířka impulsu bude součtem obou odchylek a vzorec pro její výpočet bude vypadat takto:

$$\text{pulse_width} = X * (e_1 + e_2 + e_3 + \dots e_{(n-1)}) + Z * e_n$$

Díky tomuto rozdělení můžeme snadno nastavit, jakým poměrem se budou na šířce impulsu podílet odchylky z minulých kroků a aktuální odchylka. Celý upravený výpočet bude vypadat následovně:

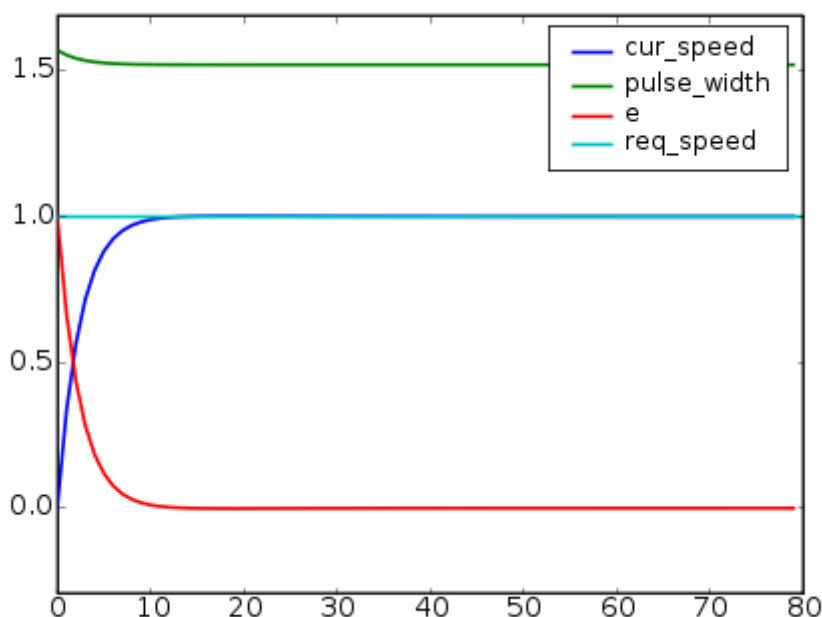
$$e = \text{req_speed} - \text{cur_speed}$$

$$\text{pulse_width} = X * \text{sum_e} + Z * e_n$$

$$\text{sum_e} += e$$

kde: sum_e – je součet předchozích odchylek

Z – je konstanta



Obrázek 6 – Přidání integrační složky (WINKLER, 2007)

Při použití tohoto způsobu řízení motorů budeme schopni pružně reagovat na změny požadované rychlosti bez toho, aby docházelo k záskmitům.

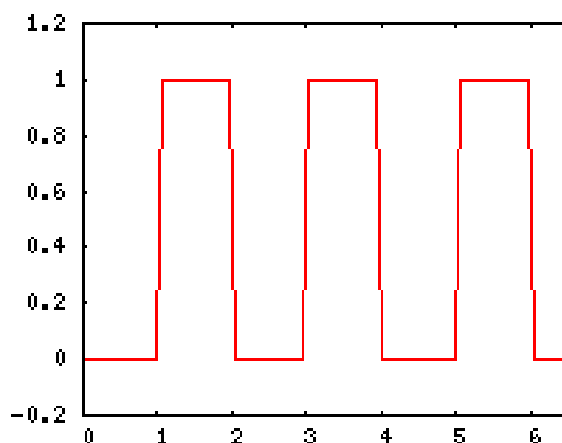
4 Měření otáček motoru

Pro měření otáček motoru nebo pro přesné nastavení polohy se nejčastěji používají enkodéry, které podle metody měření natočení rozdělujeme na dva základní typy. A těmi jsou inkrementační (přírůstkové) a absolutní enkodéry. Další možností je použití otáčkoměrů.

4.1 Inkrementační enkodér

Inkrementační, neboli přírůstkové enkodéry převádějí rotační pohyb na elektrický signál. Vyznačují se vysokou rozlišovací schopností, nízkou cenou a malými rozměry.

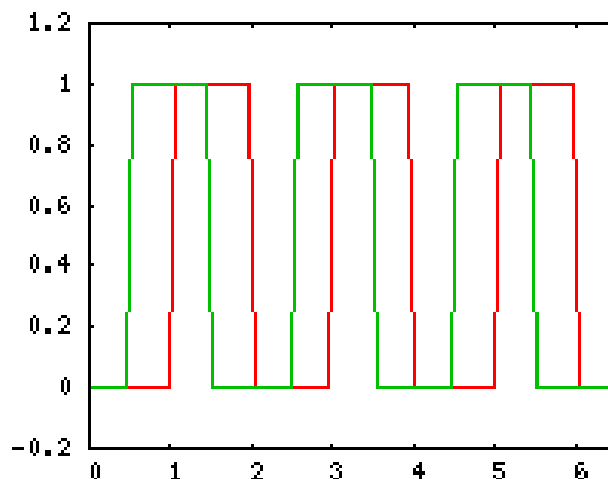
Princip činnosti je založen na otáčivém mezikruží, které obsahuje průhledné a neprůhledné rysky. Tyto rysky při otáčení střídavě propouští a nepropouští světlo ze zdroje světla (nejčastěji LED diody), která je umístěná na jedné straně mezikruží. Světlo, které projde skrze rysky je detekováno fototranzistorem, na kterém vyvolá odpovídající napětí, které bude mít obdelníkovou nebo impulsovou podobu. Fototranzistor je umístěn naproti LED diodě na opačné straně mezikruží. U většiny snímačů, je do optické cesty mezi fototranzistor a LED diodu zařazen ještě nepohyblivý maskovací kotouč s ryskami o stejných velikostech jako má pohyblivý kotouč.



Obrázek 7 - Signál z jednoduchého enkodéru (DLOUHÝ, a další, 2007)

Jestliže světlo prochází přes průhledné rysky pohyblivého kotouče, a jsou-li tyto rysky v zátritu s průhlednými ryskami nepohyblivého kotouče, dopadá na fotosenzor maximální světelný tok. Naopak kdyby byly v zákrytu průhledné rysky pohyblivého

kotouče s neprůhlednými u nepohyblivého, bude na fotosenzoru minimální světelný tok. Mezi těmito polohami se světelný tok uměrně mění podle toho, jak jsou posunuty oba kotouče.



Obrázek 8 - Signál z dvojitého enkodéru (DLOUHÝ, a další, 2007)

Pokud bychom chtěli rozlišit i směr, jakým se motor otáčí, musíme přidat na maskovací kotouč ještě druhý segment, který bude posunutý oproti ryskům prvního segmentu o úhel:

— —

Kde: α – je úhel posunutí segmentů na nepohyblivém kotouči

k – je celé číslo

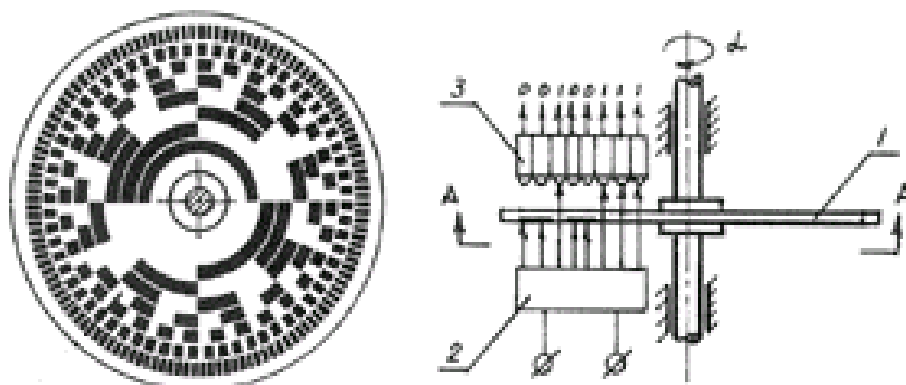
n – je počet rysek na otáčku

K druhému segmentu připojíme druhý fotosenzor, který bude snímat světelný tok, který je fázově posunutý oproti prvnímu. Signály z prvního a druhého fotosenzoru označujeme písmeny A a B. Informaci o změně směru otáčení zjistíme detekováním změny fáze signálů A a B.

Inkrementální enkodér můžeme vylepšit ještě o jednu průhlednou rysku na otáčivém kotouči, LED diodu a fotosenzor, který nám poskytne informaci o výchozí pozici a který bude generovat jeden pulz za otáčku. Tomuto signálu říkáme nulový nebo také referenční pulz. Tento pulz lze využít k najetí do referenční polohy, nebo také k detekování akumulované chyby polohy, kterou způsobují rušivé signály v rámci jednoho otočení.

4.2 Absolutní enkodér

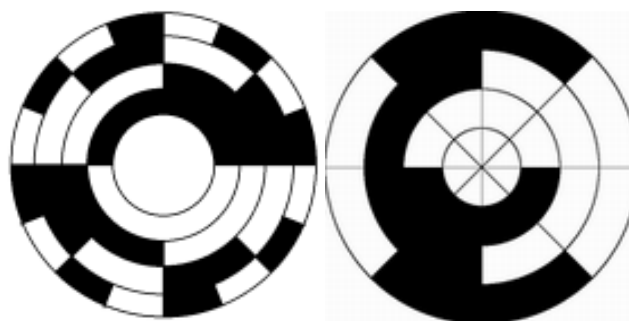
Absolutní enkodér používá jiný typ kódování než přírůstkový a zároveň potřebuje i větší počet snímacích prvků. Výhodou oproti inkrementálnímu enkodéru je, že výstupní hodnota udává i velikost natočení od 0° do 360° . Toho je dosaženo tak, že každému určitému úhlovému obsahu odpovídá určitá kombinace impulsů. Rozlišení tohoto enkodéru odpovídá počtu snímacích prvků.



Obrázek 9 - Princip absolutního enkodéru (VOJÁČEK, 2006)

Nejběžnější provedení absolutního enkodéru vidíme na obrázku. Na kotouči se nachází 8 paralelních drah, což znamená, že enkodér bude mít rozlišení 8 bitů. Na jedné straně kotouče se nachází zdroj světla a na druhé je pro každou z paralelních drah 1 snímací prvek. Informace o aktuálním natočení může vypadat například takto: 00101101.

Kódovací kotouče existují v několika provedeních. Na obrázku 10 jsou znázorněny dva typy. Vlevo vidíme kotouč s binárním kódováním. Ten je pro absolutní enkodér nevýhodný, protože je náchylný ke generování tzv. hazardních stavů. To znamená, že například při přechodu ze stavu 01 na stav 10 může být po krátkou dobu generovaný stav 00. Vznik hazardů může způsobit třeba nedokonalé provedení kolečka enkodéru, nebo optické jevy, jako jsou odraz a ohyb světla při průchodu světla od LED diody skrze kotouč do fotodiody. Pravděpodobnost vzniku hazardů se s rostoucím počtem bitů zvětšuje.



Obrázek 10 - Kódové kotouče absolutního enkodéru (VOJÁČEK, 2006)

Vpravo je znázorněn kotouč s Grayovým kódováním. Jeho výhodou oproti binárnímu je větší odolnost oproti chybám, protože kód ze sousedního stavu se liší maximálně v jednom bitu.

4.3 Otáčkoměry

Otáčkoměry jsou senzory používané pro měření rychlosti otáčení. Pro pohony, které jsou určeny pro roboty, nejčastěji používáme impulzní a indukční otáčkoměry.

Jako indukční otáčkoměry používáme nejčastěji provedení elektrodynamické. A ty se podle výstupního napětí rozlišují na tachodynamy pro stejnosměrné a na tachoalternátory pro střídavé napětí. Tachodynamo je vlastně malý, komutátorový motor, který obsahuje permanentní magnety a jeho výstupní napětí je přímo úměrné rychlosti. Důležitými hodnotami u tachodynamy je zvlnění napětí vlivem konečného počtu lamel komutátoru, moment setrvačnosti rotoru a tuhost spojení s motorem.

Impulzní otáčkoměry vyhodnocují frekvenci otáčení a polohu značky na kotouči. Nejčastěji se setkáváme s optickými a indukčními impulzními otáčkoměry.

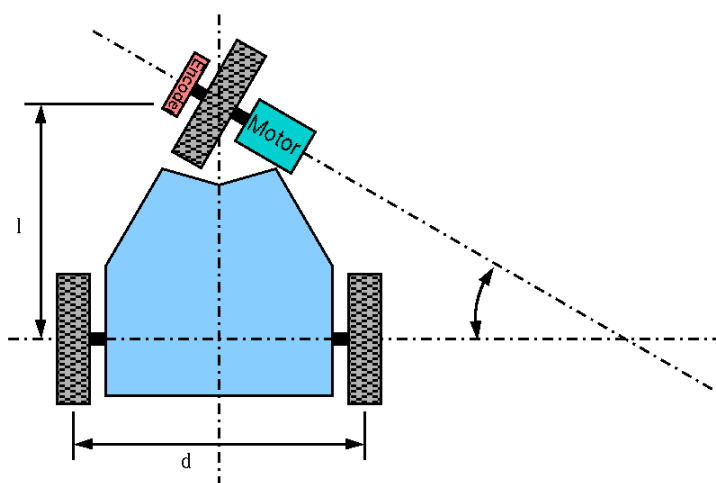
5 Popis jednoduchého určení polohy se znalostí průběhu otáčení kol

Nejjednodušším způsobem, jak určit polohu robota pomocí znalosti průběhu otáčení kol vychází z odometrie. Odometrie je vlastně proces, při kterém popisujeme přeměnu dat z pohybových senzorů na změnu polohy robota. Důležitým prvkem pro použití odometrie je znalost geometrického modelu robota. Většinu robotů rozdělujeme do tří základních kategorií, které jsou auto, tank a všesměrový. Tyto kategorie se od sebe liší podle toho, jakého pohybu jsou roboti schopni.

5.1 Auto

Do této kategorie patří roboti, kteří se nedokážou otáčet na místě. Tito roboti se pohybují tak, že směr pohybu mění natočením příslušné nápravy, která se může otáčet dopředu nebo dozadu.

Určení polohy u odometrie typu auto si pro zjednodušení ukážeme na tříkolce. Tříkolka má jedno říditelné kolečko, kterým určuje směr pohybu a dvě pevná kolečka na společné nápravě.



Obrázek 11 - Model tříkolka (WINKLER, 2005)

Tříkolka se dokáže pohybovat buď po přímce, nebo po kružnici. Po přímce se pohybuje v případě, že je pohyblivé kolečko natočeno rovnoběžně s osou tříkolky. Jestliže je kolečko natočeno jinak než rovnoběžně s osou, pohybuje se tříkolka po kružnici.

Abychom byli schopni určit změnu polohy, potřebujeme znát orientaci pohyblivého kolečka a také jakou ujelo vzdálenost. Jako referenční bod tříkolky si zvolíme střed nápravy pevných kol. Jestliže se bude pohybovat po kružnici, budou dalšími údaji, které potřebujeme znát poloměr kružnice a střed kružnice. Jak vidíme na obrázku 11, bude se střed kružnice nacházet na ose pevné nápravy a jestli bude na levé nebo na pravé straně, je dáno tím, jakým směrem bude pootočeno pohyblivé kolečko. Poloměr kružnice R je dán vztahem:

Kde: R – je poloměr kružnice

L – je vzdálenost náprav

ω – je úhel natočení

Jestliže po této kružnici s poloměrem R urazí tříkolka úhel θ , který vypočítáme vztahem:

Kde:

- je úhel, který ujela tříkolka po kružnici

dF – je vzdálenost ujetá otáčejícím kolečkem

Pak se bude změna pozice $[x,y]$ rovnat:

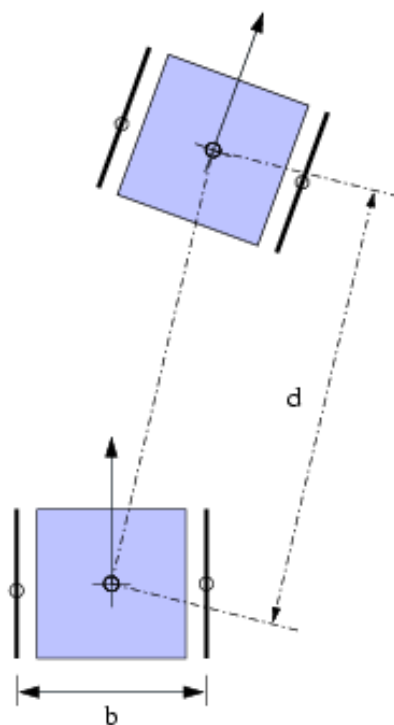
Kde:

dx – je změna pozice na ose x

dy – je změna pozice na ose y

5.2 Tank

Tank, nebo diferenciálně řízený model je schopný se otáčet na místě kolem své osy a je schopný pohybu vpřed nebo vzad. Pohání ho dvě na sobě nezávislá kola či nápravy. V případě, že se obě točí ve stejném směru a stejnou rychlostí, pohybuje se tento model rovně. Jestliže se budou pohybovat navzájem opačným směrem a stejnou rychlostí, model se bude točit na místě. Střed otáčení se nachází mezi nápravami a považujeme ho za referenční bod.



Obrázek 12 - Model tank (WINKLER, 2005)

Pokud se kola pohybují stejným směrem ale rozdílnou rychlostí, bude se model pohybovat po kružnici. Vzdálenost této kružnice od referenčního bodu můžeme vypočítat tímto vztahem:

- Kde: R - je poloměr kružnice
 b - je vzdálenost mezi nápravami
 v_L - je rychlost levého kola
 v_R - je rychlost pravého kola

Jestliže se model pohybuje, a pravé kolečko ujede vzdálenost d_R a levé d_L změní se orientace o úhel θ , který bude v radiánech a platí pro něj vztah:

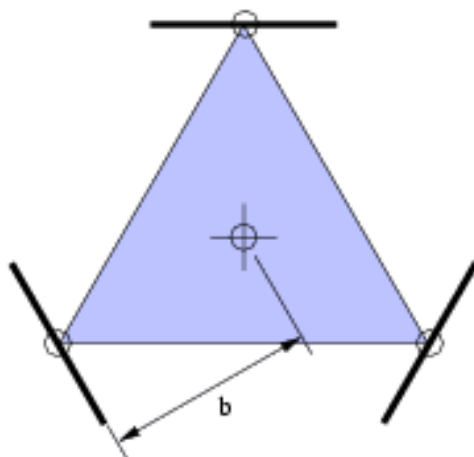
- Kde: θ - je úhel, o který se model natočil
 d_L - je ujetá vzdálenost levým kolečkem

dR – je ujetá vzdálenost pravým kolečkem

A celkovou vzdálenost d , kterou model ujel, vypočítáme podle vzorce:

5.3 Všesměrový

Všesměrový model se dokáže pohybovat libovolným směrem a nezáleží při tom na jeho aktuální orientaci. Dokáže se také, stejně jako diferenciálně řízený model, otáčet na místě kolem své osy. Na rozdíl od předchozích, je všesměrový model holonomní. To znamená, že může ve všech směrech měnit svoji rychlost. Příkladem holonomního vozidla může být třeba vznášedlo.



Obrázek 13 - Všesměrový model (WINKLER, 2005)

Aby se mohl všesměrový robot pohybovat i ve směrech, které nejsou kolmé k ose kol, použijeme pro něj speciální kola, které mají místo pneumatiky spoustu nezávislých koleček. Takže pokud na robota působí nějaká síla, nic mu nebrání vykonat pohyb do strany.

Abychom mohli určit změnu polohy modelu, potřebujeme znát informace z enkodérů každého kola a jejich vzdálenost od středu modelu. Pro výpočet polohy tříkolového všesměrového robota platí vztah:

Kde: d_1, d_2, d_3 – jsou enkodéry jednotlivých koleček

dx, dy – jsou změny pozice ve směru osy x a y

θ - je úhel natočení modelu

b – je vzdálenost kol od středu modelu

6 Servopohon

6.1 Motor

Pro pohon podvozku jsem použil stejnosměrný motor s magnetickým enkodérem od švýcarské firmy Faulhaber. Motor se dokáže otáčet při maximálním napětí 6V rychlostí 70 otáček za minutu, což je pro naše účely dostatečné. Jeho převodovkový poměr je 141:1 a jeho hmotnost je 55 gramů.

6.2 Mikroprocesor

Abychom mohli pomocí mikroprocesoru ovládat otáčky motoru, musí tento mikroprocesor obsahovat PWM výstupy a měl by být i dostatečně rychlý, proto jsem pro podvozek vybral osmi bitový mikroprocesor Atmega48. Ten obsahuje hned 6 PWM kanálů a pracuje na maximální frekvenci 20MHz. To znamená, že za vteřinu dokáže vykonat 20 000 000 operací, to je pro řízení motoru více než dostatečné. Mimo jiné obsahuje ještě 2 osmibitový a jeden šestnáctibitový čítač/časovač s děličkou.

6.3 I2C sběrnice

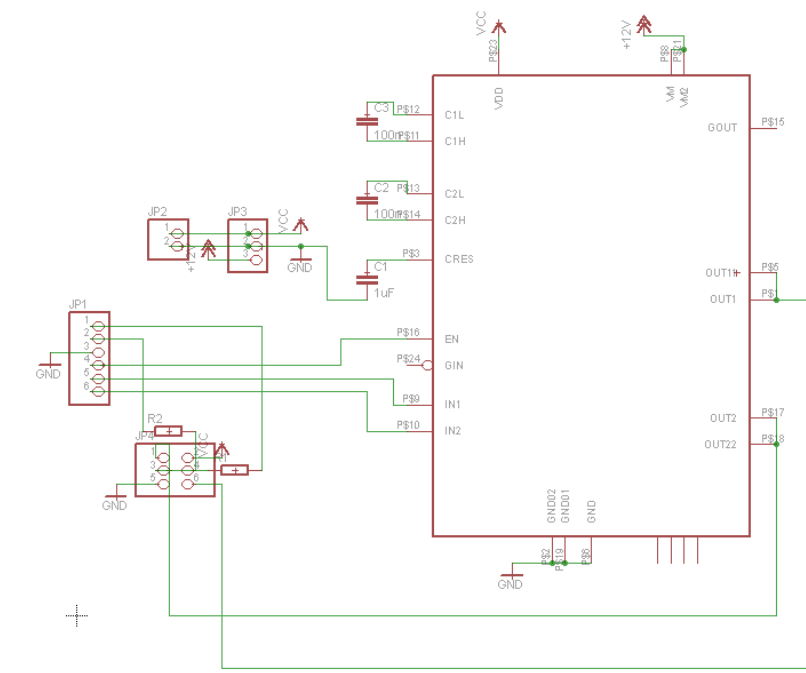
Pro obousměrnou komunikaci mezi čipy se nejčastěji používá I2C sběrnice, ta probíhá pomocí dvou drátů, které se nazývají SDA (datová linka) a SCL (časová linka). Její největší výhodou oproti RS – 232 je schopnost ovládat pomocí jedné sběrnice více modulů a individuálně s nimi komunikovat. Podle toho jakou variantu I2C zvolíme je maximální rychlost komunikace buď 100Khz nebo 400Khz.

6.4 H-můstek

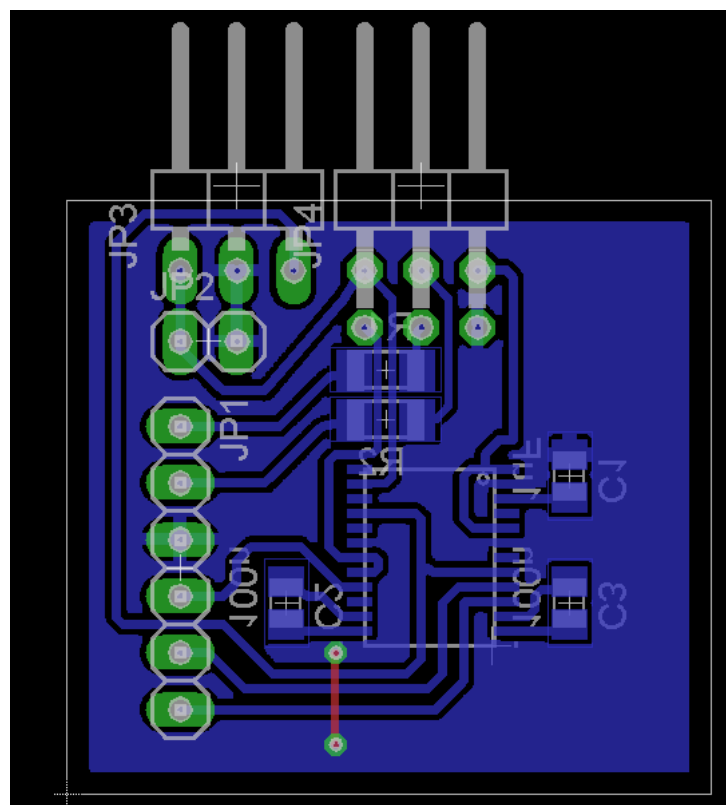
Jelikož samotný mikroprocesor není schopný sám přímo ovládat motor, musíme použít H-můstek. Ten slouží k převodům řídicích PWM signálů z mikroprocesoru na výkonové napájení motorů. Z velkého množství nabídky můstků na trhu jsem si vybral H-můstek MPC17510. Ten je schopen napájet motor od 2V do 15V. Maximální výstupní špičkový proud je schopen dodat 3,8A.

6.5 Návrh servopohonu

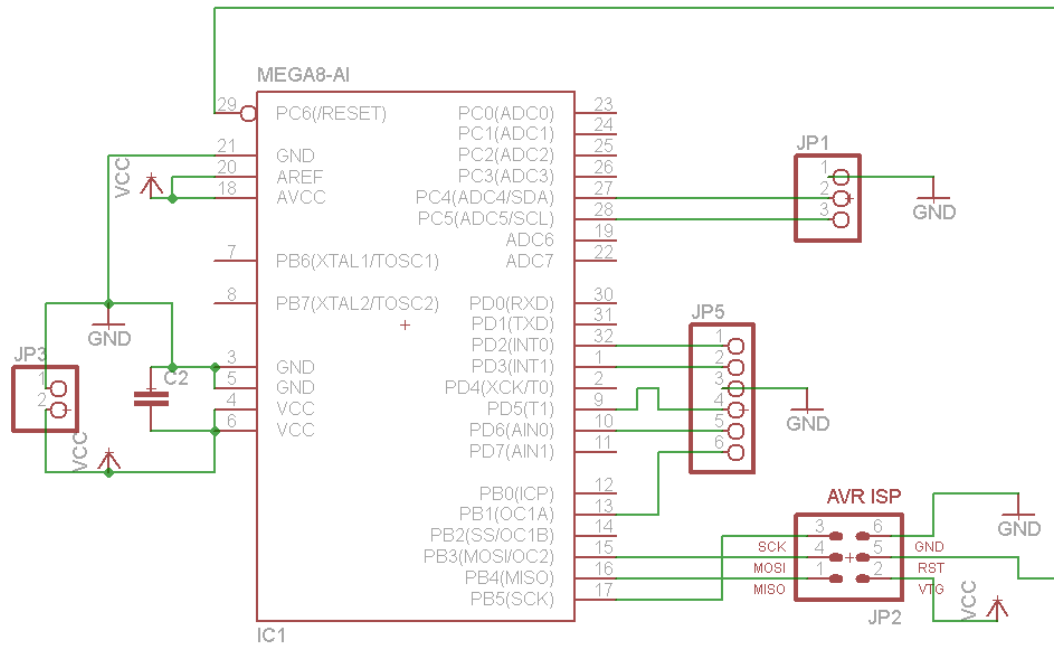
Elektronika byla rozdělena na dvě desky, jednu silovou a druhou řídicí s mikroprocesorem.



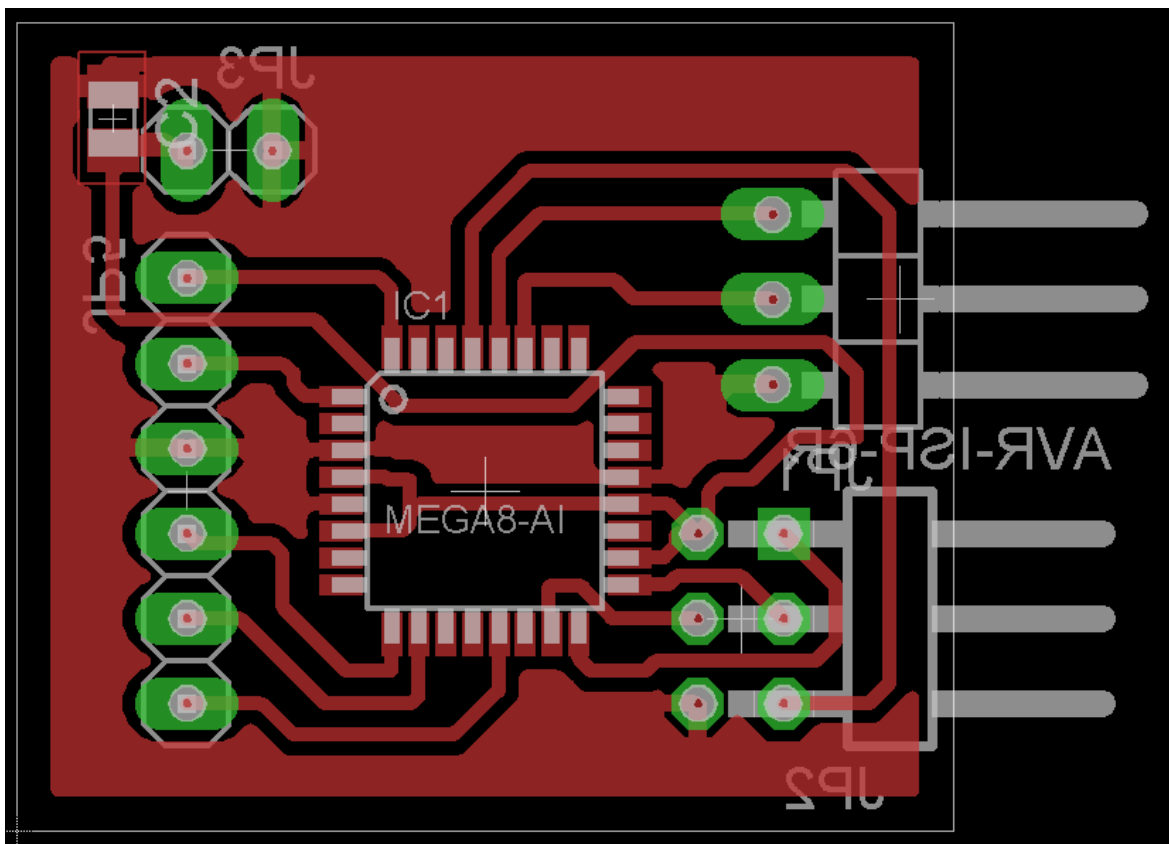
Obrázek 14 - Schéma výkonové části



Obrázek 15 - Deska výkonové části



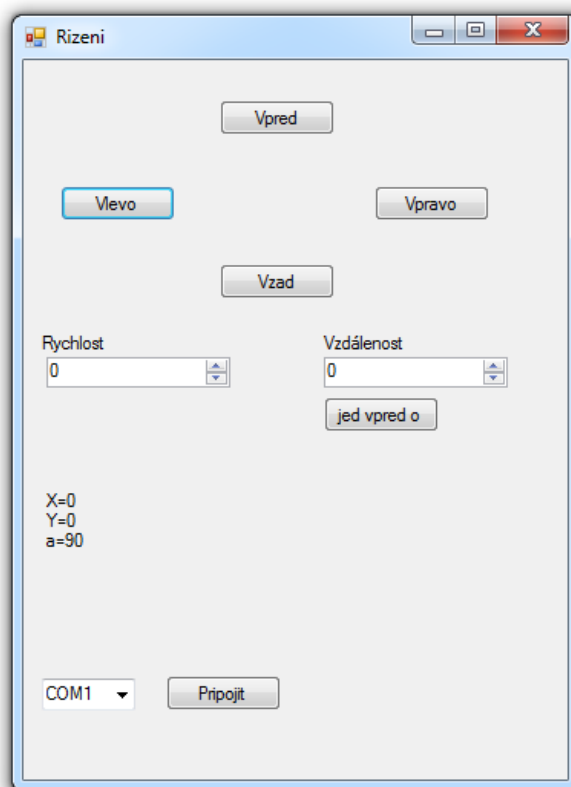
Obrázek 16 – Schéma řídicí části



Obrázek 17 – Deska řídicí části

6.6 Realizace podvozku

Podvozek se skládá ze dvou servopohonů, které jsou umístěny v jedné ose. Motory jsou napájeny 7,4V LiPo baterií a jsou připojeny k PC přes převodník USB-I2C, který se dá použít na straně PC jako sériová linka. Servopohony řídíme pomocí jednoduchého testovacího programu v C#.



Obrázek 18 - Testovací aplikace

7 Závěr

Tato práce byla rozdělena na dvě části, a to na teoretickou a praktickou. V teoretické části jsem se seznámil s různými druhy motorů a jejich řízením bez i s pomocí zpětné vazby. Také jsem se naučil, jak lze měřit počet otáček u motoru pomocí absolutního nebo inkrementálního enkodéru a jakým způsobem s pomocí znalostí o odometrii je možné z těchto informací určit základní polohu robota.

V praktické části jsem se zabýval samotným návrhem elektroniky pro podvozek robota. Elektronika byla rozdělena na dvě desky, a to na řídicí, která obsahuje procesor Atmega48 a na výkonovou část, na které se nachází H-můstek MPC17510, přes který pomocí PWM pulsů řídíme motor.

Když jsme po sestavení podvozku ověřovali jeho funkčnost, zjistili jsme, že určení ujeté vzdálenosti není úplně přesné a že tato chyba se zvyšující ujetou vzdáleností narůstá. Tato nepřesnost by se dala odstranit použitím absolutního určení polohy třeba pomocí GPS nebo triangulací.

Literatura

DLOUHÝ, Martin a WINKLER, Zbyněk. 2007. Sensory pro detekci pohybu kol. [Online] 30. 10 2007. [Citace: 11. 4 2011.] <http://robotika.cz/guide/encoders/cs>.

NOVÁK, Petr. 2007. *Mobilní roboty*. Praha : BEN, 2007. 80-7300-141-1.

VOJÁČEK, Antonín. 2008. Motory a jejich řízení s MCU - 1.část - typy motoru. [Online] 17. 2 2008. [Citace: 8. 4 2011.] <http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-1-cast-typy-motoru>.

—. **2006.** Princip optických enkodérů pro řízení motorů. [Online] 1. 3 2006. [Citace: 11. 4 2011.] <http://automatizace.hw.cz/el-pohony/ART222-princip-optickych-ekoderu-polohy-pro-rizeni-motoru.html>.

WINKLER, Zbyněk. 2005. Modely kolových vozidel. [Online] 12. 5 2005. [Citace: 11. 4 2011.] <http://robotika.cz/guide/odometry/cs>.

—. **2007.** Řízení pohybu. [Online] 5. 12 2007. [Citace: 11. 4 2011.] <http://robotika.cz/guide/control/cs>.