

**Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní – katedra robototechniky**

Řízení mobilního robotu neuronovou sítí

Control of the mobile robot with neural net

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Dr. Ing. Petr Novák

Diplomant:

Jan Babjak

Ostrava 2006

Motto: Quod Scripsi, Scripsi

What I have written, I have written

Co jsem napsal, napsal jsem

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své 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 předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 26. 5. 2006

.....
Jan Babjak

Jan Babjak
Sv. Čecha 1074
73581 Bohumín
<http://www.babjak.cz>

Anotace

Česky:

BABJAK, J. Řízení mobilního robotu neuronovou sítí. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 65 stran. Diplomová práce, vedoucí: Novák, P.

Diplomová práce se zabývá rozšířením senzorického a řídicího subsystému mobilního robotu. Senzorický subsystém byl doplněn o modul infračerveného detektoru překážek v blízkém okolí robotu. Lokomoční subsystém byl přepracován, doplněním o moduly P-regulátorů. Oba tyto moduly byly v rámci práce navrženy a realizovány. Pro řízení robotu byl použit nový, modernější procesor. Tato rozšíření si vyžádala změnu konstrukce robotu tak, aby bylo možné doplněné moduly do robotu efektivně umístit. Do takto upraveného robotu byl implementován algoritmus řízení pomocí neuronové sítě. Dále byl vyvinut software pro ovládání robotu prostřednictvím PC. V závěru práce jsou zhodnoceny dosažené výsledky, uvedeny možné problémy a možnosti jejich řešení.

English:

BABJAK, J. Control of the mobile robot with neural net. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 65 pages. Thesis, head: Novák, P.

The graduation thesis deals with expansion of the sensory and control subsystem of a mobile robot. Sensory subsystem has been enriched with infrared detector of obstructions situated nearby the robot. Locomotive subsystem has been revised; modules of P-regulators have been added. Both these modules were designed and realized as a part of this work. The new and more modern processor unit has been used for the robot control. These expansions needed changes of the robot's construction, so the modules could be placed effectively. For such an adjusted robot, the control algorithm using has been implemented using neural network. New control software for the robot has been developed to control the robot with PC. At the end of the work, all the results are summarized; all the problems are stated together with possible solutions.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Doc. Dr. Ing. Petru Novákovi a všem pracovníkům katedry robototechniky za vstřícný přístup při řešení problémů a dotazů.

Zkratky a názvy

CISC	Complex Instruction Set Computer
GUI	Graphics User Interface
I ² C Bus	Inter-Integrated Circuit Bus (IIC Bus)
IDE	Integrated Development Enviroment
ISP	In System Programming
IRC	Increment Rotary Coder
JTAG	Joint Test Action Group
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MIPS	Millions Instructions Per Second
PLL	Phase Lock Loop
PMMA	Polymethyl Methacrylate
PWM	Pulse Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SMbus	System Management Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
TWI	Two Wire Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Obsah

Obsah	1
1. Úvod	3
2. Popis výchozího stavu	6
3. Popis mobilního všesměrového robotu	9
3.1. Modul IR detektoru	10
3.1.1. Možnosti modulu detektoru	11
3.1.2. Princip měření	12
3.1.3. Popis hardware	13
3.1.4. Popis programu (firmware)	18
3.1.5. Sběrnice I2C	21
3.1.6. IR detektor - závěr	24
3.2. Modul proporčního regulátoru	26
3.2.1 Vlastnosti modulu	26
3.2.2. Popis hardware regulátoru	27
3.2.3. Popis software regulátoru	30
3.2.4 Komunikace s modulem	33
3.2.5 – Modul regulátoru – závěr	36
3.3. Řídicí systém robotu	37
3.4. Ostatní prvky senzorického subsystému	39
3.4.1. Ultrazvukový dálkoměr SFR08	39
3.4.2. Elektronický kompas CMPS03	40
3.4.3. Modul digitální kamery CMUcam1	40
3.5. Modul systémové integrace	41
3.6. Rozhraní pro styk z uživatelem	44
3.7. Modul napájení	46
3.8. Mechanické řešení robotu	48
4. Popis softwarového vybavení	51
4. 1. Nejnižší úroveň řízení	51

4. 2. Vyšší úroveň řízení – neuronová síť	54
4. 2. 1. Stanovení prezentačních úkolů	55
4. 2. 2. Neuronová síť typu Asociativní paměť	56
4. 2. 3. Učení neuronové sítě	57
4. 2. 4. Implementace neuronové sítě do algoritmů řízení robotu	59
4. 3. Ovládání prostřednictvím PC	60
5. Závěr.....	62
6. Seznam použité literatury a dokumentace	63

1. Úvod

Robototechnika je rozsáhlé technické odvětví, spojující množství rozličných disciplín. Zahrnuje informatiku, elektrotechniku, matematiku, mechaniku, materiálové inženýrství a množství dalších vědních oborů. Mobilní roboty tvoří významný pilíř robototechnického odvětví. Mobilní roboty sdílí aspekty a problémy s ostatními typy robotů, jako jsou průmyslové roboty a manipulátory. Mobilita ale zároveň staví před konstruktéry nové problémy související s dynamickou změnou okolního prostředí, při pohybu reálným světem.

V posledních desetiletích můžeme pozorovat stále rostoucí posun zájmu robotiky od problematiky stacionárních robotů k vývoji inteligentních mobilních robotů. Moderní roboty jsou obvykle propojené s počítači, které řídí jejich činnost a umožňují vykonávat různé úkoly. V některých případech je počítač zabudovaný do samotného stroje. Většina mobilních robotů, na kterých je provozován výzkum jsou plně autonomní. Takovéto roboty se dokáží samostatně pohybovat a orientovat v neznámém prostředí.

Mezi množstvím variant lokomočního subsystému mobilních robotů má své nezastupitelné místo i robot s se třemi všesměrovými koly. Toto uspořádání umožňuje vhodnou kombinací rychlostí a směrů otáčení jednotlivých pohonů docílit pohyb robotu v libovolném směru což může najít uplatnění v některých speciálních aplikacích mobilních robotů.

Tématem mé práce je implementace algoritmů neuronové sítě do řídicího systému stávajícího školního všesměrového mobilního robotu. Základní pravidlo teorie řízení říká, že pro kvalitní řízení je potřeba splnit následující tři obecné podmínky:

- dodat dostatečné množství informací v dostatečném čase
- rychle a efektivně zpracovat dodané informace
- zajistit kvalitní plnění výstupu řízení

Z těchto předpokladů vychází směřování mé práce. K dodávání relevantních informací řídicímu subsystému mobilního robotu slouží senzorický subsystém. Ten se v tomto případě skládá z několika na sobě nezávislých celků, mezi které patří ultrazvukové sonary, kompas a kamera. Tento subsystém byl v rámci diplomové práce rozšířen o další typ senzoru a to o infračervený detektor překážek v blízkém okolí robotu.

Pro splnění druhé podmínky (rychlé a kvalitně zpracovávat dodané informace) byl v robotu vyměněn modul obsahující řídicí jednotku robotu. Stávající typ procesoru včetně jeho vývojové desky byl nahrazen novým, moderním procesorem, který poskytuje dostatečné výkonové rezervy pro řídicí aplikaci i pro případné další rozšíření programového vybavení mobilního robotu.

„Kvalitní plnění výstupu řízení“ zajišťuje pohonný subsystém robotu. Nedostatky původního pohonného subsystému odstraňuje doplnění mobilního robotu o moduly regulátorů pohonů, které umožňují provádět rychlostní řízení motorů nezávisle na řídicím systému robotu.

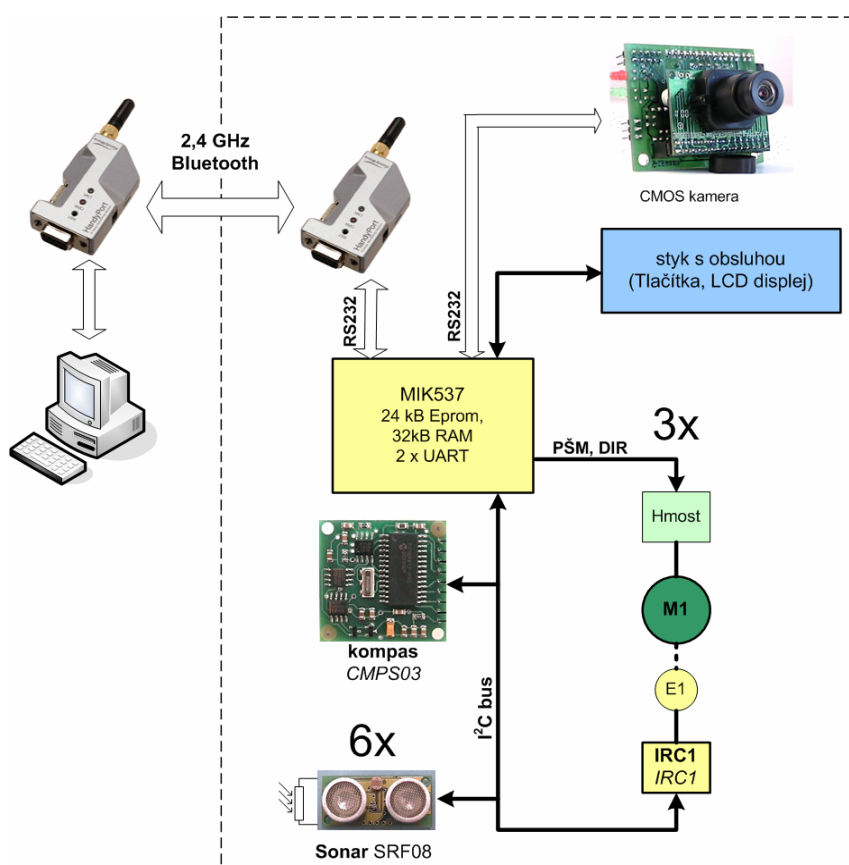
Tyto úpravy, výměny a doplnění modulů zapříčinili to, že bylo nutné přistoupit k změně konstrukce robotu. Předchozí stav, kdy tělo robota tvořilo prostor, ve kterém byly poměrně neuspořádaně uloženy všechny moduly, doznal zásadních změn. Nyní je prostor v robotu uspořádán do „pater“, v každém z nich jsou uloženy jednotlivé moduly robotu. S rozšiřováním počtů modulu vyvstala i nutnost vzájemně jednotlivé díly propojit a distribuovat mezi nimi informace a zajišťovat dodávku elektrické energie. K tomuto účelu byli v rámci této práce vytvořeny další potřebné moduly.

Pro provoz všech výše zmíněných prvků je nezbytné, aby jejich vzájemnou koordinaci zajišťoval odpovídající řídicí software. Nižší úroveň řízení je implementována přímo v těle robotu. Tato úroveň zajišťuje sběr dat ze všech senzorů, výpočet akčních veličin pro řízení pohonů, předávání dat jednotlivým regulátorům motorů a komunikaci s nadřazeným řídicím systémem. Vyšší úroveň řízení zajišťuje celkové chování robotu, na základě programu a na základě informací ze senzorů rozhoduje o směru a rychlosti pohybu robotu jako celku. Tato úroveň je rovněž implementována v řídicím modulu, uloženém v těle robotu, což umožňuje jeho

autonomní chování. Může ji ale zastoupit i vzdálený řídicí systém v osobním počítači, který s robotem komunikuje prostřednictvím standardní sériové linky, a to buď po kabelu a nebo pomocí speciálních Bluetooth modulů i bezdrátově.

2. Popis výchozího stavu

Má diplomová práce navazuje na předchozí práce, na mobilním školním robotu s všesměrovými koly [10]. Tento robot byl vybaven mikropočítačem SIEMENS MIK537, umístěným na podvozkové části robota. Blokové schéma jednotlivých modulů robota je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 1 – Výchozí stav – blokové schéma

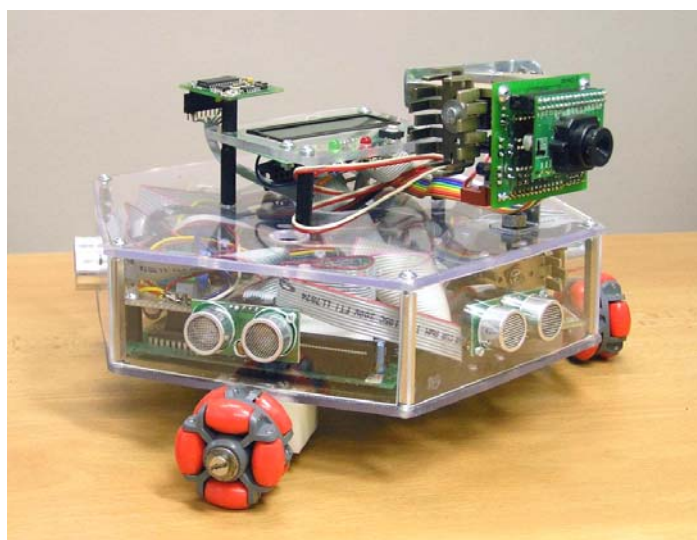
Z výše uvedeného obrázku je patrný hlavní nedostatek zvolené koncepce. Problém je v realizaci regulačních smyček jednotlivých pohonů, které jsou uzavřeny přes sériovou sběrnici I²C. Informace o rychlosti otáčení jednotlivých motoru shromažďují moduly IRC-1 firmy MICROCOMPUTER TECHNOLOGY s.r.o. (podrobné informace o modulu viz [20]). Každý z modulů předává shromážděná data o rychlosti (v podobě

počtu načítaných pulsů za časový interval) na požádání nadřazenému systému prostřednictvím sběrnice I²C. Tuto sběrnici ale sdílí i další moduly robotu – sonary a kompas. Toto uspořádání klade velké nároky na přenosovou kapacitu na I²C sběrnici, což negativně ovlivňuje kvalitu regulace pohonů, čtení stavů senzorů připojených na tuto sběrnici a možnosti rozšíření robotu o moduly využívající I²C sběrnici.

Senzorický subsystém mobilního robotu se skládá z šestice ultrazvukových sonarů SRF08 (detailní popis zde [21]). Sonary jsou umístěny po obvodu robotu pravidelně v rozmezí 60 stupňů). Dále je robot vybaven elektronickým kompasem CMPS03 [22], A polovodičovou kamerou MCUCAM [23].

Lokomoční subsystém robotu je tvořen prvky firmy MAXON. Skládá se ze tří identických pohonných jednotek. Každá jednotka obsahuje DC motor A-Max19, planetovou převodovku GP19B a IRC snímač MR13. Tato sestava tvoří kompaktní celek, na něj je následně připojena hřídel, na kterém je osazeno všesměrové kolo.

Konstrukce robotu je řešena jako pravidelný šestiúhelník o opsaném průměru 240mm. K výrobě těla robotu byl použit materiál PMMA (organické sklo, akrylát, plexisklo), který je na svou hmotnost poměrně tuhý, ale velmi křehký a i při mírném namáhání praská.

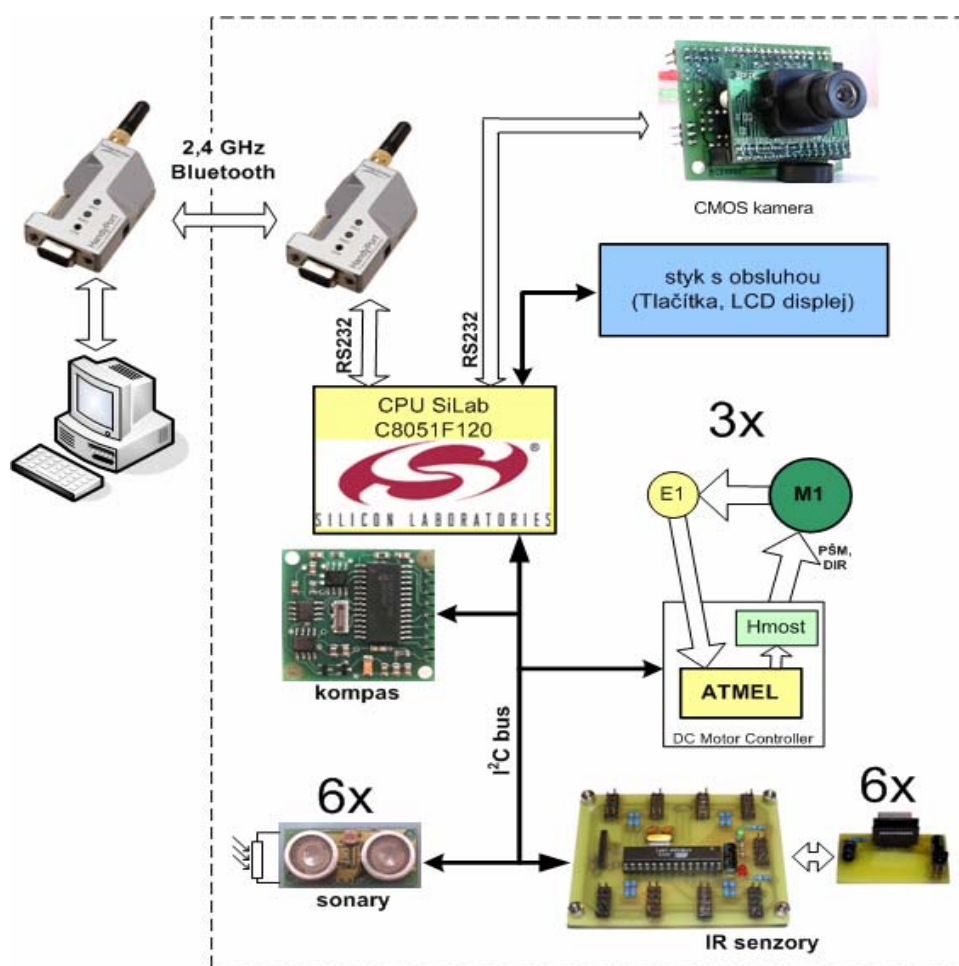


Obr. 2. – Všesměrový mobilní robot (foto Ing.Králíček)

Robot je dále vybaven rozhraním pro styk s obsluhou, které je tvořeno displejem z tekutých krystalů (LCD) s možností zobrazit 2x16 znaků, dále pak dvěma tlačítky pro výběr požadované funkce robotu a dvěma informačními světlo-emitujícími diodami (LED). Pro komunikaci s nadřazeným řídicím systémem je použit sériový kabel (RS232). Rovněž napájení robotu je řešeno kabelem, což omezuje autonomní možnosti robotu.

3. Popis mobilního všesměrového robota

V rámci diplomové práce byl rozšířen senzorický subsystém robota o infračervený detektor překážek v blízkém okolí robota a zcela přepracován regulační subsystém pohonů. Změny doznal i původní řídicí systém založený na procesoru MIK537, který byl nahrazen novým, moderním řídicím systémem postaveným na výkonném procesoru SiLabs C8051F120. Výměna této řídicí jednotky si vyžádala zhotovení modulu umožňujícím propojit ostatní moduly robota s tímto mikropočítačem. Rovněž byla řešena distribuce a úprava napájecích napětí pro jednotlivé části modulu. Modernizovaný robot je osazen baterií a bezdrátovým komunikačním modulem, což umožňuje plnou autonomii v pohybu robota.



Obr. 3 – Blokové schéma robota po úpravách

Ze schématu je patrné, že hlavním cílem uprav bylo přepracování regulační smyčky každého z pohonů. Za tímto účelem byl vyvinut a realizován modul inteligentního proporčního regulátoru, který samostatně realizuje regulační smyčku, a od nadřazeného řídicího systému přijímá pouze povely pro změnu požadované rychlosti otáčení motoru. Každému motoru přísluší jeden tento regulátor.

Senzorický subsystém byl doplněn o autonomní modul IR senzorů, umožňující připojit až osm senzorů. S nadřazeným systémem komunikuje prostřednictvím I²C sběrnice, na které vystupuje jako prvek typu SLAVE. Protože základna robotu je tvořena pravidelným šestiúhelníkem, je využito jen šest z osmi možných senzorů, které jsou rozmístěny pravidelně po obvodu robotu.

V následujících podkapitolách jsou podrobně popsány jednotlivé části mobilního všesměrového robotu.

3.1. Modul IR detektoru

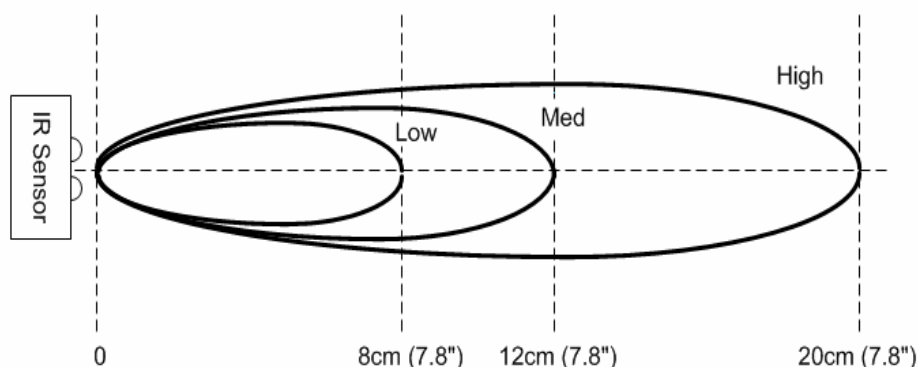
Jedním z bodů zadání diplomové práce bylo rozšíření senzorického subsystému robotu. Za tímto účelem byl navržen a realizován modul infračerveného detektoru překážek v blízkém okolí robotu (near proximity sensor) . Dále byl ve vývojovém prostředí BASCOM vytvořen odpovídající řídicí program pro použitý mikroprocesor ATMEL AVR ATmega8, který bude cyklicky provádět měření, získané informace shromažďovat a na požádání předávat, prostřednictvím sběrnice I2C (TWI, SMBus), nadřazenému řídicímu systému. Modul je určen pro mobilní edukační robot, jako detektor překážek při pohybu robotu neznámým prostředím. Své uplatnění si našel nejen v aplikaci tohoto všesměrového robotu, ale i v dalším školním robotu, vytvářeném na katedře robototechniky.

<i>Název:</i>	Osmikanálový detektor přiblížení
<i>Princip měření:</i>	Detekce reflexe IR světla od překážky
<i>Max. počet senzorů:</i>	až 8 nezávislých senzorů
<i>Komunikační rozhraní:</i>	I2C - 7bit address
<i>Rozměry modulu:</i>	78 x 62mm (3" x 2.44")
<i>Max. dosah senzoru:</i>	20cm (8")
<i>Počet stupňů měření:</i>	3 úrovně vzdálenosti (Min, Mid, Max)
<i>Napájecí napětí:</i>	+5V ss (DC)
<i>Proudový odběr:</i>	15 mA
<i>Mikrokontrolér:</i>	ATMEL ATmega8 (AVR - 8MHz)

Tab. 1. - Parametry detektoru

3.1.1. Možnosti modulu detektoru

Zařízení pracuje na bázi sledování odrazení infračerveného světelného paprsku od případné překážky. Jako zdroj světla je použita běžně dostupná infračervená dioda, což má rozhodující vliv na vlastnosti a schopnosti detektoru. Při běžném denním osvětlení je průměrný maximální dosah jednotlivých senzorů cca 20 cm. Použité součástky mají vliv i na velikost prostoru, ve kterém se musí nacházet překážka, aby byla senzorem detekována. Na následujícím obrázku je zachycen zjištěný dosah senzoru pro všechny tři úrovně výkonu IR diody. Jako testovací objekt byl použit plechový válec průměru 8.5cm (3.3") a výšce 11cm (4.3"). Tento tvar byl zvolen z důvodů minimalizace vlivu úhlu natočení překážky na nepřesnost výsledků.



Obr. 4 - Dosah senzoru

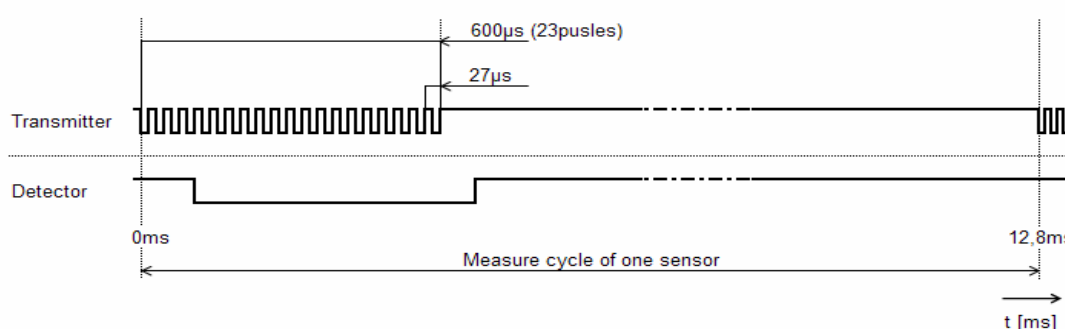
Úspěšnost detekce případné překážky závisí na tom jak moc pohlcuje povrchu materiálu světlo o vlnové délce 940nm a jak moc ho odráží zpět k senzoru. Z toho vyplývá, že překážky z lesklým a světlým povrchem (světlý plast, kovy atd.) budou zaznamenány ve větší vzdálenosti, než materiály s nerovným tmavým povrchem (textilie, vegetace atd.). Další významný faktor ovlivňující funkci modulu je úhel pod jakým dopadá vyslané světlo na překážku. Experimentálně jsem si ověřil, že u překážky s lesklým povrchem je detekce spolehlivá až do úhlu cca 30°. U větších úhlů dochází k odrazu vyslaného světla mimo senzor což způsobí že i blízká překážka nebude zaznamenána. Pokud je ale povrch této překážky členitý, k detekci dojde, protože některé plošky povrchu jsou pod takovým úhlem, že odrazí alespoň část světla zpět k přijímači.

3.1.2. Princip měření

K měření je využito detekce odrazu (reflexe) infračerveného světla od případné překážky. Vlnová délka použitého světla je 940nm. Světlo je emitováno infračervenou LED. Aby se zamezilo příjmu parazitního signálu, což by mohlo způsobit falešnou detekci překážky, je vysílaný světelný paprsek tvořen pulzy o frekvenci 38kHz. Právě na tuto frekvenci je citlivý přijímač, což má za následek snížení pravděpodobnosti omylu. Tato frekvence je však používána k přenosu povelů dálkových ovladačů domácích

spotřebičů. Aby se eliminovala možnost ovlivnění měření těmito ovladači, je řídicí program navržen tak, aby reagoval pouze na impulzy, které sám generuje. Ostatní přijímané signály jsou považované za chybné a nejsou vyhodnoceny jako překážka.

Detektor přiblížení je schopen měřit i změnu vzdálenosti překážky. Toho se dosahuje vysíláním pulzů o různé intenzitě jasů. Vzdálenost objektu je pak přímo úměrná úrovni vysílaného signálu, při kterém došlo k zaregistrování odrazu detektorem. Tento princip měření poskytuje jen orientační několikastupňovou informaci o blížící se překážce. V žádném případě se nedá použít k exaktnímu měření vzdálenosti, což vylučuje hlavně to, že úroveň signálu, při které dojde k detekci odrazu, je velmi závislá na odrazivosti materiálu, ze kterého je tvořena překážka. Tato závislost je velmi razantní a při měření může činit rozdíl i stovky procent. Dá se ale s výhodou použít k registraci změny vzdálenosti překážky. Intenzita pulzů je regulována pomocí PWM.



Obr. 5. - Měřicí cyklus jednoho senzoru

3.1.3. Popis hardware

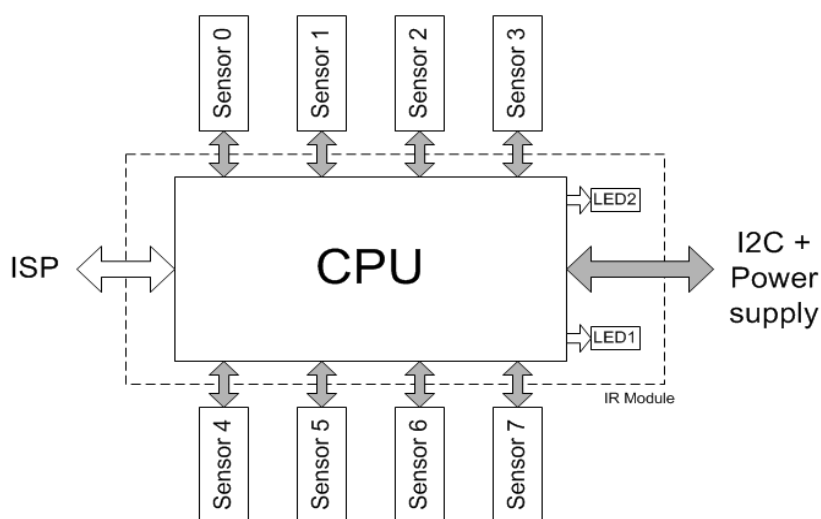
Detektor je tvořen základní deskou, která obsahuje řídicí mikroprocesor a konektory pro připojení až osmi čidel, které je tak možno rozmístit podle potřeby. Jednotlivé senzory jsou z deskou modulu propojeny standardním 10ti žílovým plochým kabelem.

Základem detektoru je moderní mikroprocesor AT Mega8 společnosti ATMEL (bližší informace o procesoru je možno nalézt v jeho dokumentaci []). Výběr tohoto typu mikroprocesoru ovlivnilo to, že rodina procesorů AVR má integrováno množství periférií, mezi jinými i hardwarový modul I²C. Díky tomu je možno realizovat funkci I²C

SLAVE, poměrně jednoduše a nezávisle na hlavním programu. Dalším faktorem ovlivňujícím výběr tohoto typu procesoru je dostatečné množství vyvedených portů, jejich počet vyhovuje požadavkům zadání. Procesor je možno programovat přímo v aplikaci (ISP), čímž se zjednodušil vývoj modulu senzorů. Mikroprocesor je externím keramickým krystalovým oscilátorem udržován na pracovní frekvenci 8MHz, což díky AVR architektuře znamená, že za jednu sekundu vykoná 8 miliónů instrukcí programu (MIPS).

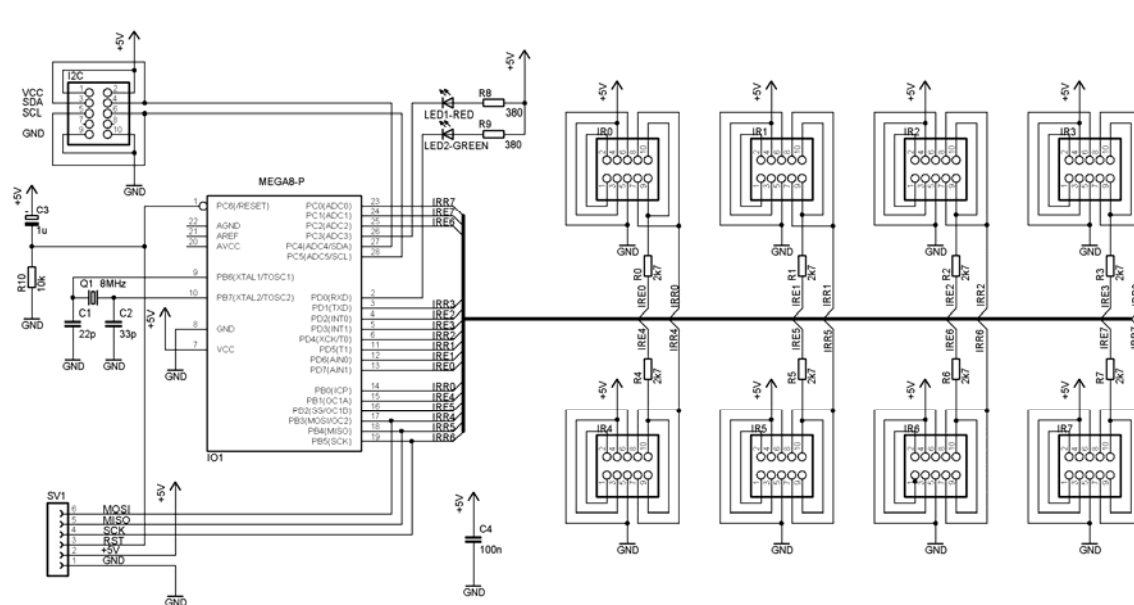
K vysílání signálu jsou použity diody, emitující světlo v infračervené oblasti o vlnové délce 940nm. Na tuto vlnovou délku je nejvíce citlivý přijímač, který registruje případný odraz. Proto je nutné zvolit takové LED, které svítí právě na této vlnové délce. Jako přijímač je použit integrovaný obvod SFH 5110 společnosti OSRAM. Tento obvod se hojně používá v domácí audiovizuální technice jako přijímač dálkového ovládání. Obvod je velmi citlivý na změny v napájecím napětí a proto je nutné jej pro správnou funkci vybavit filtračním kondenzátorem a odpovídajícím odporem.

Detektor je vybaven dvěma indikačním LED umístěnými na základní desce. Zelená blikáním signalizuje správnou funkci a červená se rozsvítí v případě, že na kterémkoli vstupu byla detekována překážka. Dále je detektor vybaven konektorem umožňujícím změnu řídicího programu procesoru (ISP), aniž by ho bylo nutno vyjmout a přenést do příslušného programátoru, což je velmi výhodné hlavně při tvorbě programu pro mikroprocesor. Dalším konektorem je rozhraní pro připojení nadřazenému systému. Pomocí dvou vodičů je přivedeno napájecí napětí +5V a další dva vodiče jsou linky sériového rozhraní I2C sběrnice, která je určena pro obousměrnou komunikaci. Tento konektor byl v druhé verzi modulu upraven tak aby piny konektoru odpovídali rozložení pinů na konektoru sonaru SFR08 a bylo tak možno tyto moduly připojit bez úprav na jednu sběrnici. Původní realizovaná verze detektoru je použita v jiném školním robotu.



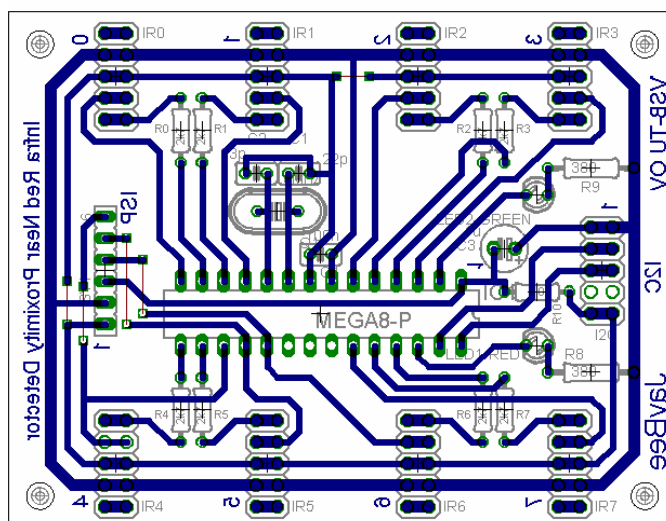
Obr. 6. - Blokové schéma detektoru přiblížení

Hlavními prvky řídicího modulu detektoru je mikroprocesor a osm konektorů pro připojení až osmi čidel. Dále jsou ve schématu zakresleny konektory pro připojení k nadřazenému řídicímu systému (I2C) a pro připojení programátoru (ISP) a podpůrné součástky pro správnou funkci řídicího mikroprocesoru.

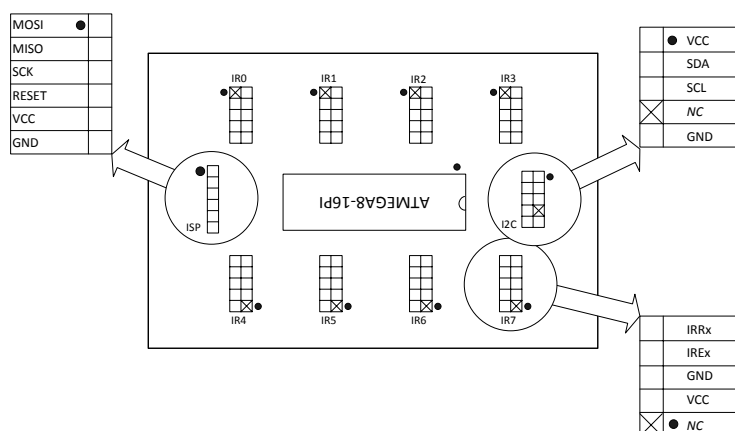


Obr. 7. - Schéma zapojení detektoru

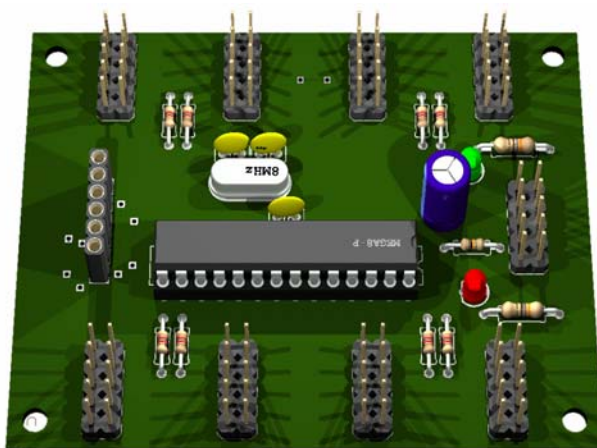
Následující obrázek znázorňuje desku plošných spojů modulu detektoru. Při návrhu rozmístění součástek a vedení plošných spojů bylo přihlédnuto k optimálnímu rozmístění konektorů pro připojení senzorů a k tomu aby obrazec plošných spojů svou náročností na přesnost odpovídal možnostem domácí výroby desky fotocestou. Touto metodou lze vyrobit plošné spoje s třídou přesnosti IV. Při návrhu byl brán ohled i na doporučenou metodiku návrhu plošných spojů [13] se zřetelem na elektromagnetickou kompatibilitu a platné normy. Pomocí podpůrných prostředků pro systém EAGLE a za pomoci nástroje POV-RAY byla vytvořena 3D vizualizace modelu budoucí desky. Ta může sloužit konstruktérovi při návrhu desky nahlédnout na její konečnou podobu.



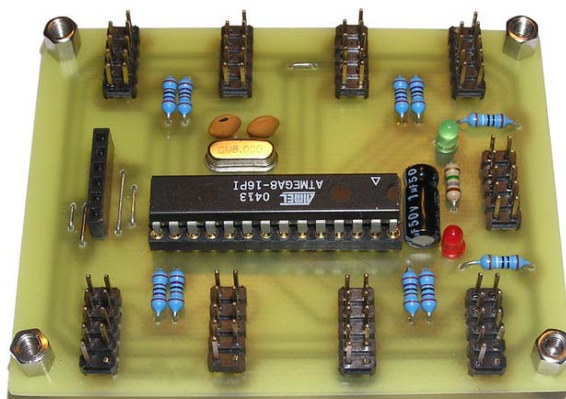
Obr. 8 - Deska plošných spojů - pohled ze strany součástek



Obr. 9 - Význam pinů jednotlivých konektorů IR detektoru

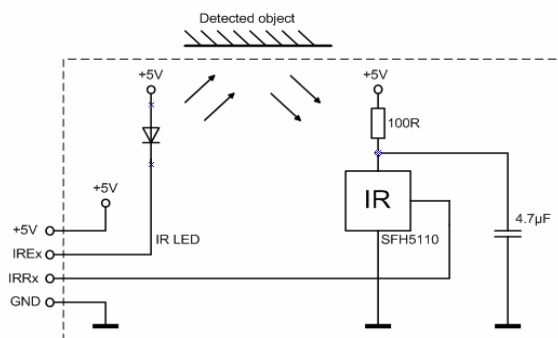


Obr. 10 – 3D model IR detektoru

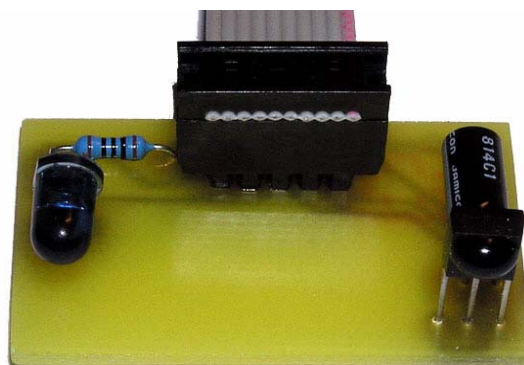


Obr. 11. – Hotový modul IR detektoru

Detektor umožňuje připojit až osm na sobě nezávislých senzorů. Jejich rozměry a uspořádání součástek se můžou měnit podle potřeby konkrétní konstrukce. Následuje schéma zapojení jednotlivého senzoru a příklad realizace.



Obr. 12. - Schéma zapojení modulu senzoru



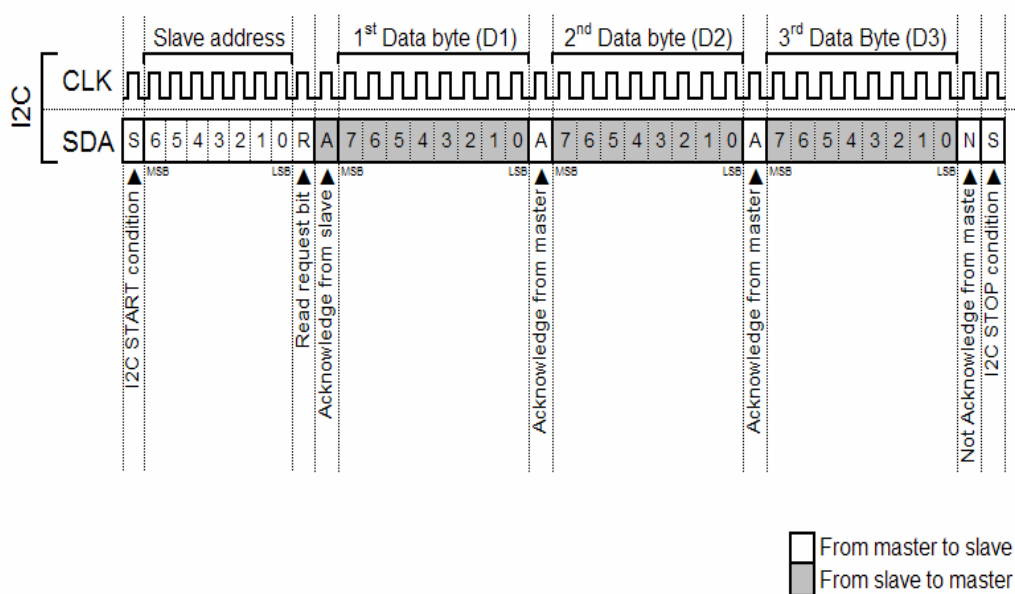
Obr. 13. - Příklad realizace jednoho senzoru

3.1.4. Popis programu (firmware)

Řídící program plní dvě hlavní úlohy. První spočívá v provádění samotného měření. V hlavní programové smyčce se postupně obrací na jednotlivá čidla. Nejprve je na příslušnou LED vyslána série dvaceti mikropulzů. Poté je sledován stav příslušného detektoru. Pokud je zjištěn odraz, je to první krok k tomu aby byla detekována překážka. Následně je LED vypnuta a program zjišťuje, zda registruje nějaký odraz. Pokud ne, tak je detekce považována za úspěšnou. Pokud i po vypnutí příslušné LED je zjištěn odraz, jedná se o chybu a měření je anulováno. Za účelem zvýšení přesnosti se tento postup několikrát opakuje. Poté je tento proces zopakován pro různé poměry střídý vysílaného signálu, čímž se zjišťuje vzdálenost překážky. Naměřené hodnoty se ukládají do příslušných bitů tří datových registrů. Každý z osmi bitů příslušných registrů odpovídá jednomu z osmi čidel. Registry jsou tři, protože je program uzpůsoben pro detekci tří stupňů vzdálenosti překážky. Až proběhne toto měření pro všech osm připojených čidel, program se opakuje.

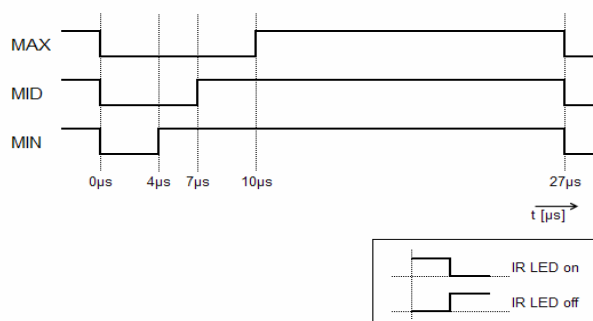
Druhou důležitou funkcí programu je sledování, vyhodnocování a sestavení příslušné reakce na dění na připojené I2C sběrnici. Detektor na sběrnici vystupuje jako SLAVE, což má za následek to, že naměřená data poskytuje nadřazenému řídicímu systému pouze na požádání. Požadavek je signalizován zasláním adresy detektoru na I2C sběrnici. Detektor požadavek vyhodnotí a zašle MASTER zařízení postupně data z

tolika datových registrů o kolik projeví zájem. Maximálně však o tři. První vyslaný bajt reprezentuje detekci nejvzdálenějších překážek. Případné následující bajty upřesňují měřené hodnoty. Na následujícím obrázku je zachycen popis paketů představující jeden datagram na sběrnici I2C při čtení stavů čidel.



Obr. 14 - Popis komunikace při čtení dat z modulu

Následující graf zobrazuje princip modulace výkonu svitu IR diody. Modul měří tři úrovně vzdálenosti, pro každou z nich je stanoven jiný jas diody. Sleduje se při jaké úrovni jasů dojde k detekci odrazu. Tento údaj se zaznamená. IR dioda je modulována na frekvenci 38kHz, což je pracovní frekvence IR detektoru.



Obr. 15. - Pulsně šířková modulace IR diody

I2C sběrnice je zároveň využita i pro případné nastavení SLAVE adresy detektoru. Nastavení se provádí tak, že se na sběrnici připojí pouze tento detektor a vyšle se na obecnou adresu 00h (General Call) jeden bajt, představující novou adresu detektoru. Jakmile ji přijme, přepíše si v integrované EEPROM paměti údaj o adrese a následně odpovídá jen na tuto novou adresu.

Program pro měření je navržen tak aby měření probíhalo minimální možnou dobu. Toho je docíleno hlavně tím, že se nejprve zjišťují nejvzdálenější objekty (max. výkon IR diody) V případě, že v této oblasti není zjištěn objekt, je tento měřicí cyklus ukončen a pokračuje se na další senzor. V případě, že je objekt zjištěn, dojde ke snížení výkonu diody a k opakování měření, což zapříčiní prodloužení doby měření. Celková doba měření se dá spočítat dle následujícího vzorce:

$$t_m = 8 \cdot 3 \cdot (600 + 1000) + A \cdot (600 + 1000) + B \cdot 2 \cdot (600 + 1000) + C \cdot 3 \cdot (600 + 1000)$$

8	počet senzorů
3	počet opakování měření pro potvrzení správnosti
600	doba svitu LED (μs)
1000	doba čekání před detekcí poruchy (μs)
A	počet senzorů u kterého je překážka detekována jako DALEKO
B	počet senzorů u kterého je překážka detekována jako STŘEDNĚ
C	počet senzorů u kterého je překážka detekována jako BLÍZKO

Tab. 2 - Významy parametrů vzorce pro stanovení doby měření

Typ překážky		Čas měření
<i>Bez překážky:</i>		38.4ms
<i>Překážka na jednom senzoru</i>	<i>daleko</i>	40.0ms
	<i>středně</i>	41.6ms
	<i>blízko</i>	43.2ms
<i>Překážka na všech senzorech</i>	<i>daleko</i>	51.2 ms
	<i>středně</i>	64.0 ms
	<i>blízko</i>	76.8 ms

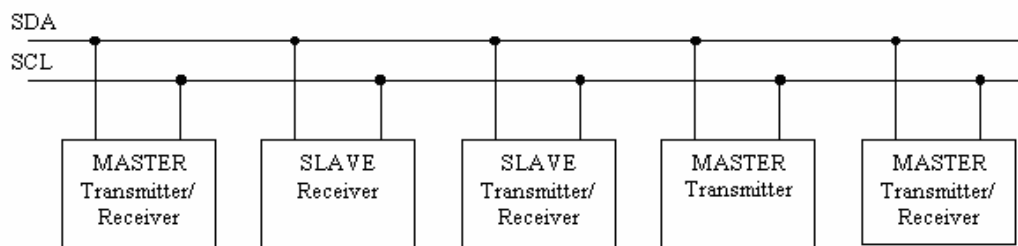
Tab. 3 - Příklady časů pro různé typy překážek

3.1.5. Sběrnice I²C

Sběrnice I²C (I²C-bus, IICBus Inter-IC-bus, TWI, SMBus) je dvou vodičové datové propojení, mezi jedním nebo několika řídicími prvky (MASTERS) a speciálními periferními součástkami (SLAVES). Ochrannou známku na název I2C drží firma PHILIPS. Ostatní výrobci vybavují své obvody komunikující na sběrnici stejných parametrů, ale označují ji jinými názvy (např. TWI - Two Wire Interface). Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány svými adresami. Adresy i data se přenášejí týmiž vodiči. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a bezproblémové dodatečné rozšiřování.

Mohou být připojeny všechny integrované obvody, které zvládají speciální protokol sběrnice. Mimo integrovaných obvodů RAM, EEPROM, obvodů pro rozšíření portů, A/D a D/A převodníků a obvodů hodinových signálů existuje ještě celá řada speciálních integrovaných obvodů, jako například budiče displejů nebo integrovaných obvodů pro televizní a audio techniku. Sběrnice I2C používá sériovou datovou linku SDA a linku hodinového signálu SCL. Data a adresy se přenášejí podobně jako v posuvných registrech společně hodinovými impulsy. Obě linky je možno používat jako

obousměrné. Jsou vybaveny zvyšovacím (pull-up) odporem a mohou být každým účastníkem sběrnice staženy na nízkou úroveň výstupem s otevřeným kolektorem.



Obr. 16. - Popis I2C sběrnice

Použití procesoru vybaveného hardwarovým modulem pro práci s I2C má za následek jednoduchou implementaci poměrně složitěho úkolu, jakým je obsluha I2C jako slave. Architekturu procesoru je dáno, že obsluha sběrnice je programově realizována prostřednictvím přerušení (TWI - Two Wire interface Interrupt), které je generováno při detekci určité události na I2C sběrnici (například rozpoznání vlastní adresy). Po vyvolání přerušení je možno programově zjistit, jaká událost k němu vedla. To se děje prostřednictvím registru TWSR (Two Wire interface Status Register) do kterého je uložen kód události. Pro přístup k přijatým datům či pro přípravu dat k odeslání se používá registr TWDR (Two Wire interface Data Register), ve kterém jsou data uložena při jejich přijetí, či do kterého program uloží data, která se budou odesílat.

Jako příklad implementace čtení dat z modulu IR senzorů v MASTER mikroporcesoru je použit programovací jazyk BASCOM. Bylo využito možností práce s I2C, které nám tento programovací prostředek nabízí. Následující blok programu osloví SLAVE modul jeho adresou (0111000b), postupně si vyžádá zaslání tří bajtů dat a ty si uloží do proměnných *ir_sensors1* až *ir_sensors3*

```
I2cstart           ' I2C START Condition
I2cwbyte &B01110001 ' Write Address & Read Request to I2C Bus
I2crbyte ir_sensors1, Ack ' Read DATA, Transmit Acknowledge byte
I2crbyte ir_sensors2, Ack ' Read DATA, Transmit Acknowledge byte
I2crbyte ir_sensors3, Nack ' Read DATA, Transmit Not Acknowledge byte
I2cstop            ' I2C STOP Condition
```

Kód 1. - Příklad I2C Master (čtení dat)

Výchozí adresa modulu je 0111000b. Pokud z nějakého důvodu nevyhovuje je možné ji prostřednictvím I2C sběrnice změnit. Toho se využije například v případě, že je v zapojení použito více těchto modulů, kdy každý musí mít jinou adresu. Nastavení se provádí zasláním jednoho bajtu dat ve formátu xAAAAAAAb na adresu 00000000b (Generall Call Address). Adresa je tvořena sedmi bity (AAAAAAA). První bit adresy je ignorován. Následuje příklad změny adresy modulu z výchozí (či neznámé) na adresu 1110111b. Nastavení se po přijetí uloží do EEPROM paměti a modul s ní bude pracovat až do další změny.

```
I2cstart           ' I2C START Condition
I2cwbyte &B00000000 ' Write Generall Call Address
I2cwbyte &B01110111 ' Write New Address
I2cstop            ' I2C STOP Condition
```

Kód 2. - Naastavení I2C SLAVE adresy)

3.1.6. IR detektor - závěr

Zdárná realizace funkčního detektoru si vyžádala vyřešení mnoha dílčích problémů, které nejsou na první pohled, a po teoretickém prostudování zadání, vůbec patrné. Mezi hlavní patřilo stanovení vhodného předřadného odporu k IR diodám. Malá hodnota způsobovala při provozu diody takové proudové odběry, které měli za následek rušení a nesprávnou funkci celého zařízení. Velká hodnota zase neumožnila detekovat vzdálenější objekty. Rovněž nalezení vhodných poměrů střídý pro generování PWM pro řízení jasu IR diody zabralo poměrně velké množství času.

Detektor je navržen pro připojení až osmi na sobě nezávislých čidel. Tomu odpovídá výběr použitého procesoru. V případě požadavku na větší počet senzorů existují dvě možnosti řešení. První spočívá v použití více těchto detektorů. Všechny jsou do nadřazeného řídicího systému připojeny prostřednictvím sběrnice, takže není problém rozšířit jejich počet na požadované množství. Absolutní teoretické maximum je dáno sedmibitovou adresou zařízení, kterou musí mít každý detektor jinou.

Druhá možnost rozšíření spočívá v použití jiného AVR procesoru, který je vybaven dostatečným počtem I/O portů, například procesor ATmega128 jich nabízí až 53, což umožní připojit až 26 senzorů. Použití tohoto procesoru klade větší nároky na návrh a výrobu odpovídající desky plošných spojů.

Maximální dosah senzorů ovlivňuje mnoho faktorů. Mezi hlavní patří reflexní vlastnosti detekovaných překážek, což ale konstrukcí senzoru ovlivnit nemůžeme. Hlavním parametrem, který ovlivnit lze je vyzářený výkon IR diody. Zde jsme ale limitováni hlavně možnostmi použité diody a možností diodu napájet odpovídajícím proudem. V této konstrukci je vysílací dioda napájena přímo z výstupu příslušného portu mikroprocesoru. Použitý typ je schopen dodat proud maximálně 40mA na jeden port, což je pro vysocesvítivé diody poměrně málo. Z tohoto důvodu byla použita standardní IR dioda. V případě použití dostatečných zesilovacích prvků by bylo možno použít diody schopné dodávat větší zářivý výkon, či použít diod více. Výkon

můžeme dále ovlivňovat vhodně zvoleným činitelem plnění pulsně-šířkové modulace jasu diody. Tím však můžeme celkový výkon jen snižovat, čehož se v konstrukci využívá pro detekci bližších překážek.

Dalšími faktory ovlivňujícími dosah je použitá vlnová délka diody, která musí odpovídat vlnové délce, na níž má přijímací prvek největší citlivost. Použitá frekvence modulace světelného paprsku je rovněž velmi důležitá, protože přijímací prvky se vyrábějí na konkrétní pracovní frekvenci. V tomto případě je touto frekvencí hodnota 38kHz.

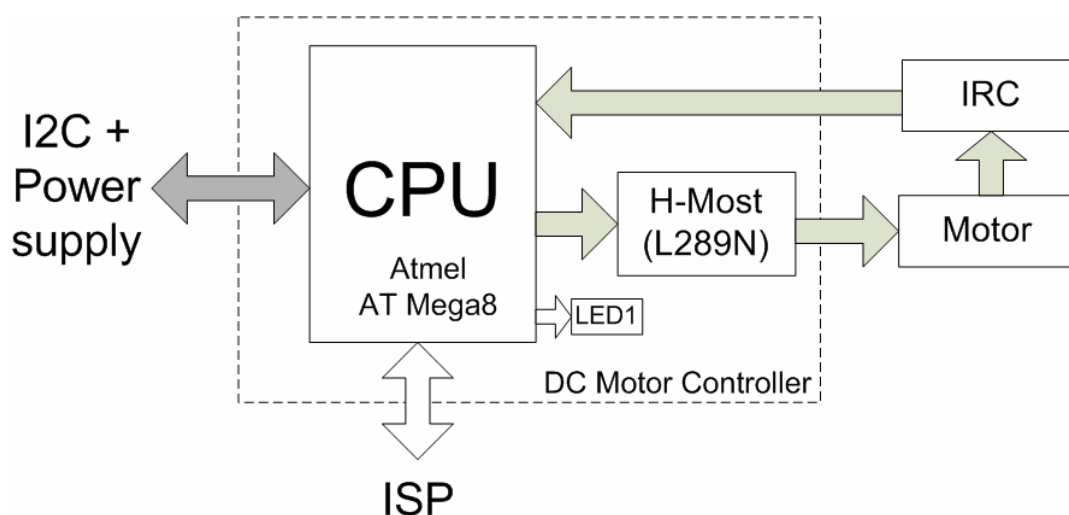
Modul senzorů je primárně určen pro aplikace v edukačních mobilních robotech provozovaných na katedře Robototechniky Fakulty Strojní, Vysoké školy Báňské. Předpokládá se rozmístění senzorů po obvodu robotu tak aby jeho řídicí systém měl přehled o překážkách v jeho bezprostředním okolí. Další možnost použití je aplikace 'sledování podložky' kdy jsou čidla obrácena směrem k podložce, po které se robot pohybuje a v případě, že se přiblíží k hraně, je poskytnuta řídicímu systému informace o nezpůsobilosti terénu před robotem.

3.2. Modul proporčního regulátoru

Řešení zadaného úkolu si vyžádalo vývoj proporčního regulátoru pro řízení jednotlivých motorů robota. Původní koncepce, kdy motory reguluje přímo hlavní řídicí modul robota byla nahrazena koncepcí novou, kdy každý motor má svůj „inteligentní“ modul regulátoru, který udržuje výstupní otáčky motoru na požadované hodnotě, bez ohledu na zatížení pohonu či kolísání napájecího napětí motoru, tedy provádí tzv. rychlostní řízení připojeného pohonu. Tento způsob řízení je v dnešní době nejčastější.

3.2.1 Vlastnosti modulu

Regulátor je určen pro řízení motorů MAXON řady A-max19, je tomu přizpůsoben jednak konektor pro připojení k motoru/IRC, tak i maximální výkon, který je schopen regulátor řídit. Samotný regulátor v sobě spojuje dvě funkce. Na základě povelů zaslaných prostřednictvím sběrnice I²C dokáže regulovat rychlost otáčení připojeného motoru. Zároveň je modul vybaven 32bitovým obousměrným čítačem s kvadrurním dekodérem (podrobnosti – viz [25]). Informace o počtu pulsů je regulátor schopen poskytnout nadřazenému systému opět prostřednictvím I²C sběrnice. Nadřazený systém má možnost tento interní čítač kdykoli vynulovat. Blokové schéma modulu regulátoru je zobrazeno na následujícím obrázku.

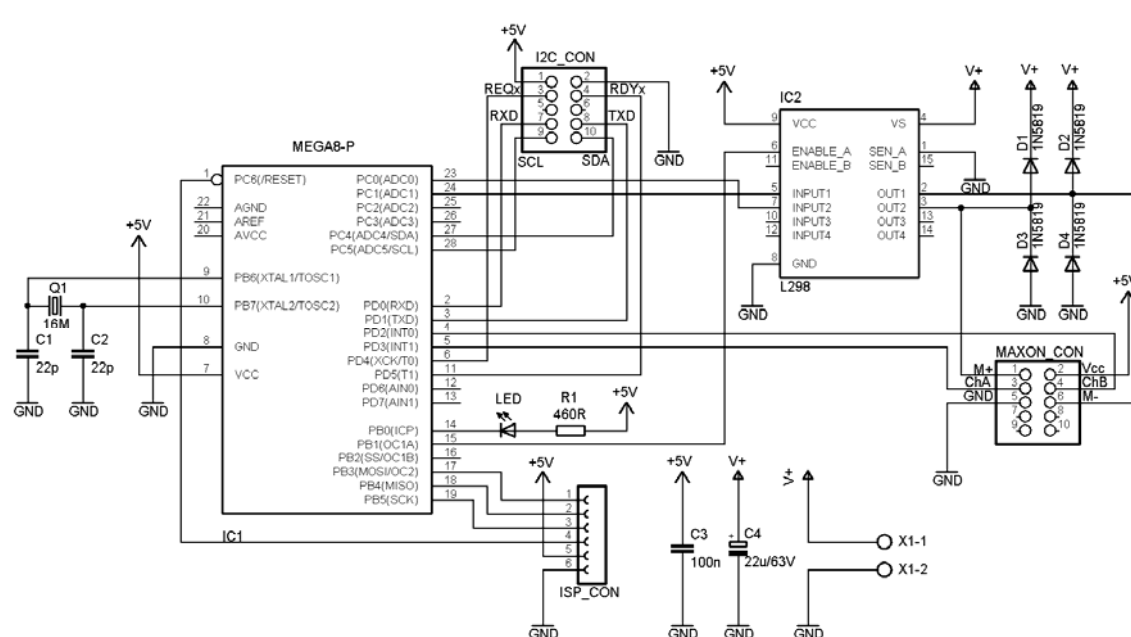


Obr. 17. – Blokové schéma regulátoru

3.2.2. Popis hardware regulátoru

Základem regulátoru je opět procesor ATMEL ATmega8. Významným faktorem ovlivňující jeho volbu je to, že je vybaven hardwarovou jednotkou pro obsluhu I2C sběrnice (i v režimu SLAVE), jednotkou pulsně šířkové modulace vhodné pro řízení motorů a v neposlední řadě disponuje dostatečným výkonem pro realizaci úlohy proporčního regulátoru.

Jako výkonový spínací prvek je použit obvod L289N – „Dual Full-bridge Driver“ (detaily viz [17]). Jedná se o obvod umožňující spínat indukční zátěž v režimu „FULL BRIDGE“ (umožňuje měnit polaritu napětí na zátěži). Maximální spínaný proud je 4A při 46V. Při spínání těchto maximálních výkonů je však nutné zajistit podstatně účinnější chlazení obvodu, než je tomu v této konstrukci. Obvod tyto spínače obsahuje dva, v tomto zapojení je však využit jen jeden z nich. Pro ovládání obvodu je možno využít standardní TTL úrovně. Úplné schéma zapojení regulátoru je zobrazeno na následujícím obrázku.

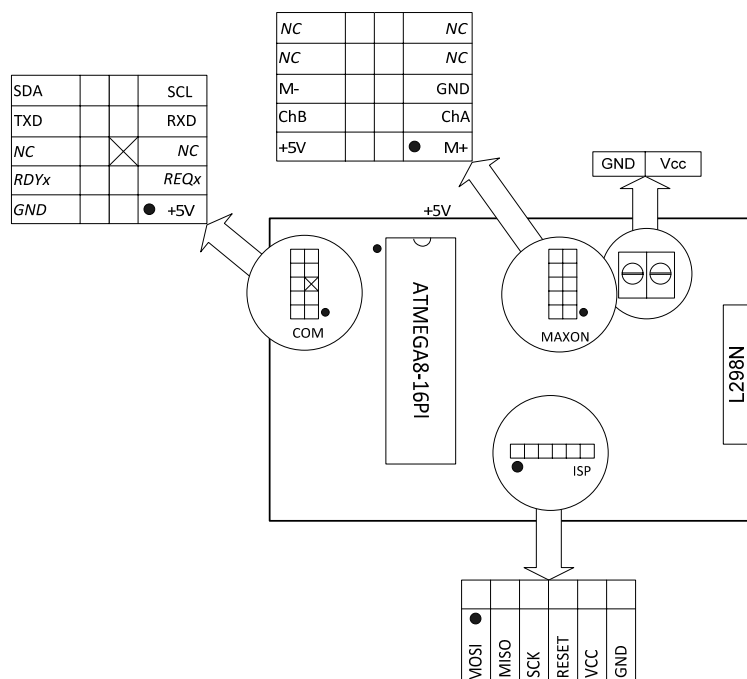


Obr. 18. – Schéma zapojení modulu regulátoru.

Regulátor je opět vybaven konektorem pro InSystem Programming, což zásadním způsobem usnadňuje vývoj řídicího software modulu regulátoru. Pro laboratorní

pokusy z modulem a pro monitorování jeho funkce prostřednictvím osobního počítače je z mikroprocesoru do komunikačního konektoru vyvedena i seriová linka v podobě dvou vodičů RX/TX TTL (piny 7/8). Napájení řídicí elektroniky modulu (+5V, GND) je rovněž realizováno prostřednictvím tohoto komunikačního portu. Dále jsou zde vodiče I²C sběrnice (SCL/SDA) a signální vodiče pro podporu komunikace s modulem. (REQ/RDY). Jejich význam je rozebrán v popisu softwarového vybavení modulu.

Modul regulátoru je vybaven konektorem pro připojení motoru MAXON A-max19, resp. rotačního enkodéru, který je součástí motoru. Význam jednotlivých pinů je převzat z katalogového listu digitálního magnetického enkodéru MAXON MEnc13 [dostupný zde - 16]. Napájení motorů je odděleno od napájení řídicí elektroniky a je realizováno samostatnou svorkovnicí. Podrobný popis všech připojovacích konektorů modulu je zobrazen na následujícím obrázku.

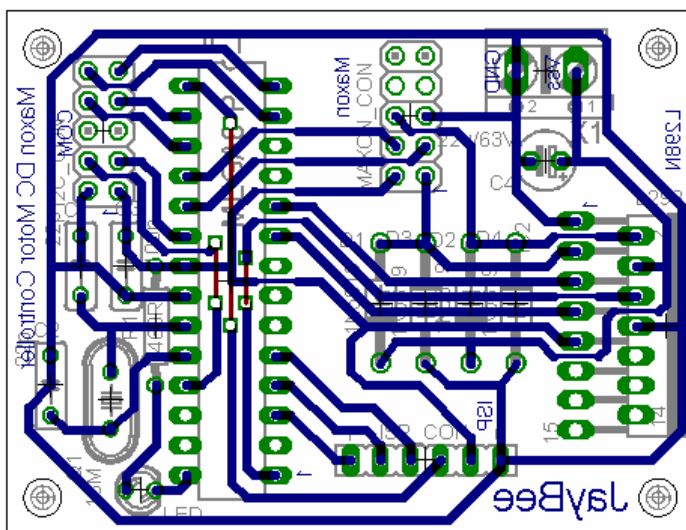


Obr. 19 - Význam pinů jednotlivých konektorů regulátoru.

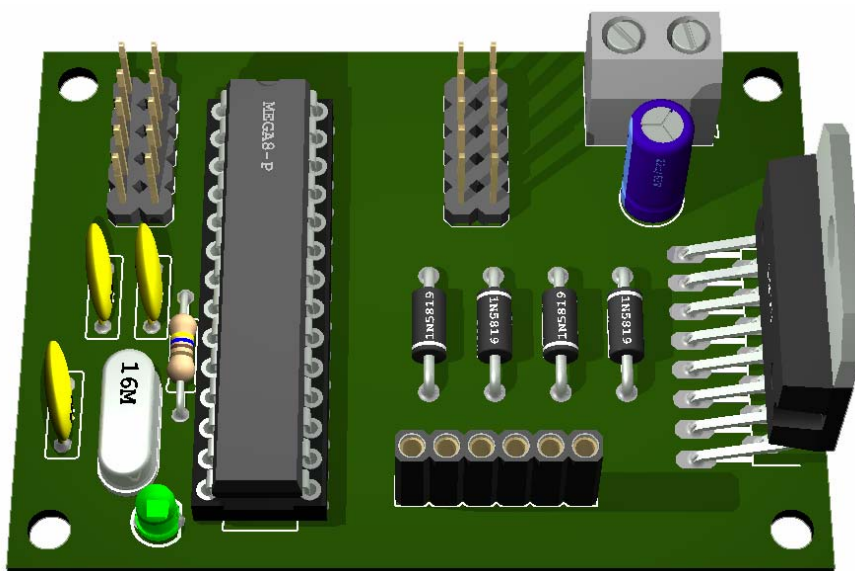
Obvod L298N je v pouzdře MultiWatt15, které je konstrukčně uzpůsobeno pro připojení chladiče. I když použitý motor neklade na obvod velké nároky co se týče

spínaného výkonu, je vhodné jej osadit alespoň malým chladičom. Z tohoto dôvodu je obvod umiestnený k okraji desky modulu.

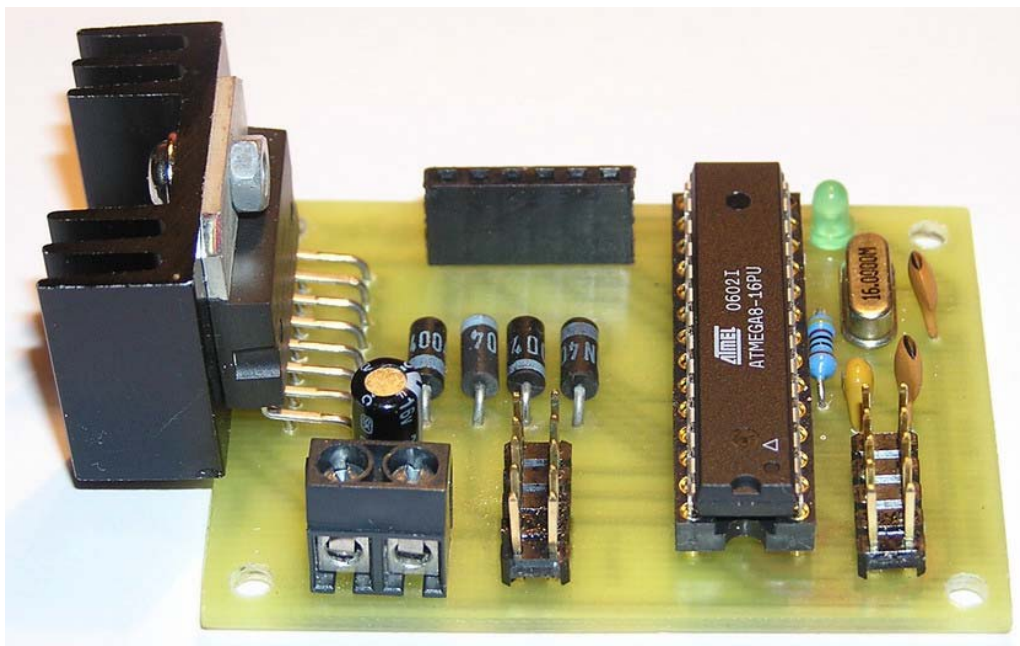
Na následujících obrázcích je zachycen pohled na schéma obrazce plošných spojů. Při jeho návrhu bylo použito CAD/CAM systému EAGLE, který je určen pro podporu návrhu desek plošných spojů.



Obr. 20. – deska plošných spojů regulátoru (strana součástek)



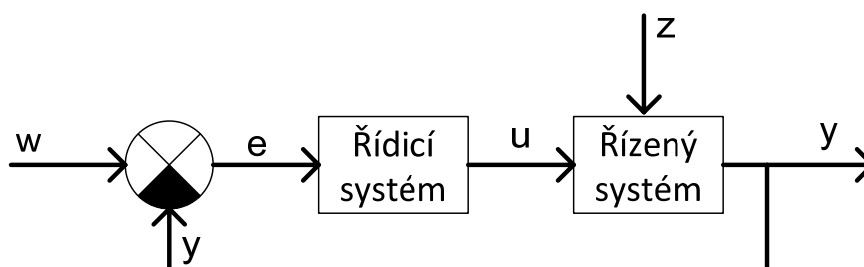
Obr. 21. – 3D vizualizace modulu regulátoru



Obr. 22 – realizovaný modul regulátoru

3.2.3. Popis software regulátoru

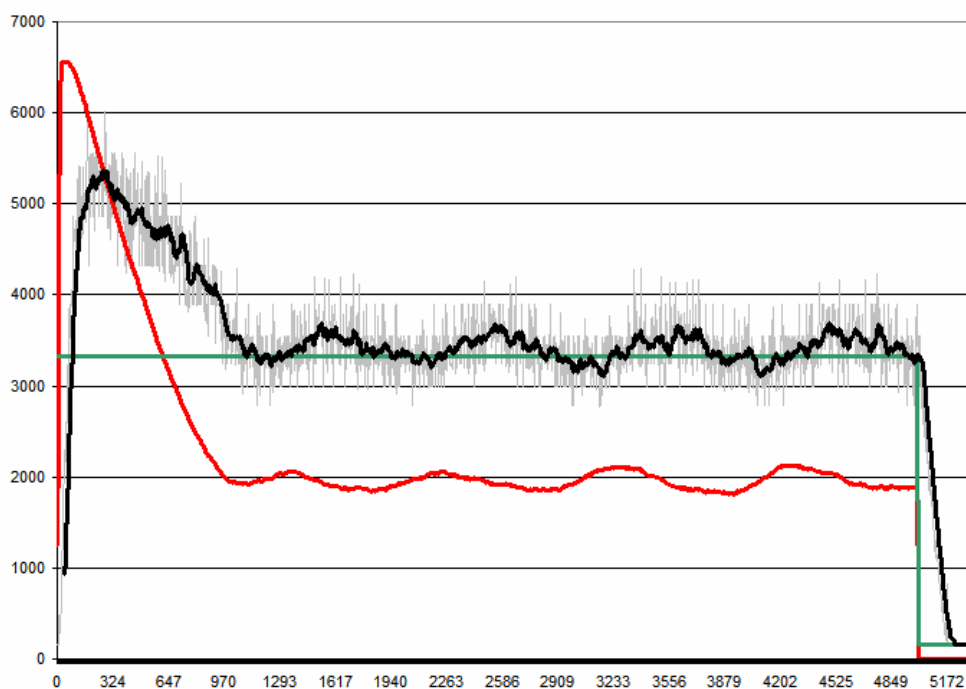
Pro vývoj firmware regulátoru bylo použito vývojové prostředí BASCOM AVR, (podrobnosti viz [4]). Software plní několik úloh. V první řadě provádí měření časového intervalu mezi jednotlivými pulzy přicházejícími z rotačního enkodéru motoru. Tento údaj vystupuje z hlediska regulátoru jako řízená veličina (y). Žádaná hodnota regulátoru (w) zadávaná nadřazeným řídicím systémem je rovněž v tomto tvaru (délka mezi pulzy). Regulátor provede rozdíl žádané a řízené veličiny, čímž získá regulační odchylku (e). Její velikost slouží jako podklad pro úpravu hodnoty akční veličiny (z). Tento ideální stav narušuje vliv prostředí (tření, setrvačnost), která se v teorii regulace nazývá porucha (z).



Obr. 23. – regulační smyčka

Tato regulační smyčka pracuje s 16ti bitovým rozlišením, čímž je zaručena vysoká přesnost regulace. Použitá pulzně šířková modulace pracuje s rozlišením 12ti bitů. Použitý procesor je schopen generovat PŠM až do rozlišení 16ti bitů, ale s tím, že čím je vyšší rozlišení, tím více se snižuje pracovní frekvence PŠM, což negativně ovlivňuje funkci motoru. Proto byl na základě experimentů zvolen kompromis v podobě 12ti bitového rozlišení, při kterém je zabezpečen stabilní chod motoru v celém rozsahu otáček.

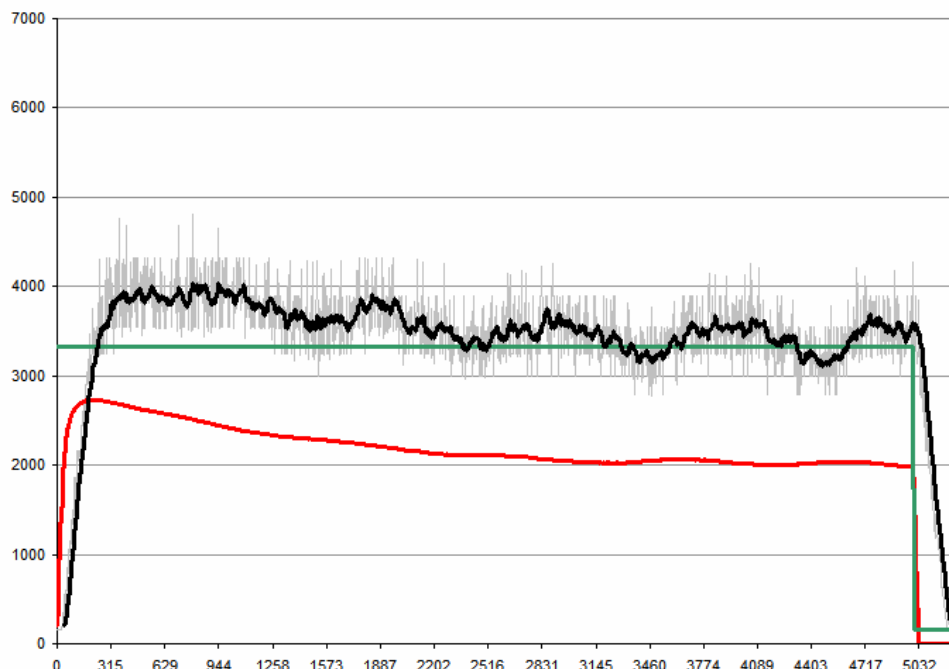
Důležitým parametrem regulace, je velikost konstanty zesílení proporčního regulátoru, která ovlivňuje kvalitu regulačního obvodu. Tato hodnota je vlastní danému regulovanému systému. Zjišťuje se na základě experimentů, kdy se sleduje odezva systému na její změnu. Na následujícím grafu je zobrazen průběh rozjezdu a zastavení motoru, s náhodně zvolenou konstantou zesílení (k).



Obr. 24. – Graf kvality regulace ($k = 1$)

Okamžitá naměřená rychlost motoru je na grafu zobrazena černě, zeleně je vyznačena žádaná hodnota. Červeně je vynesena velikost akční veličiny. Z grafu je patrné, že velikost konstanty zesílení je zvolena nevhodně, protože při startu pohonu dojde

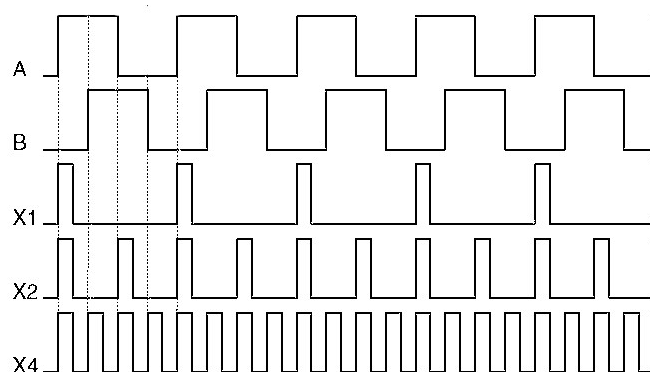
k velkému překmitu, což negativně ovlivňuje kvalitu řízení pohonu. Experimentálně jsem došel k hodnotě regulační konstanty zesílení o velikosti $k = 1/20$. Průběh startu pohonu při této konstantě je zachycen na následujícím grafu:



Obr. 25. – Graf kvality regulace ($k = 1/20$)

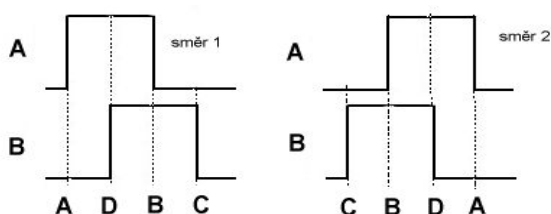
Z grafu je patrné, že vhodně zvolenou konstantou zesílení můžeme zásadním způsobem ovlivnit kvalitu regulace připojeného motoru. Exaktní stanovení ideální hodnoty je konstanty poměrně náročný proces ale domnívám se že jeho zjištění pouze na základě experimentů a měření je pro tuto aplikaci dostatečné.

Další funkci, kterou plní regulátor, je obousměrný 32bitový čítač, sloužící pro zjišťování aktuální polohy daného motoru. Použitý rotační magnetický enkodér generuje 16 pulzů na jednu otáčku motoru, což je poměrně málo. Tuto hodnotu ale jde zvýšit vhodnou metodou počítání pulsů. Tento regulátor je vybaven kvadrurním dekodérem, což umožňuje zvýšit rozlišení 4x. Toho je docíleno tím, že se započítává každá změna logické úrovně na kanálu A i B. Tento princip je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 26. – možnosti dekódování i signálu z IRC

Z informací, které poskytuje rotační dvoukanálový enkodér je možné rovněž získat informaci o směru otáčení motoru. Toho je docíleno sledováním a vyhodnocováním pořadí sledu pulzů přicházejících z enkodéru. Princip je patrný z následujícího obrázku.



Obr. 27. - detekce směru otáčení motoru

Na základě těchto informací je v případě přijetí pulzu zvýšen nebo snížen obsah interního 32bitového čítače. Maximální možná napočítaná hodnota je $\pm 2^{31}$, protože jeden bit je využit pro uchování znaménka. Tato kapacita čítače představuje více než 400 000 otočení výstupní hřídele pohonu (tj. až za převodovkou) na každou stranu. Troufám si tvrdit, že to je více než daný pohon vykonal za celou svou dobu životnosti.

3.2.4 Komunikace s modulem

Pro komunikaci nadřazeného řídicího systému s regulátorem byl vytvořen jednoduchý komunikační protokol pro sběrnici I²C. Prostřednictvím tohoto rozhraní je

možno nastavovat žádanou hodnotu regulátoru, zvolit směr otáčení motoru, číst stav interního 32bit čítače a provést jeho vynulování. Nastavení hodnot se provede zápisem tří bajtů na adresu příslušného modulu. První dva bajty reprezentují 16ti bitový údaj o požadované rychlosti otáčení motoru (desired value). Nejprve se zasílá nižší bajt, poté vyšší. Číselná hodnota vyjadřuje požadovanou dobu mezi pulzy přicházejícími z enkodéru, což znamená, že čím je hodnota menší, tím se motor otáčí rychleji. Pokud je do regulátoru zaslána hodnota 0x0000 je činitel plnění pulzně šířkové modulace nastaven na 100%, zasláním hodnoty maximální, tj. 0xFFFF je motor zastaven (činitel plnění PŠM je 0%) a motorem neprochází žádný proud. Poslední z trojice zaslaných bajtů (control byte) obsahuje informace o směru otáčení motoru a požadavek na vynulování interního čítače regulátoru. Jednotlivé bity tohoto bajtu mají následující význam:

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	-	RST	DIR

RST	0	žádná akce
	1	dojde k jednorázovému vynulování čítače
DIR	0	otáčení proti směru hodinových ručiček
	1	otáčení po směru hodinových ručiček

Tab. 4. – Význam řídicího bajtu

Následující ukázka kódu v jazyce BASCOM demonstruje zapsání řídicích údajů do regulátoru. Adresa modulu je uložena v proměnné *l2c_motor_driver1_write*, žádaná hodnota v proměnných *w_low* a *w_high*. Výše popsany řídicí bajt je uložen v proměnné *control_byte*.

```

I2cstart           ' I2C START Condition
I2cwbyte l2c_motor_driver1_write ' Write Address & Write Request to I2C Bus
I2cwbyte w_low      ' Write low byte of desired value
I2cwbyte w_high     ' Write high byte of desired value
I2cwbyte control_byte ' Write control byte
I2cstop            ' I2C STOP Condition

```

Kod 3. – Zápis dat do modulu regulátoru

Pokud na adresu příslušného modulu zašle nadřazený řídicí systém požadavek ke čtení, regulátor vyšle čtveřici bajtů představujících okamžitou hodnotu interního čítače, která je zasílaná od nejvyššího byte po nejnižší byte dané proměnné. Viz následující ukázka kódu v jazyce BASCOM:

```
I2cstart                ' I2C START Condition
I2cwbyte I2c_motor_driver1_read ' Write Address & read Request to I2C Bus
I2crbyte Count_0, Ack    ' Read 1st byte and ACK
I2crbyte Count_1, Ack    ' Read 2nd byte and ACK
I2crbyte Count_2, Ack    ' Read 3rd byte and ACK
I2crbyte Count_3, Nack   ' Read 4th byte and NACK
I2cstop                 ' I2C STOP Condition
```

Kod 3. – Čtení dat z regulátoru

Poznámka:

Při vývoji tohoto regulátoru jsem narazil na nečekaný problém s použitým procesorem, který při současném zpracovávání přerušení od inkrementálního čítače, dále pak přerušení od časovače a od řadiče I²C sběrnice vykazoval nahodilé chyby. Ty způsobovali vznik neočekávaných stavů na I²C sběrnici, chybovost přenášených dat a další problémy. Tuto situaci jsem po dlouhém experimentování vyřešil tak, že jsem do komunikačního řetězce mezi nadřazený řídicí systém a modul regulátoru zařadil dva signální vodiče. Signál REQx (REQuest to communication) vysílá nadřazený řídicí systém při požadavku na komunikaci s příslušným regulátorem. Při změně úrovně signálu z logické 1 na logickou 0 dostane regulátor povel dokončit rozpracovaná měření a přepnout se do stavu čekání na přijetí zprávy. Jakmile toho dosáhne aktivuje druhý signální vodič RDYx (ReaDY to communication) čímž dá řídicímu systému najevo svou připravenost ke komunikaci, teprve až pak je možno zahájit komunikaci na I2C sběrnici se zvoleným modulem. Po jejím ukončení MASTER nastaví signál REQx opět na logickou 0. Toto opatření bezesbytku vyřešilo zmiňované problémy. Výše uvedené je znázorněno na následujícím příkladě.

```
'posli požadavek na komunikaci se slave
Set I2c_request_signal          'REQx

'pockej na potvrzení přípravy slave
While I2c_ready_signal = 0      'RDYx
Wend

I2start
...
I2cstop

' ukonci požadavek na komunikaci se slave
Reset I2c_request_signal
```

Kod 4 – Zahájení a ukončení komunikace s regulátorem

3.2.5 – Modul regulátoru – závěr

Navržený a realizovaný modul proporčního regulátoru plní v celém rozsahu požadované funkce. Je schopen nezávisle na řídicím systému regulovat otáčky připojeného motoru dle předem nastavených parametrů. V konstrukci robota byly použity hned tři tyto regulátory, pro každý pohon jeden.

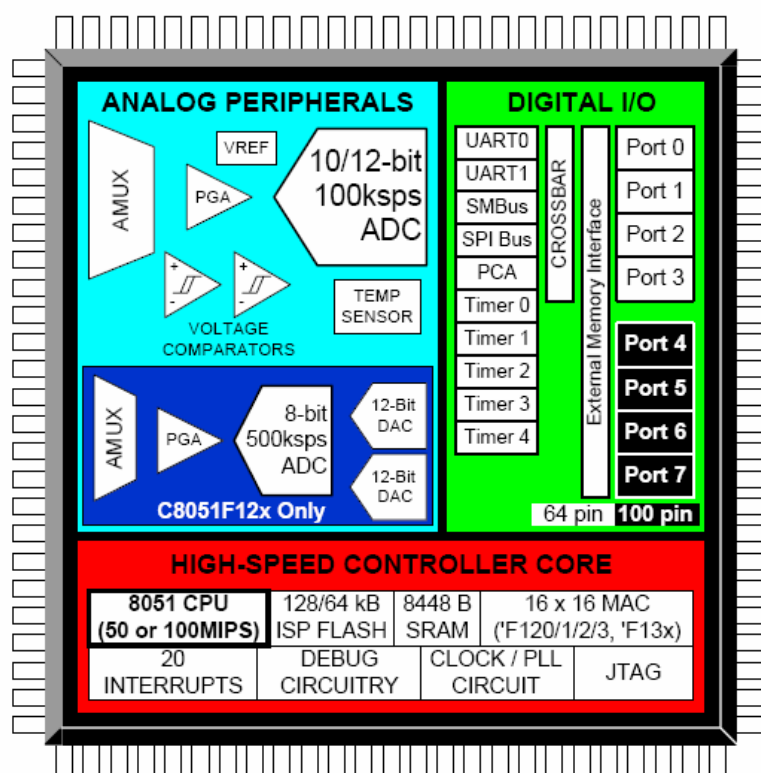
Modul nabízí široké možnosti rozšíření softwarového vybavení. Podle vzorů profesionálních regulátorů je možné jej doplnit o funkci programovatelného rozběhu a brzdění dle vhodné rampové funkce, dále pak je možno implementovat polohové řízení atd. Tyto možnosti rozšíření dalece převyšují rozsah který jsem tomu mohl v rámci diplomové práce věnovat. Modul regulátoru tak může posloužit jako základ pro další práce studentů. Stávající program zabírá v použitém mikroprocesoru 26% dostupné programové paměti, takže možnosti rozšíření jsou značné.

Díky vyvedeném sériovému komunikačnímu rozhraní (RS232-TTL) je možné modul použít i pro laboratorní úlohy demonstrující chování regulátoru s ohledem na dynamické změny požadovaných hodnot otáček či změny velikosti zátěže pohonu.

3.3. Řídicí systém robotu

V rámci úprav prováděných na mobilním robotu došlo k výměně modulu řídicího systému. Stávající, založený na procesoru SIEMENS MIK537, byl nahrazen řídicím modulem založeným na podstatně výkonnějším procesoru SILICON LABORATORIES C8051F120. Bližší informace o tomto procesoru je možné nalézt katalogových listech [14] dostupných na stránkách výrobce. Zde uvedu jen jeho hlavní rysy.

Jedná se o procesor typu RISC s Harvardskou architekturou, jejímž hlavním rysem je oddělení programové paměti od paměti dat (na rozdíl od procesorů známých ze světa osobních počítačů). Jádro procesoru (CIP-51) je plně kompatibilní s procesory řady 8051. Je vybaven 128kB programové paměti a 8448B datové paměti. Maximální dosahovaná rychlost díky integrované PLL násobičce je až 100 MIPS. Procesor disponuje 64mi vstupně výstupními porty. Má v sobě integrováno množství jednotek, jako je například AD převodník, DA převodník, rozhraní UART, SMBus, JTAG, SPI, napěťové komparátory, čítače, generátory PWM atd.



Obr. 28. - Blokové schéma procesoru C8051F120

Programování probíhá prostřednictvím rozhraní JTAG. Výrobce dodal k procesoru vývojové prostředí SILICON LABORATORIES IDE, které využívá pro kompilaci vytvářených programů překladač C51 společnosti KEIL GmbH [18]. Software vyvinut v rámci této diplomové práce je napsán v jazyce C51. Jazyky skupiny C patří mezi nejpoužívanější programovací prostředky vůbec. Umožňují efektivně vytvářet i poměrně komplikované programy. Vyznačují se generováním optimálního zdrojového kódu.

Procesor je vybaven poměrně zajímavou funkcí, nazvanou „CROSSBAR“ (Crossbar Priority Decoder) což je modul integrovaný v procesoru, který umožňuje jednotlivým pinům vstupně výstupních portů P0 až P3 přiřadit alternativní funkci (I2C, UART atd.). Což by mělo usnadnit vývoj desky plošných spojů do které bude procesor osazen. Tato variabilita ale není úplná, řídí se poměrně striktními pravidly popsanych v dokumentaci k procesoru. Tak jak je tato funkce výrobcem implementována v procesoru dle mého názoru přináší spíše více problému než výhod. Ideální by bylo, kdyby bylo možno výstupní piny konfigurovat neomezeně, jak je tomu např. u procesorů CYPRESS PSoC. Je však nezbytné s touto vlastností počítat při vývoji aplikace, a v rámci inicializace procesoru po startu je nutné nastavit Crossbar dle požadavků. Toto platí v případě, že chceme využívat libovolné alternativní funkce vstupně výstupních pinů.

Procesor je umístěn na vývojové desce C8051F120-TR, která umožňuje snadno vyvíjet prototypové aplikace tohoto procesoru. V průmyslové praxi slouží jako vývojový nástroj před nasazením procesoru do samotné aplikace. V tomto případě ale tato vývojová deska bude tvořit nedílnou součást robotu. Výroba speciální desky určené pro vestavění do robotu je v tomto případě zcela zbytečná a vzhledem k rozměrům pouzdra i poměrně komplikovaná.

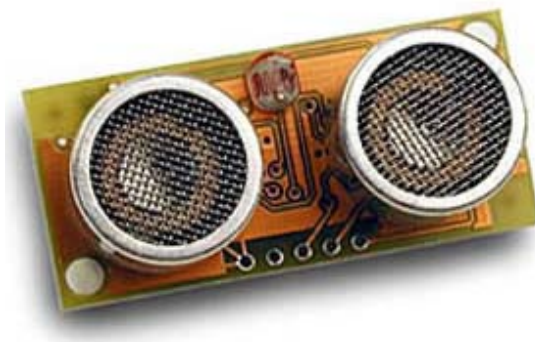
3.4. Ostatní prvky senzorického subsystému

Mobilní robot ke své činnosti využívá množství dalších senzorů, které byli jeho součástí už před započítím úprav řešených v této diplomové práci. Jejich podrobný popis byl řešen v pracích na které má navazuje, např. zde [10], je možné jej nalézt i v odborných publikacích zabývajících se mobilní robotikou [1] [2], či na příslušných internetových stránkách [21], [22], [23]. Já zde uvedu jen jejich základní charakteristiky. Princip komunikace s daným senzorem je zřejmý z přiložených zdrojových kódů řídicího programu.

3.4.1. Ultrazvukový dálkoměr SFR08

Robot je vybaven šesticí ultrazvukových dálkoměrů (sonarů), rozmístněných po obvodu robotu v pravidelném rozestupu po 60°. Komunikace s řídicím systémem robotu probíhá po sériové sběrnici I²C. SFR08 s následujícími parametry:

- pracovní frekvence 40kHz
- vyzařovací úhel sonaru je 72°.
- Napájení 5V/15mA (3mA standby)
- Rozsah 3cm - 6m
- Analogové zesílení 94 - 1025 v 32 krocích
- Světelný senzor
- Výstup I2C interface
- Rozměry 43x20x16mm

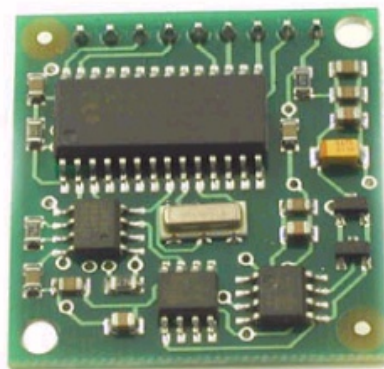


Obr. 29. - Ultrazvukový dálkoměr SFR08.

3.4.2. Elektronický kompas CMPS03

Dále je robot vybaven modulem kompasu CMPS03, který byl vyvinut speciálně pro použití v mobilní robotice jako významná pomoc při navigaci, výstupem kompasu je informace o orientaci modulu vůči magnetickému poli země. Kompas využívá dva na sobě kolmé detektory magnetického pole Philips KMZ51. Jejich výstup je zpracováván interním procesorem. Základní parametry kompasu jsou následující:

- Napájení 5V/20mA
- Rozlišení 0.1°
- Přesnost 3-4° (po kalibraci)
- Výstup 1 - impuls délky 1-37 ms s krokem 0.1 ms
- Výstup 2 - I2C interface 0-255, 0-3599, max. 1MHz
- Rozměry 32x34mm



Obr. 30. – Modul elektronického kompasu CMPS03

3.4.3. Modul digitální kamery CMUcam1

Robot je dále vybaven modulem digitální kamery, což je vlastně spojení mikrokontroléru SX28 s digitální CMOS kamerou OmniVision OV66220, což umožňuje jednoduchou manipulaci s daty získanými kamerou prostřednictvím sériového rozhraní RS-232. Kamera má rozlišení 80x143 bodů. Zabudovaný firmware umožňuje přes rozhraní RS232 mimo jiné přenášet barevný video obraz 17 snímků/s, definovat výřez obrazu a v něm zjistit a předávat souřadnice středu sledovaného barevného objektu včetně jeho rozměru (plochy), automaticky detekovat (naučit se) barvu objektu a ten

pak sledovat. Možné je také předávat jen vybraný sloupec (řádek) obrazu a tento jednorozměrný vektor pak analyzovat – např. neuronovou sítí. Kamera je připojena do řídicího procesoru prostřednictvím jednoho ze dvou rozhraní UART, kterými procesor disponuje.



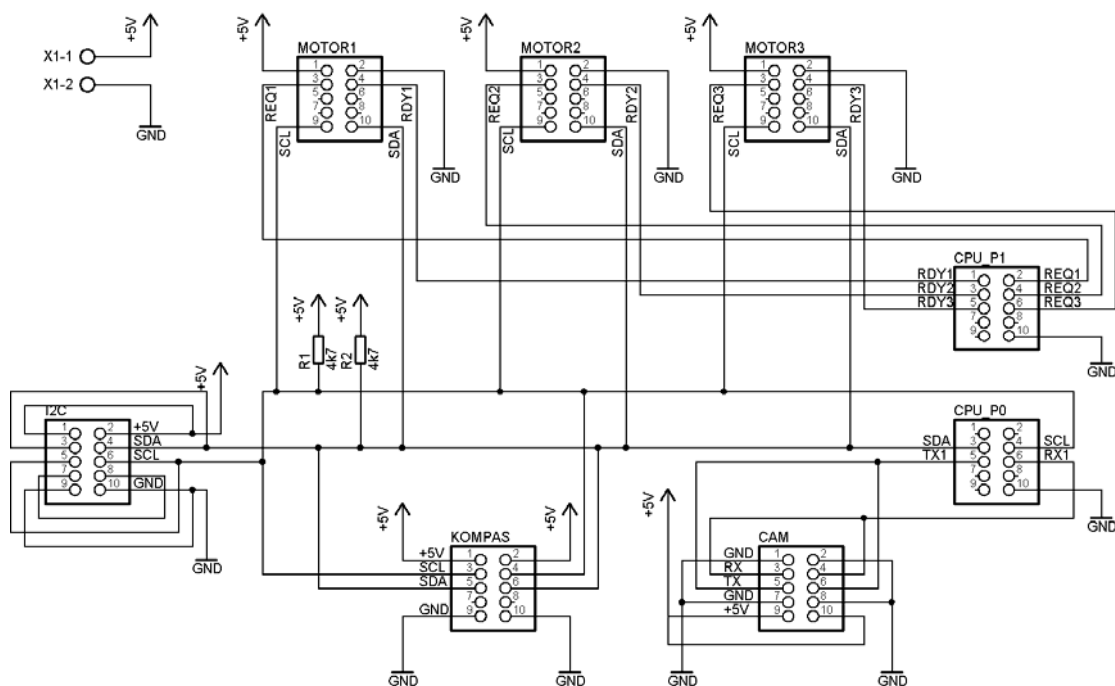
Obr. 31. – Modul digitální kamery CMUcam1

3.5. Modul systémové integrace

Rozšíření mobilního všesměrového robotu o všechny uvedené moduly si vyžádalo vyřešit jejich uspořádané připojení k desce řídicího mikroprocesoru. Z tohoto důvodu bylo nutno přistoupit k vývoji a k následné výrobě pasivní propojovací desky, která výše uvedené požadavky splňuje.

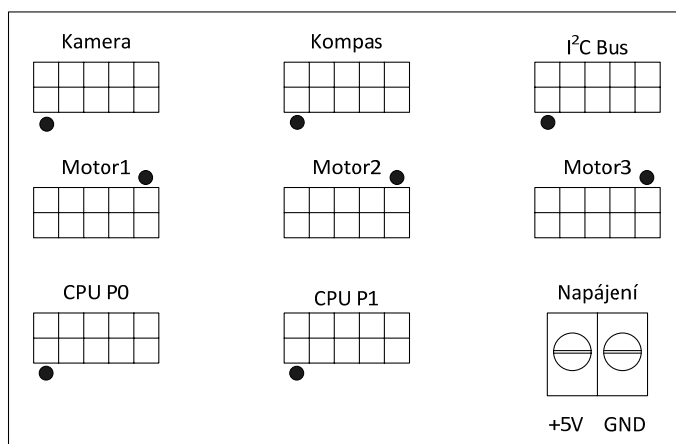
Deska je vybavena množstvím konektorů, které slouží pro propojení modulů regulátoru motorů a senzorického subsystému robotu s řídicím modulem. Má v sobě integrovány i tzv. zdvihací odpory o velikosti $4.7k\Omega$, které jsou nutné pro správnou funkci sběrnice I^2C . K desce řídicího systému se připojuje prostřednictvím dvou plochých 10ti žilových vodičů na porty P0 a P1. Datové konektory jsou realizovány pomocí tzv. PINHEAD konektorů (2x5), které se hojně používají ve výpočetní technice. Jejich protikusy, kterými jsou zakončeny propojovací kabely jsou samořezné konektory PFL-20. Byli zvoleny pro jejich snadnou montáž a poměrně velkou provozní spolehlivost.

Na následujícím obrázku je zobrazeno úplné schéma zapojené tohoto pasivního modulu. Hlavní funkce modulu je distribuce signálu dvou vodičové sériové sběrnice I²C a napájecího napětí +5V potřebné pro provoz všech připojených modulů.



Obr. 32 - Schéma zapojení modulu systémové integrace

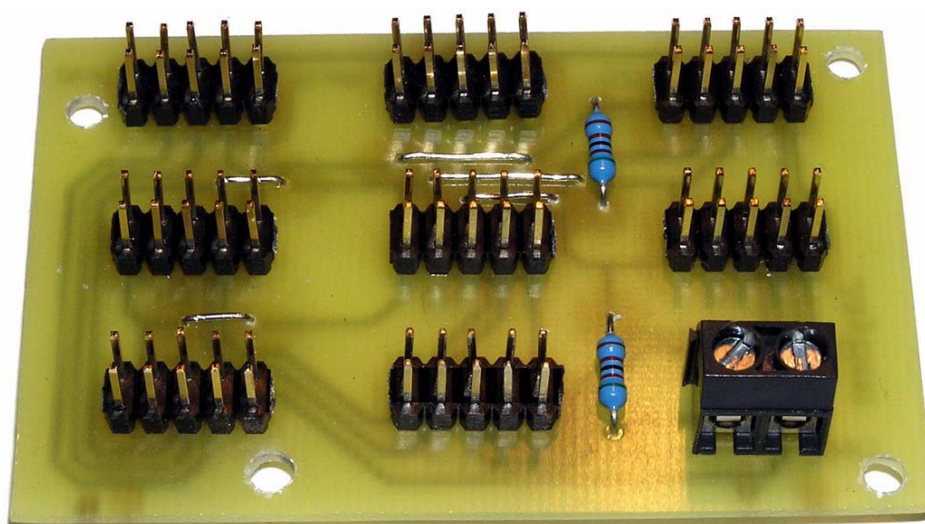
Popis a orientace jednotlivých konektorů je znázorněna na následujícím obrázku, význam jednotlivých pinů každého konektoru je pak vypsán v tabulce na následující straně. Černá značka u každého z konektorů označuje pin číslo 1.



Obr. 33 - Schéma zapojení modulu systémové integrace

PIN	Kamera	Kompas	I ² C Bus	Motor1	Motor2	Motor3	P0	P1
1	GND	+5V	+5V	+5V	+5V	+5V	-	RDY1
2	GND	+5V	+5V	GND	GND	GND	-	REQ1
3	RxD	SCL	SDA	REQ1	REQ2	REQ3	SDA	RDY2
4	RxD	SCL	SDA	RDY1	RDY2	RDY3	SCL	REQ2
5	TxD	SDA	SCL	-	-	-	TxD	RDY3
6	TxD	SDA	SCL	-	-	-	TxD	REQ3
7	GND	-	-	-	-	-	-	-
8	GND	-	-	-	-	-	-	-
9	+5V	GND	GND	SCL	SCL	SCL	-	-
10	+5V	GND	GND	SDA	SDA	SDA	GND	GND

Tab. 5. - Význam pinů konektorů desky systémové integrace



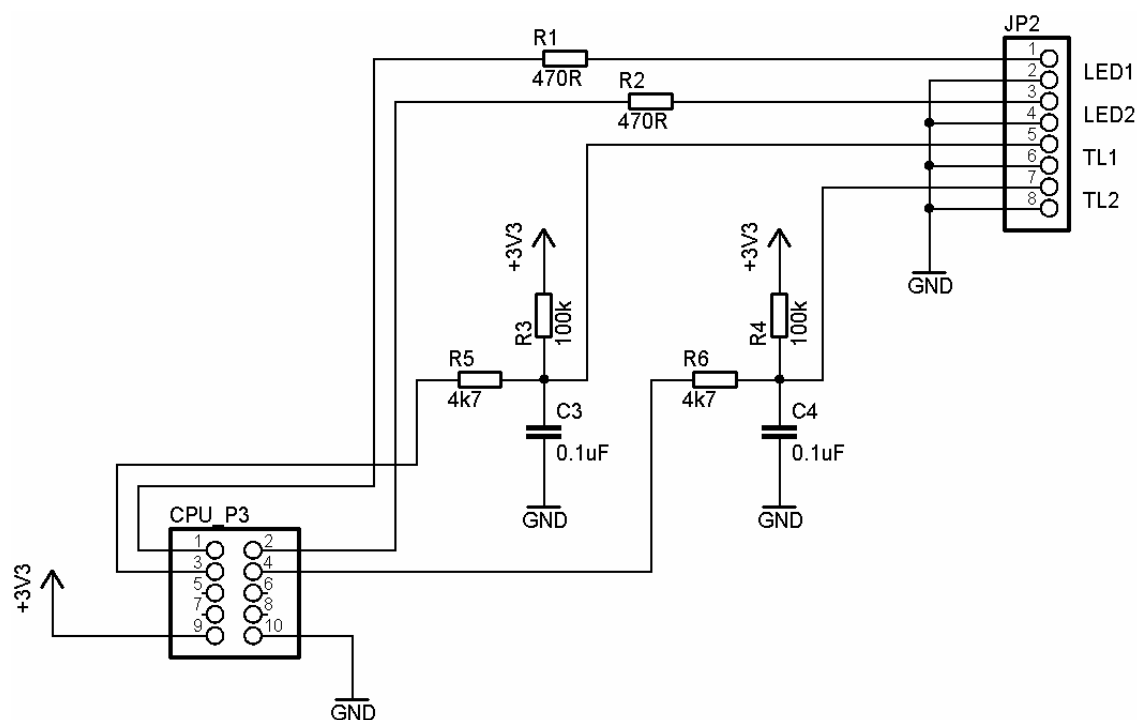
Obr. 34. - Fotografie hotového modulu

Při návrhu modulu byl opět použit CAD/CAM systém EAGLE, obrazec vedení spojů na desce je možné nalézt v příloze k této práci. Rovněž je k dispozici 3D vizualizace modulu. Z tohoto důvodu není nutné zařazovat tyto obrázky přímo do textu této práce.

Realizace tohoto modulu umožnila koncipovat propojení všech elektronických prvků použitých v mobilním robotu jako rozebíratelné, což je v případě robotu určeného pro laboratorní účely velká výhoda, protože můžeme předpokládat provádění změn v konfiguraci robotu. Toto řešení navíc usnadnilo vývoj celého zařízení včetně jeho montáže.

3.6. Rozhraní pro styk z uživatelem

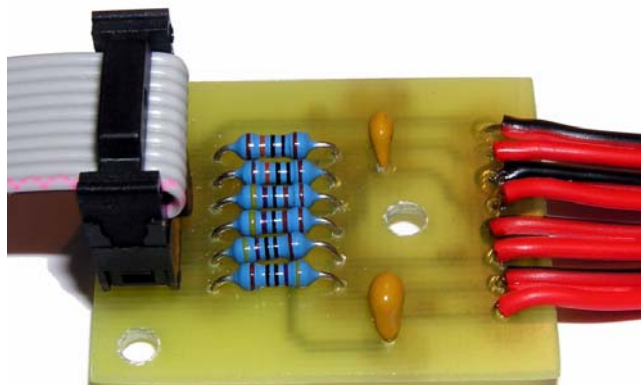
Přestože je robot vybaven autonomním řídicím systémem a lze jej ovládat i dálkově prostřednictvím osobního počítače je nutné aby bylo umožněno přímé ovládání robota prostřednictvím tlačítek umístěných na jeho těle. Dále je vhodné aby mohl robot bezprostředně informovat o svém provozním stavu, což je realizováno prostřednictvím dvou svítivých diod (LED) a displeje z tekutých krystalů (LCD). Toto uspořádání bylo použito již ve výchozí verzi robota. V rámci úprav bylo ale zásadně přepracováno s ohledem na použití nového typu procesoru. Na následujícím obrázku je zachyceno úplné schéma zapojení tohoto modulu.



Obr. 35. – Schéma zapojení modulu

Schéma zapojení i výběr použitých součástek vychází z dokumentace k vývojové desce procesoru C8051F120. Na této desce je obdobným způsobem zapojeno jedno testovací tlačítko (P3.7) a jedna kontrolní dioda (P1.6). Přípojný konektor je určen pro přímé připojení na jeden z portů vývojové desky. Konkrétně se jedná o port P3.

Modul umožňuje připojit k procesoru dvě svítivé diody a dva tlačítka. Obvod připojení tlačítek omezuje vznik překmitů, které mohou nastat při stisku či uvolnění příslušného tlačítka, a mohou zapříčinit to, že procesor interpretuje jeden stisk jako několik stisků což může být na závadu. Tyto zátky jsou vlastní každému mechanickému spínacímu prvku a není možno je úplně vyloučit proto je nutno upravit obslužný program tak aby tato vlastnost tlačítek byla adekvátně obsloužena.



Obr. 36. - Modul pro připojení tlačítek a LED

Součástí uživatelského rozhraní je i inteligentní displej z tekutých krystalů, který je schopen zobrazit 2x16 znaků. Displej je osazen obvyklým řadičem HD44780. Popis komunikace a připojovacího konektoru je k dispozici zde [8]. Pro propojení displeje s řídicím procesorem bylo nutno vyrobit odpovídající kabel. Jeho popis je patrný z následující tabulky.

LCD	GND	+5V	GND	RS	RD	EN	.	.	.	.	DB4	DB5	DB6	DB7	+5V	GND
pin:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

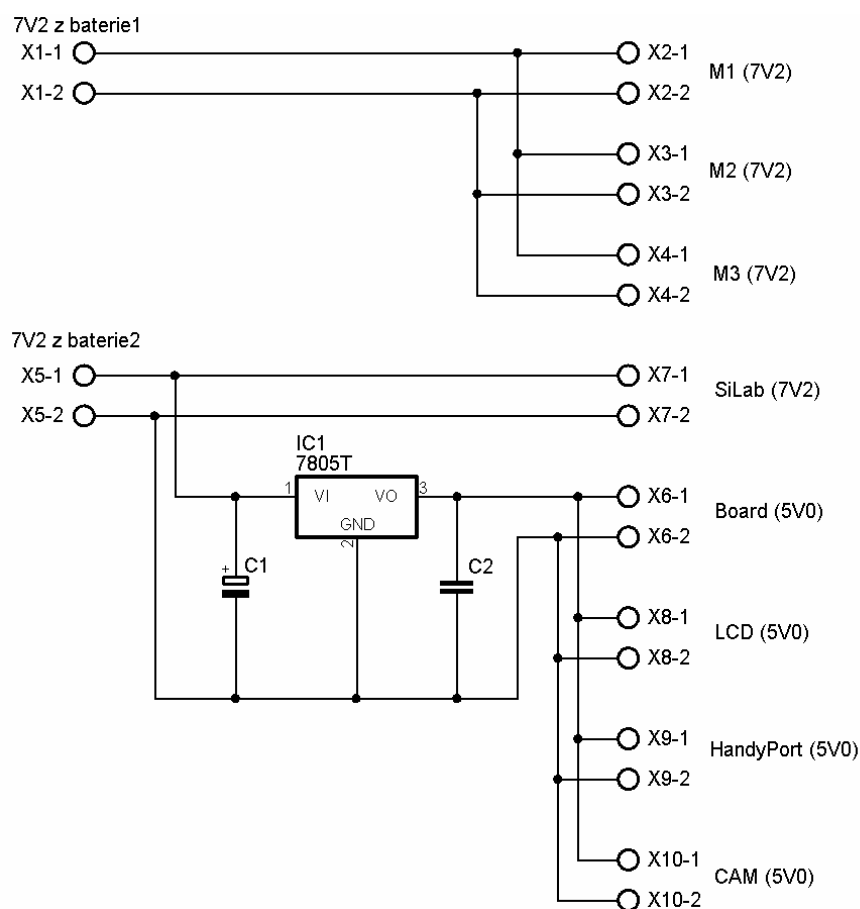
Port2	RS	RD	EN	.	DB4	DB5	DB6	DB7	.	GND
Pin:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

	GND	+5V
Napájení:	1	2

Tab. 6. Schéma kabelu LCD – CPU

3.7. Modul napájení

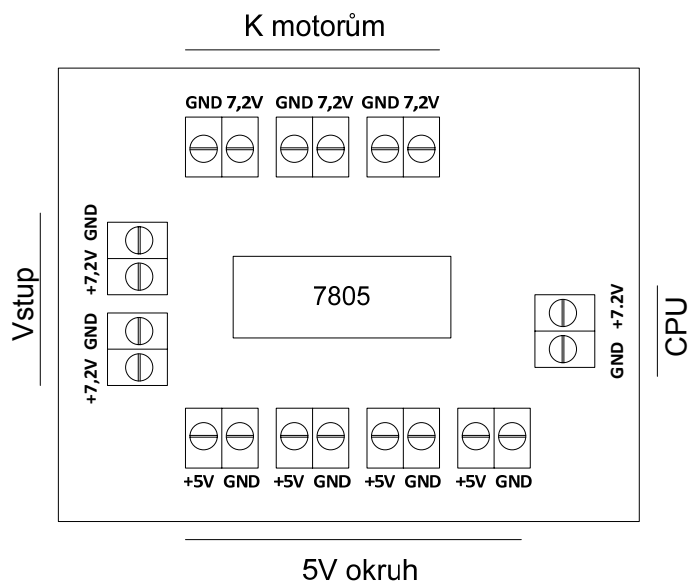
Posledním modulem, který je součástí robota a byl navržen a vytvořen v rámci této práce je modul zajišťující výrobu a distribuci odpovídajících napájecích napětí pro ostatní moduly robota včetně napájení pohonů. Modul je vybaven svorkovnicemi umožňující rozebíratelné spojení napájecích vodičů. Tvoří jej dva oddělené bloky, jeden zajišťuje přenos energie do pohonů, druhý blok je vybaven lineárním stabilizátorem L7805, který stabilizuje vstupní napětí na hodnotu 5V. Schéma tohoto modulu je na následujícím obrázku.



Obr. 37. - Schéma zapojení modulu napájení

Napájení robota je řešeno dvěma na sobě nezávislými větvemi. Jedna z nich je určena pouze pro napájení pohonů, druhá slouží k napájení ostatní elektroniky. Toto rozdělení je z důvodů eliminace vzájemného rušení, které může vznikat při regulaci spínání napájení jednotlivých pohonů a může se negativně promítat do funkce

ostatních částí robotu. Robot může být napájen z tužkových baterií, které si vozí sebou a nebo dálkově pomocí kabelů. Na horní straně robotu jsou umístěny konektory a přepínače, určující zda je napájení dané větve vypnuto, napájeno z baterie a nebo externě.



Obr. 38. - Popis konektoru modulu napájení



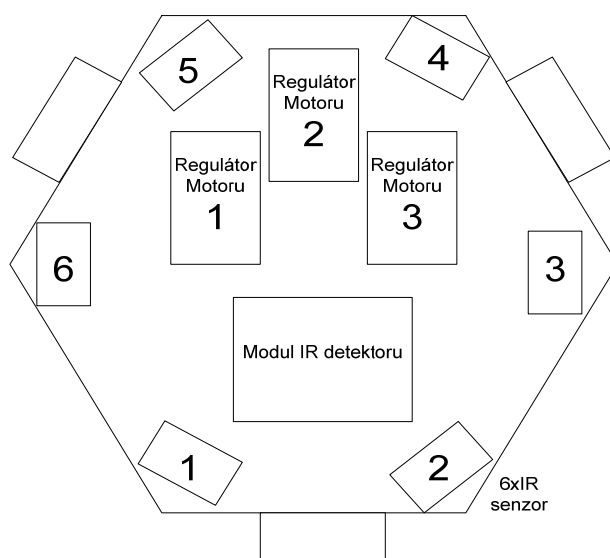
Obr. 39. - Fotografie hotového modulu

Zajištění kvalitního napájení je základem spolehlivého fungování jakéhokoli elektronického systému, nejinak tomu je i tu tohoto mobilního robotu. Tento modul tento požadavek plní.

3.8. Mechanické řešení robotu

Koncepce mobilního všesměrového robotu vychází z původní konstrukce. Tělo robotu je ve tvaru pravidelného šestiúhelníku, (průměr opsané kružnice 240mm). Došlo k změně materiálu použitého na nosné desky robotu. Použití plexiskla se neukázalo jako výhodné, protože je poměrně křehké. Vzhledem k tomu že na rám jsou kladeny nemalé mechanické nároky, docházelo k jeho praskání a destrukci. Proto byl pro upravenou konstrukci zvolen materiál jiný, jedná se rovněž o plast, který ale je odolnější.

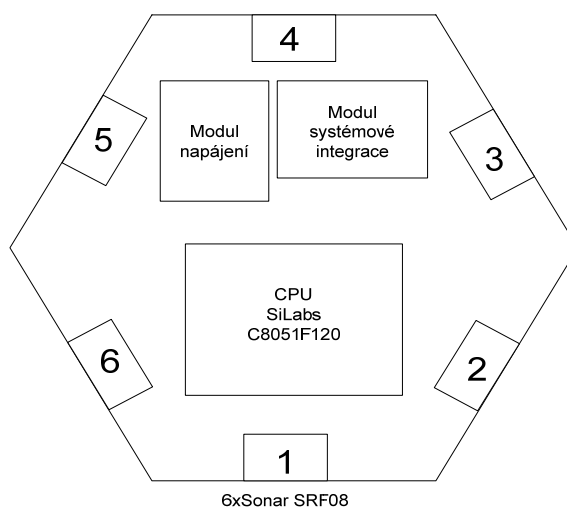
Tělo robotu bylo zhotoveno jako soustava „pater“, každé patro je tvořeno nosnou deskou, jejich vzájemná poloha je vymezena distančními sloupky. První patro robotu nese ze spodní strany pohony. Z horní strany je osazeno moduly regulátorů, modulem IR detektoru a jednotlivými IR senzory.



Obr. 40. – Rozmístění modulu v prvním patře robotu

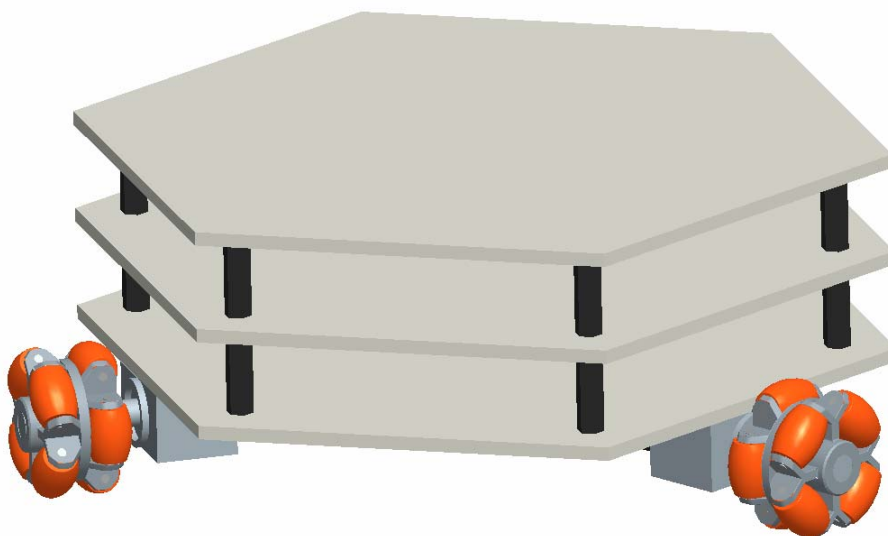
Druhé patro slouží jako nosič desky řídicího modulu, modulu napájení a modulu systémové integrace. Po obvodu jsou rozmístěny pravidelně po 60° ultrazvukové sonary. Jsou ale vzájemně posunuty oproti IR senzorům umístěným o patro níže. Toto posunutí činí 30°, čímž je zajištěno vyšší pokrytí okolí robotu senzory. Otvory v nosných deskách je umožněno vedení datových a napájecích vodičů mezi jednotlivými

podlažími. Na následujícím obrázku je schéma rozmístění modulů v prostředním patře.



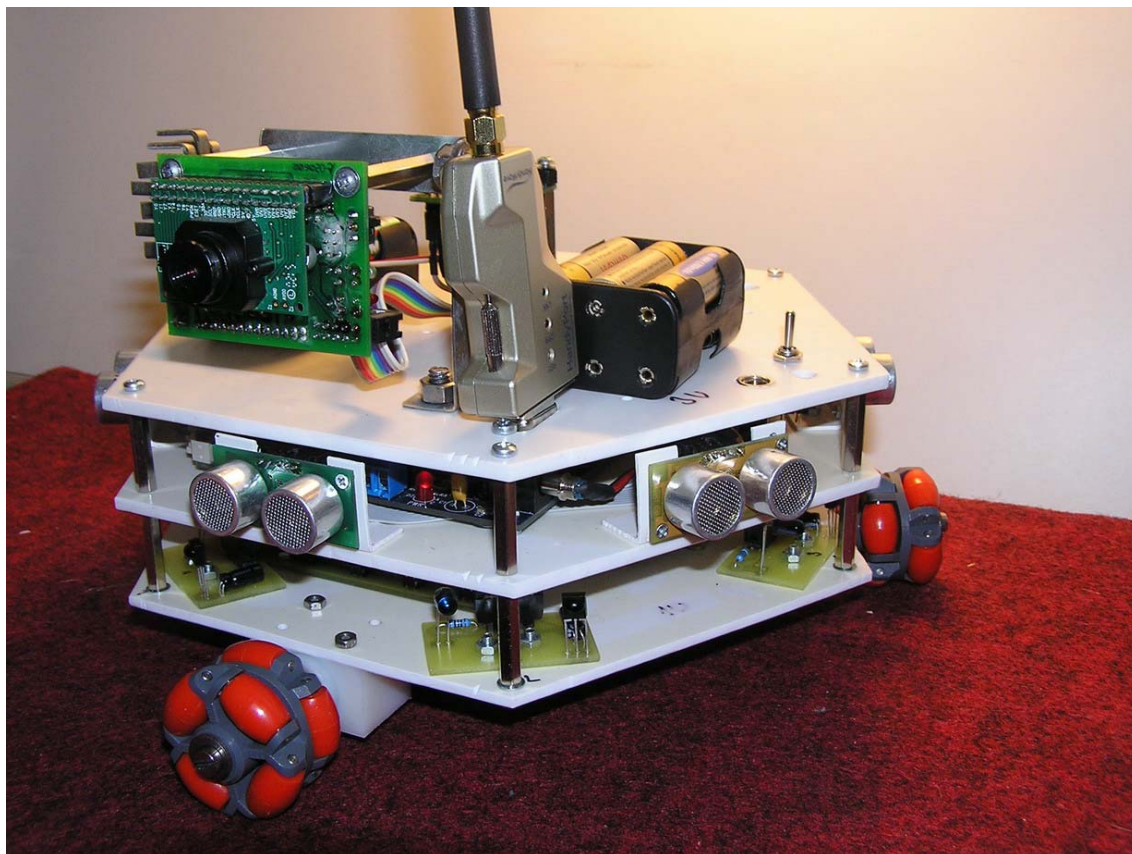
Obr. 41.. – Rozmístění modulů v druhém patře robota

Třetí patro tvoří horní kryt robota, je osazeno rozhraním pro komunikaci robota z uživatelem, konektory pro připojení napájecího napětí, přepínači volby napájení. Dále jsou zde umístěny baterie, kamera a modul kompasu.



Obr. 42.. – 3D model nosného rámu robota

Celková hmotnost robotu včetně baterií činí dva kilogramy. Doba provozu na baterie je velmi závislá od stylu provozování, dosahovaných rychlostí i typu použitých akumulátorů. Na následující fotografii je zobrazen sestavený robot.



Obr. 43. - Fotografie sestaveného robotu

4. Popis softwarového vybavení

Software je nedílnou součástí každého, byť jen trochu složitějšího elektronického zařízení. Bývá též označován pojmem *firmware*, který vyjadřuje to, že ho do zařízení vtisknul již jeho výrobce a je jeho součástí. Nejinak je tomu i u mobilního robotu, který je předmětem této práce. Firmware jednotlivých dílčích modulů robotu byl popsán v předcházející kapitole. Nyní následuje popis řídicího systému, který koordinuje činnost všech částí robotu.

Řídicí software robotu je uložen v paměti flash procesoru C8051F120. Je vytvořen ve vývojovém prostředí dodaným výrobcem procesoru, společností SILICON LABORATORIES Inc. Vývojové prostředí používá pro kompilaci a překlad programů Jedná se o standardní jazyk C51 společnosti KEIL [18]. Řídicí software robotu rozdělen do dvou logických vrstev.

4. 1. Nejnižší úroveň řízení

Nejnižší úroveň řízení robotu plní tři hlavní úlohy. Zajišťuje sběr dat z čidel robotu, řeší pohybové rovnice robotu a obstarává komunikaci s nadřazeným řídicím systémem. Komunikace se senzorickým subsystémem robotu je realizována prostřednictvím sběrnice I2C. K tomu slouží knihovna *i2c.c* která obsahuje následující funkce pro práci s touto sběrnicí

- **void I2C_Init(void)**
- **void I2CSendAddr(unsigned char addr, unsigned char rd)**
- **I2CSendByte(unsigned char byte_data)**
- **unsigned char I2CGetByte(void)**
- **unsigned char I2CGetLastByte(void)**
- **void I2CSendStop(void)**

význam jednotlivých funkcí je zřejmý z jejich názvů. Při startu procesoru je nutné sběrnicí inicializovat. Komunikace na sběrnici se zahajuje vyvoláním funkce **I2CSendAddr**, která zajišťuje vyvolání podmínky START na sběrnici I2C, poté

následuje zaslání adresy, která byla funkci předaná jako parametr *addr*. Druhý parametr *rd* určuje zda bude MASTER obvod na sběrnici zapisovat (*rd* = 0) a nebo zda bude číst data zaslaná zvoleným SLAVE obvodem (*rd* = 1). Poté je třeba na sběrnici data umístit (**I2CSendByte**) a nebo z ní data přečíst (**I2CGetByte**). Pro čtení posledního bajtu dat je nutno použít funkci **I2CGetLastByte**, která zajistí po přijetí vyslaného bajtu vyvolání signálu NACK, což signalizuje ukončení komunikace. Na závěr přenosu musí být MASTER obvodem vygenerována STOP podmínka, k tomu je určena funkce **I2CSendStop**. Pomocí těchto šesti funkcí, které tvoří knihovnu *i2c.c* je možné poměrně snadno realizovat komunikaci na sběrnici I2C v programovacím jazyku C. Tento jazyk totiž nemá nativní podporu pro I2C sběrnici, na rozdíl např. od jazyka Bascom.

Další knihovnu, kterou bylo potřeba v rámci práce naprogramovat je knihovna pro obsluhu znakového displeje (LCD). Při jejím vývoji jsem vycházel z dostupné literatury, např. [8]. Při práci z knihovnou jsou podstatné dvě její funkce, a to funkce `lcd_init()`, která provádí inicializaci řadiče displeje. Její průběh je zdokumentován v popisu daného obvodu. Druhou důležitou funkcí je funkce `lcd_puts(char *retezec)`, která zašle obsah řetězce uložený od pozice dané ukazatelem v parametru funkce. Odeslány budou všechny znaky řetězce, konec řetězce je reprezentován hodnotou 0x00.

Poslední knihovnou pro práci se standardními perifériemi je knihovna pro práci s rozhraním UART. Ta je tvořena obsluhou příslušného přerušení, prostřednictvím které je realizováno přijetí či odesílání dat.

Za použití výše uvedených funkcí jsem vytvořil knihovnu funkcí zajišťujících sběr dat ze sensorického subsystému robotu, který se cyklicky opakuje. Shromážděná data slouží jako podklad pro rozhodování ve vyšší úrovni řídicího programu. Dále je k dispozici funkce

void motors(float angle, float speed, float rotation)

která řeší pohybové rovnice nutné pro pohyb robotu. Jejími parametry jsou *angle*, *speed* a *rotation*, které stačí pro definici pohybu robotu. Parametr *angle* je údaj ve

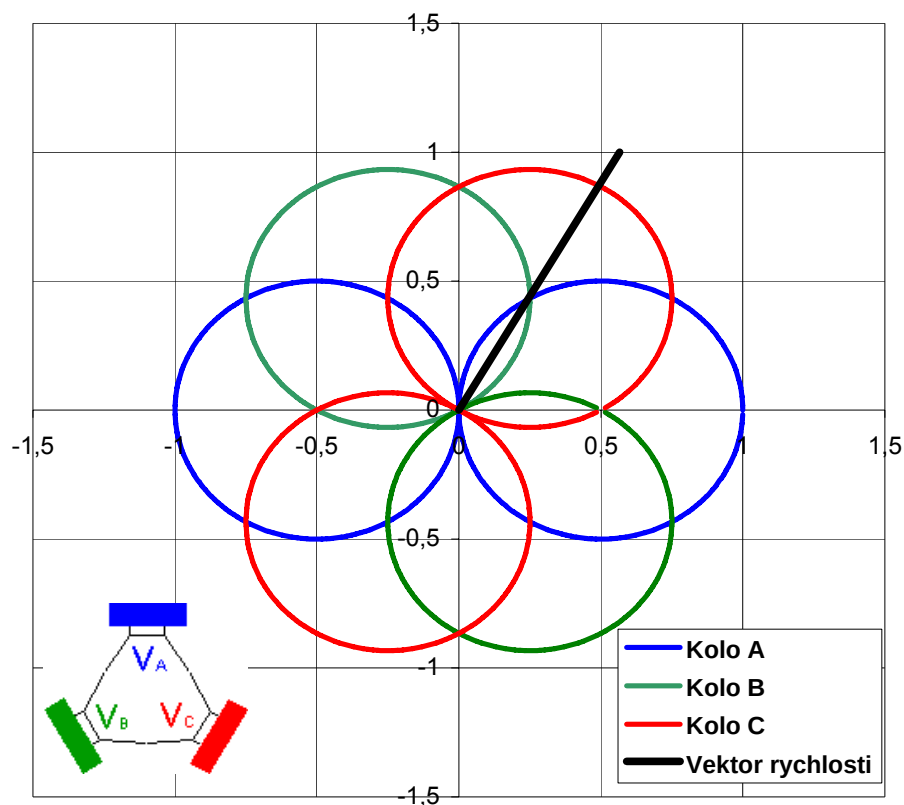
stupních, reprezentující úhel kterým se má robot vydat, parametr *speed* (0-1) určuje rychlost pohybu zadaným směrem. Poslední parametr, *rotation* udává rotační složku pohybu, takže např. při zavolání funkce *motors* s parametry(0, 0, 1) dojde k otáčení robota na místě maximální rychlostí. Vhodnou kombinací výše uvedených parametrů můžeme docílit libovolný pohyb robota. Funkce řeší následující pohybové rovnice

$$v_a = v_x - r \cdot \varpi$$

$$v_b = -v_x \cdot \cos(60) + v_y \cdot \sin(60) - r \cdot \varpi$$

$$v_c = -v_x \cdot \cos(60) - v_y \cdot \sin(60) - r \cdot \varpi$$

Tyto pohybové rovnice určují závislost mezi obvodovou rychlostí jednotlivých kol na velikosti a směru požadovaného translačního pohybu. Tento vektor je vyjádřen složkami V_x a V_y . Člen $r \cdot \omega$ představuje rotační složku pohybu robota. Odvození těchto rovnic bylo provedeno zde [10]. Z rovnic je možno sestavit graf, ze kterého je patrné jaké rychlosti jednotlivých kol je potřeba nastavit aby se robot vydal žádaným směrem.



Obr. 44. - Stanovení rychlosti jednotlivých kol

Diagram slouží pro převod požadovaného vektoru rychlosti pohybu robotu na rychlosti a směr otáčení jednotlivých kol. Rychlost jednotlivých kol robotu je přímo úměrná vzdálenosti průsečíku vektoru rychlosti (černá přímka) s kružnicemi odpovídajícími jednotlivým kolům. To která ze dvou kružnic náležícímu danému kolu byla vektorem prořazena určuje směr otáčení kola.

Další funkci, která logicky spadá do oblasti nižší úrovně řízení je funkce

void sensors (void)

Tato funkce má za úkol přenést informace získané jednotlivými senzory do řídicího mikroprocesoru na příslušná paměťová místa, ze kterých si je může přečíst vyšší úroveň řízení.

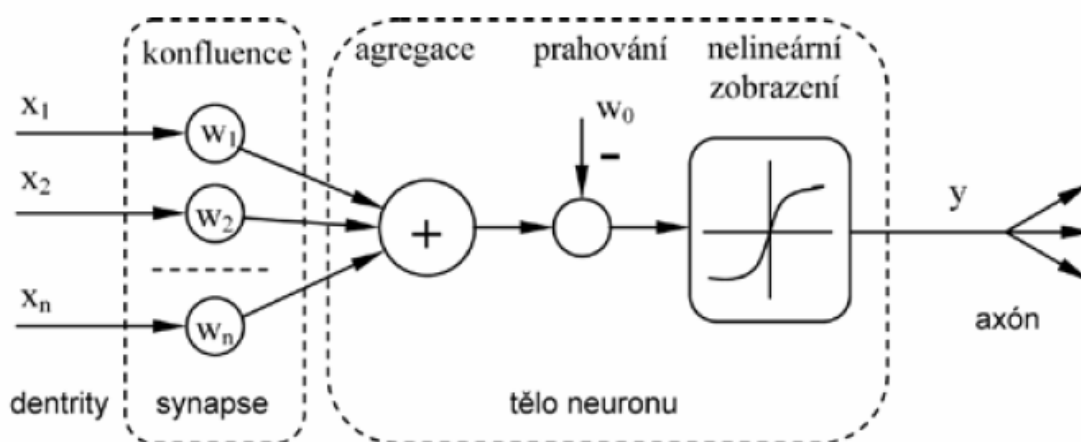
4. 2. Vyšší úroveň řízení – neuronová síť

Neuronové sítě vycházejí z biologické předlohy uspořádání neuronů v lidském mozku. Mozková kůra obsahuje velké množství neuronů, z nichž každý může být propojen až s 5000 jinými. Každý neuron se skládá z těla - somy, vstupních výběžků - dendridů, výstupního vlákna - axonu, které je na konci rozvětveno. Propojení je realizováno tak, že terminály axonu se stýkají s výběžky - trny dendridů jiných neuronů. K přenosu informace slouží mezineuronové rozhraní nazývané synapse, které mohou být buďto excitační, rozšiřující vzruch, nebo inhibiční, vzruch tlumící. Pokud je neuron na vstupech podrážděn a toto podráždění přesáhne určitou hraniční mez nazývanou práh, sám generuje impuls a tím je zajištěno šíření informace. Toto biologické uspořádání slouží jako základ pro jeho matematické modelování. Dlouhá léta evoluce ukázala, že je tento princip životaschopný a úspěšný.

Hlavní výhodou neuronových sítí oproti klasickým systémům je jejich schopnost se učit. Požadovanou funkci sítě neprogramujeme pomocí přesného popisu algoritmu výpočtu funkční hodnoty, ale síť sama abstrahuje a zobecňuje v procesu učení ze vzorových příkladů. Schopnost učit se a zobecňovat je typickou vlastností lidské inteligence. V tomto smyslu neuronová síť připomíná inteligenci člověka, který získává

mnohé znalosti a dovednosti ze zkušenosti, kterou často není schopen formulovat pomocí přesných pravidel a algoritmů. Neuronové sítě nacházejí své uplatnění především tam, kde klasické řídicí postupy selhávají. Jde o úlohy, kde není znám algoritmus nebo je analytický popis pro počítačové zpracování příliš komplikovaný. Zejména se uplatní tam, kde jsou k dispozici rozsáhlé soubory příkladových dat, pokrývajících dostatečně celou oblast problému.

Na základě výše zmíněných poznatků z biologické stavby neuronu, byl zhotoven jeho matematický popis. Schéma tohoto popisu je zobrazeno na následujícím obrázku



Obr. 45. - Matematický model neuronu

Podrobný popis problematiky neuronových sítí dále přesahuje rámec této diplomové práce, navíc byl již řešen v předchozích pracích na katedře robototechniky [26] nebo v jiných odborných publikacích, např. [1], [9] či [11].

4. 2. 1. Stanovení prezentačních úkolů

Pro demonstraci využití aplikace neuronové sítě pro řízení mobilního robotu je potřeba stanovit si úkol, který má daná neuronová síť řešit. Vzhledem k omezeným možnostem pohybu robota (pro bezchybný pohyb je nutno zajistit kvalitní podklad, je vysvětleno dále) jsem zvolil úlohu, kdy robot bude ve výchozí poloze v klidu sledovat své blízké okolí. Pokud neuronová síť vyhodnotí, že došlo k narušení tohoto okolí, provede úhybný manévry tak aby bylo sledované okolí opět bez překážky. Tato úloha by

se dala označit pojmem „keep away algorithm“ Tento požadavek je vhodný úkol pro nasazení principů neuronové sítě do řízení robotu, protože realizovat ho klasickými programovými technikami by bylo sice řešitelné, ale značně náročné na množství podmínek které by musel tento algoritmus vyhodnocovat.

Aplikací neuronové sítě pro tento typ robotu je celá řada. Jednou z nich může být prezentační úloha přesně opačného charakteru. Robot je opět v klidu, připojenou kamerou sleduje obraz před sebou. Je nutné aby operátor umístil do zorného pole kamery kontrastní předmět který bude robot monitorovat. V případě že dojde k pohybu tohoto předmětu, neuronová síť zareaguje tím, že uvede robota do pohybu tak, aby sledovaný objekt byl stále v zorném poli kamery a vzdálenost mezi objektem a robotem byla konstantní. Tento proces můžeme označit jako „follow algorithm“.

4. 2. 2. Neuronová síť typu Asociativní paměť

Pro řešení výše zmíněných úloh jsem zvolil jednovrstvou neuronovou síť, typu „asociativní paměť“ resp. lineární asociátor. Jedná se o jednovrstvou strukturu neuronů s lineární aktivační funkcí $f(w)$. Funkcí této sítě je asociovat vstupní vzor (vstupní vektor) s výstupním stavem. Jako vstupní vektor je v tomto případě vektor sestavený z údajů získaných ze senzorického subsystému robotu. Výstupním vektorem je pak údaj o směru a rychlosti pohybu robotu, který je předán ke zpracování nižší úrovni řízení. Tyto asociace je potřeba síť předem „naučit“, což je popsáno v následující kapitole. Tento typ sítě byl nezávisle popsán Jamesem Andersonem a Teuvo Kohonenem v roce 1972. Formálně lze tedy funkci lineární asociativní sítě $y(w)$ zapsat takto

$$y(w) = \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot x_i$$

Tento vztah je možno zapsat i v maticovém podání, kdy jsou vstupní hodnoty chápány jako vstupní vektor $x = (x_1, \dots, x_n)$ typu $n \times 1$. Stejně tak je možno chápat výstupní vektor $y = (y_1, \dots, y_n)$ a konfigurace sítě je dána váhovou maticí W typu

$m \times n$ její řádky $w = (w_{j1}, \dots, w_{jn})$ odpovídají synoptickým vahám vstupu výstupních neuronů j . Tuto matici je možno tedy zapsat následovně:

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & \cdots & w_{mn} \end{pmatrix}$$

Při tomto označení je možno aktivní dynamiku lineární asociativní sítě formálně zapsat jako maticový součin

$$y = Wx$$

Použití této neuronové sítě pro řízení robotu je umožněno zvládat i situace a stavy, které nebyli předpokládány v procesu učení sítě, a umožňuje tak napodobit jistou úroveň inteligence v procesu rozhodování řídicího systému a tím i celého robotu.

4. 2. 3. Učení neuronové sítě

Lineární asociativní síť sama o sobě žádnou úlohu neplní, pro konkrétní aplikaci je potřeba ji totiž podrobit procesu učení (adaptace sítě). Proces učení spočívá v naplnění jednotlivých členů váhové matice W vhodnými konstantami tak aby síť plnila požadovanou funkci. Proces učení sítě v této práci byl motivován neurofyziologickým *Hebbovým zákonem*, který tvrdí, že změna synoptické váhy spoje mezi dvěma neurony je úměrná jejich souhlasné aktivitě, tj. součinu jejich stavů. Donald Hebb tímto způsobem vysvětloval vznik podmíněných reflexu, kdy současná aktivita (popřípadě pasivita) prvního neuronu odpovídající podmínce (příčně) a druhého neuronu vyvolávající reflex posiluje synoptickou vazbu spoje směrem od prvního k druhému neuronu. Obráceně opačná aktivita těchto neuronu tuto vazbu oslabuje.

Hebbův zákon lze tedy formálně shrnout do následující adaptivní dynamiky lineární asociativní sítě. Na začátku adaptace v čase 0 jsou všechny váhy konfigurace nulové, tj. $w_{ji}^{(0)} = 0$ ($j = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$). V diskrétním čase adaptace $t = 1, \dots, p$ kdy je síti předložen k -tý tréninkový vzor ($k = t$) se váhy adaptují podle Hebbova zákona.

$$w_{ji}^t = w_{ji}^{t-1} + d_{kj} \cdot x_{ki}$$

Vzhledem k tomu, že adaptivní režim v tomto případě skončí po p krocích, kdy jsou již všechny tréninkové vzory naučeny, lze výslednou konfiguraci formálně vyjádřit jako konečný součet

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^p d_{kj} \cdot x_{ki}$$

Adaptivní dynamiku lineární asociativní sítě je možno také přehledně vyjádřit pomocí maticového zápisu

$$W^{(0)} = 0 \quad W^{(k)} = W^{(k-1)} + d_k \cdot x_k^T$$

Kde T značí transpozici matice, 0 je nulová matice (tj. její prvky jsou nulové) a váhová matice $W^{(k)}$ určuje konfiguraci sítě v čase adaptace $t = k$. Výslednou konfiguraci lze tedy zapsat jako součin matic

$$W = W^{(p)} = \sum_{k=1}^p d_k \cdot x_k^T = DX^T$$

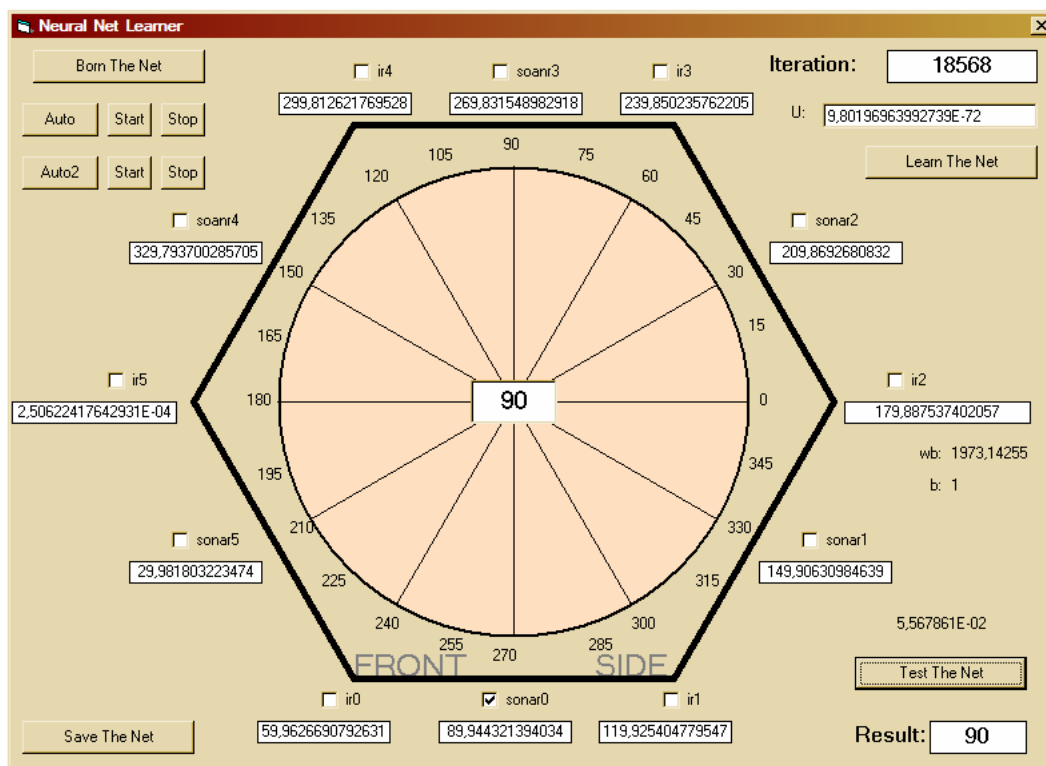
Kde sloupce matice X typu $n \times p$, resp. matice D typu $m \times p$ jsou vstupy x_k ($k = 1, \dots, p$) resp. požadované výstupy d_k tréninkových vzorů, tj.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1n} & \cdots & x_{pn} \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{1m} & \cdots & d_{pm} \end{pmatrix}$$

Podle výše uvedeného byl sestaven v prostředí Visual Basic program, který na základě požadavků řešené úlohy Hebbovým algoritmem vytvoří soustavu vah pro každý senzor, která po přenesení do řídicího systému robotu, poslouží jako základ neuronové sítě řešící daný problém.

Program umožňuje simulovat aktivaci jednotlivých senzorů, a zadat žádanou odezvu sítě. Poté je potřeba takto připravený vzor sít naučit. Procesem učení se upraví váhy jednotlivých senzorů. V případě, že tento proces bude opakován dostatečný počet iterací, síť se prostřednictvím vah adaptuje na požadovanou úlohu a v případě, že ji je v jejím provozu předložen známý vzor, dojde k předem naučené reakci.

Na následujícím obrázku je zobrazena obrazovka programu, realizující Hebbův algoritmus učení.



Obr. 46. - Prostředí simulačního programu

4. 2. 4. Implementace neuronové sítě do algoritmů řízení robota

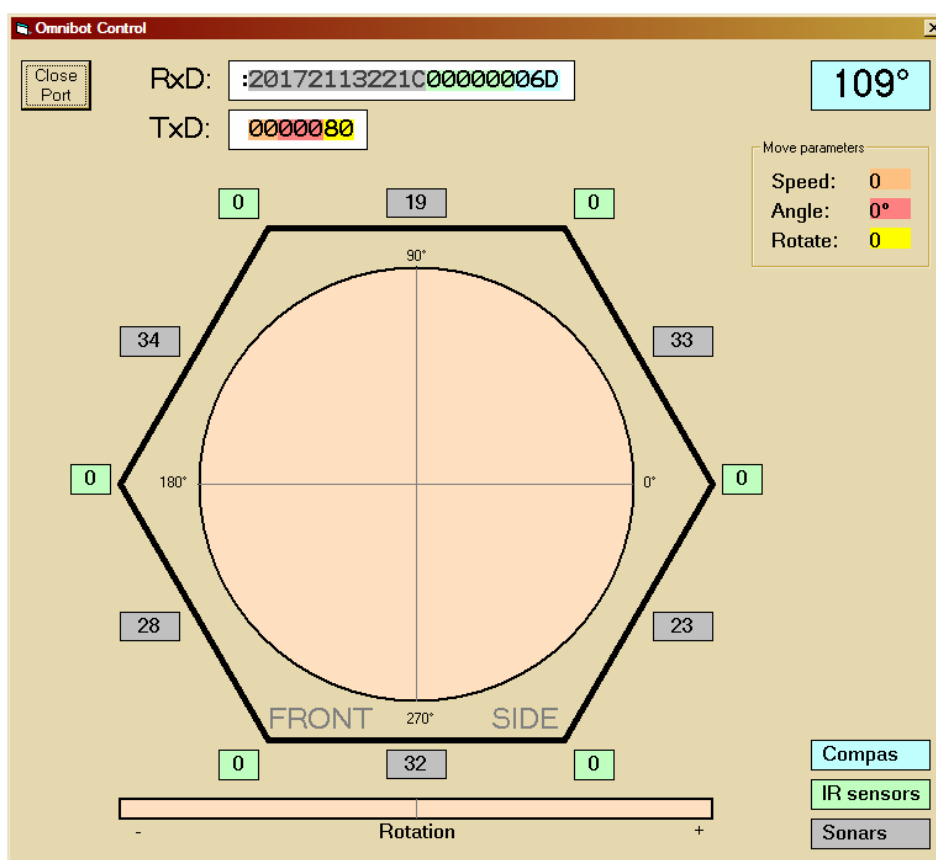
Implementace neuronové sítě do řídicího systému mobilního robota je provedena v rámci vyšší úrovně řízení. V programovacím jazyce C51 byla vytvořena funkce **void hide(void)**, které řeší zadanou úlohu (vyhýbání se pohybujícím se překážkám) prostřednictvím principů neuronové sítě popsaných výše.

V případě, že je zvolen autonomní režim pohybu robota, je funkce periodicky volána z hlavní programové smyčky. Jejím úkolem je asociovat informace dodané senzoričtým subsystémem s předem naučeným vzorem a na základě toho rozhodnout o směru a rychlosti pohybu robota.

Jako vstupní vektor slouží informace ze senzoričtého subsystému upraveny na diskretní hodnotu (je překážka/není překážka). Úroveň kdy je detekována překážka, je stanovena tak, aby se setřeli rozdíly mezi odezvou IR snímačů a sonarů.

4. 3. Ovládání prostřednictvím PC

V rámci diplomové práce byl vyvinut v prostředí programovacího jazyka Visual Basic i ovládací software včetně grafického uživatelského prostředí (GUI) pro manuální řízení pohybu robota prostřednictvím osobního počítače. Tento program umožňuje zadávat robotu směrový vektor pohybu či parametry rotačního pohybu. Dále tento program načítá a vizualizuje údaje získané ze senzorického subsystému robota, tj. údaje z kompasu, sonarů a z IR detektorů. Pro potřeby ovládání bylo vytvořeno následující grafické prostředí:



Obr. 47. - Grafické uživatelské prostředí ovládacího programu.

Požadovaný směrový vektor robota se volí kliknutím myši do prostoru směrového kruhu. Požadovaná rychlost je přímo úměrná velikosti vektoru spojujícího střed s místem kliknutí. Směr tohoto vektoru představuje směr pohybového vektoru robota.

Zastavení se provádí uvolněním stisku tlačítka myši (tím je zajištěno bezpečnostní zastavení). Obdobným způsobem lze zvolit i rotaci robotu na místě, k tomu složí ovládací prvek označený „Rotation“. Zde je rychlosti otáčení přímo úměrná vzdálenosti kliknutí od středové dělicí čáry.

Jestliže je robot přepnut do manuálního režimu, je celé řízení robotu přenecháno obsluze. Řídicí systém robotu v periodických intervalech zasílá nadřazenému řídicímu systému (tj. tomuto programu) informace získané prostřednictvím senzorického subsystému. Ovládací program tyto informace zpracuje a vizualizuje. Data jsou zasílány v podobě datagramu, jehož začátek tvoří znak „:“ a poté následuje série 21 hexadecimálních znaků. Prvních dvanáct tvoří údaje ze sonaru (dva znaky na každý sonar), dále následují data z IR senzoru (6 hexadecimálních znaků – každý pro jeden sonar) a poslední přenášený údaj reprezentuje informace z kompasu (3 znaky).

Po přijetí a zpracování zprávy odpoví ovládací program robotu zprávou, ve které jsou obsaženy informace o požadovaném pohybu robotu. Tento datagram je tvořen sedmi hexadecimálními znaky, první dva představují údaj o rychlosti, další tři údaj o požadovaném úhlu pohybu a poslední dva představují údaj o požadované rychlosti rotace robotu na místě.

Popis výše uvedených datagramů je zřejmý i z barevného značení přímo v prostředí ovládací aplikace (viz předchozí obrázek). Před zahájením činnosti programu je potřeba otevřít komunikační kanál, k ovládání přístupu k tomuto kanálu slouží příslušné tlačítko. Pro komunikaci se používá sériová linka COM1 s následujícími parametry:

- 115,200 Baud
- 8 Data bits
- 1 Stop bit
- No Parity
- No Flow Control (Not Xon/Xoff or Hardware)

5. Závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo rozšíření senzorického subsystému školního mobilního robotu, vybaveného podvozkem s všesměrovými koly a aplikace řízení takto upraveného robotu pomocí principů neuronových sítí. Senzorický subsystém byl rozšířen o modul infračerveného detektoru překážek v blízkém okolí robotu, který byl pro tyto účely navržen a realizován. Testováním tohoto modulu byla ověřena jeho spolehlivost a bezproblémová funkčnost. Protože se prototyp modulu osvědčil, byl vyroben ještě jeden kus, který je v současné době provozován na jiném školním robotu.

Dalších změn doznal pohonný subsystém robotu, který byl doplněn o moduly regulátorů zajišťující spolehlivé a nezávislé řízení jednotlivých pohonů. Rovněž tyto regulátory byly pro potřeby práce navrženy a realizovány. Každému ze tří motoru přísluší jeden.

K takto dovybavenému robotu byl následně nově vyvinut kompletní řídicí systém, který se skládá ze dvou logických úrovní. Nižší úroveň zajišťuje základní komunikaci se senzorickým a s pohonným subsystémem a řeší pohybové rovnice robotu. Vyšší úroveň řízení zajišťuje autonomní řízení robotu, na základě aplikací principů neuronové sítě. Pro demonstrační úlohu bylo použito neuronové sítě typu lineární asociace. Na takto vybaveném mobilním robotickém systému je možné realizovat větší množství úloh disponujícími prvky umělé inteligence na bázi neuronových sítí. Tato práce však předkládá pouze jednu. Důvodem je velká časová náročnost, kterou si vyžádala adaptace robotu a osvojení vědomostí potřebných k práci s novým řídicím systémem. Domnívám se ale, že tato práce poskytuje základ pro další práce, které budou směřovány už jen na problematiku řízení s prvky umělé inteligence.

Při testování robotu byla odzkoušena jeho provozuschopnost. Jistým problémem se ukázala funkčnost použitých všesměrových kol, která se částečně vyřešila vhodnou volbou podložky. Ta musí být pro zajištění bezproblémového pohybu robotu velmi přílnavá aby bylo zamezeno prokluzu jednotlivých kol.

6. Seznam použité literatury a dokumentace

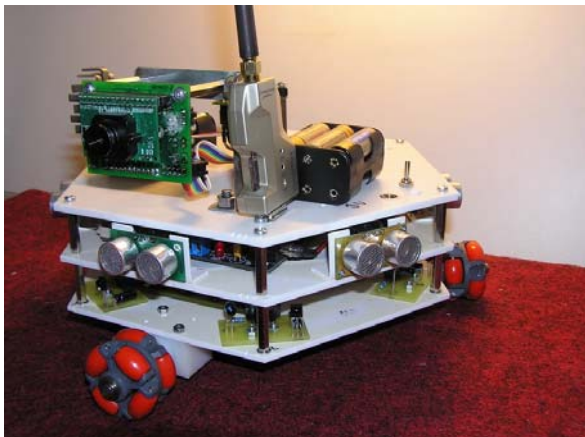
- [1] NOVÁK, P.: *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Nakladatelství BEN – technická literatura Praha, 250s, 2005. ISBN: 80-7300-141-1.
- [2] NOVÁK, P.: *Mikropočítačové řídicí systémy*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 2002. ISBN: 80-248-0291-8.
- [3] BORENSTEIN, J. & EVERETT, H. R. & FENG, L.: *Where am I? – Sensors and Methods for mobile robot Positioning*. University of Michigan. Dostupné : <http://www-personal.umich.edu/~johannb/>
- [4] VÁŇA, V.: *Mikrokontroléry Atmel AVR – Programování v jazyce Bascom*, BEN, 2004, 144s. ISBN: 80-7300-115-2.
- [5] VÁŇA, V.: *Mikrokontroléry Atmel AVR – Programování v jazyce C*, BEN Praha, 2003, 215s. ISBN: 80-7300-102-0.
- [6] VÁŇA, V.: *Mikrokontroléry Atmel AVR*. BEN Praha, 2003, 335s. : ISBN: 80-7300-083-0
- [7] MATOUŠEK, D.: *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. BEN Praha, 2003, 375s. ISBN: 80-7300-088-1
- [8] MATOUŠEK, D.: *Práce s inteligentními displeji LCD*, BEN Praha, 2006, 215s. ISBN: 80-7300-121-7.
- [9] NEHMOZOW, U.: *Mobile Robotics – A practical introduction*. Springer, 2000. 243s, ISBN: 1-85233-173-9.
- [10] KRÁLÍČEK, L.: *Model mobilního robotu – návrh a realizace* (diplomová práce). Katedra robototechniky, VŠB-TU Ostrava, 63s, 2003.
- [11] VOLNÁ, E.: *Neuronové sítě I*. Přírodovědecká fakulta, Ostravská Univerzita, 85s, 2002. ISBN: 80-7042-762-0.
- [12] KAINKA, B.: *Využití rozhraní PC – Měření, řízení, regulace*. Nakladatelství HEL 1999, 132s. ISBN: 80-902059-3-3.
- [13] ZÁHLAVA, V.: *Metodika návrhu plošných spojů*. Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2000, 81s, ISBN: 80-01-02193-9.

- [14] SILICON LABORATORIES INC.: *Procesor C8051F120 – Datasheet*. Dostupné:
http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/dsheet/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/C8051F12x-13x.pdf
- [15] ATMEL: *Procesor ATMega8 – Datasheet*. Dostupné:
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf
- [16] MAXON: *On-line katalog pohonů A-Max*. Dostupné:
<http://www.maxonmotor.com/A-max.asp>
- [17] ST MICROELECTRONICS: *L298 – Dual Full-Bridge Driver – Datasheet*. Dostupné:
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1773.pdf>
- [18] KEIL: Online dokumentace k programovacímu jazyku C51: Dostupné:
<http://www.keil.com/c51/man/c51.htm>
- [19] GME ELETRONICS s. r. o.: On-line katalog. Dostupné: <http://www.gme.cz/>
- [20] MITE s. r. o. Dokumentace k modulu IRC-1. Dostupné:
http://www.mite.cz/ucbiofiles/irc_1_1c.pdf
- [21] SRF08 – *Ultrasonic range finder – datasheet*. Dostupné:
<http://www.robotstorehk.com/srf08tech.pdf>
- [22] CMPS03 - Robot Compass Module – *datasheet*. Dostupné:
<http://home.scarlet.be/~mb069957/projects/datasheet/CMPS03.pdf>
- [23] CMUcam – dokumentace ke kameře. Dostupné:
<http://www.seattlerobotics.com/CMUcamManualv15A.pdf>
- [24] NOVÁK, P. – *Rotační inkrementální senzory* – Časopis Automa 10/2002.
<http://www.automa.cz/download/au100232.pdf>
- [25] ATMEL – *Application Note 910 – InSystem Programming*. Dostupné:
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC0943.PDF
- [26] DUDEK, R.: *Aplikace umělé inteligence do řízení mobilního robotu*, Diplomová práce, Ostrava, 2004, 73s.
- [27] ŠÍMA, J. & NERUDA, R. – *Teoretické otázky neuronových sítí*, MATFYZPRES 1996, 360s. ISBN: 80-85863-18-9
- [28] MICROSOFT PRESS – *Visual Basic 6 – Příručka programátora*, Computer Press, 1999, 820s, ISBN: 80-7226-154-1

[29] HEROUT, P. - Učebnice jazyka C - 1. díl, BEN, 2002, 271s, ISBN: 80-85828-21-9

[30] HEROUT, P. - Učebnice jazyka C - 2. díl, BEN, 2002, 429s, ISBN: 80-7232-221-4

Záznam o závěrečné práci na katedře robototechniky

Typ práce	diplomová			
Datum odevzdání	26. 5. 2006			
Počet stran				
Studijní obor	Výrobní systémy s průmyslovými roboty a manipulátory (2301T032-00)			
	Os. číslo	bab047		
	Jméno	Jan		
	Příjmení	Babjak		
	Tituly	Bc.		
	E-mail	jan@babjak.cz		
	Telefon	+420 608 809 673		
	Bydliště	Sv. Čecha 1074, Bohumín		
Vedoucí	Doc. Dr. Ing. Petr Novák			
Konzultant				

Název práce	česky	Řízení mobilního robotu neuronovou sítí
	cizojazyčně	Control of the mobile robot with neural net
Abstrakt	česky	Diplomová práce se zabývá rozšířením senzorického a řídicího subsystému školního všesměrového mobilního robotu. Je zde popsána konstrukce detektoru překážek pomocí infračerveného světla, konstrukce proporčního regulátoru pro stejnosměrný motor a konstrukce dalších modulů robotu. V další části práce je popsáno použití neuronové sítě pro řízení takto upraveného robotu. V závěru práce jsou zhodnoceny dosažené výsledky, uvedeny možné problémy a možnosti jejich řešení.
	cizojazyčně	The graduation thesis deals with expansion of the sensory and control subsystem of a school all-directive mobile robot. The construction of obstructions' detector using infrared light has been described here as well as the construction of proportional regulator for direct current motor and construction of other robot's modules. In the next part of the thesis the use of neural network for control of the robot has been described. At the end of the work, all the results are summarised, all the problems are stated together with possible solutions.
Dosažené výsledky	česky	V rámci diplomové práce byl zcela přebudován školní všesměrový mobilní robot. Byly navrženy a realizovány modul IR detektoru překážek, moduly proporčních regulátorů motorů robotu a další moduly potřebné pro činnost robotu. Řídicí modul robotu byl nahrazen modernějším. Vzhledem k většímu množství modulů byla přepracována konstrukce robotu. Do robotu byl implementován algoritmus řízení pomocí neuronové sítě. Byl vyvinut i ovládací program pro PC.
	cizojazyčně	Within the graduation thesis the whole all-directive mobile robot was rebuilt. The modules of IR obstructions' detector, proportional regulators of robot's engines and other modules important for a functionality of the robot have been designed and realized. Control module has been replaced with the more modern one. The construction of the robots has been also rebuilt because of the higher amount of modules. The new algorithm using neural network has been implemented to the robot. Control software for PC has been developed as well.

V Ostravě dne: 26. 5. 2006

.....

autor

.....

vedoucí práce

POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student : **Jan BABJAK**
Vedoucí práce : doc. Dr. Ing. Petr Novák
Téma : **Řízení mobilního robotu neuronovou sítí**
Obor: Výrobní systémy s průmyslovými roboty a manipulátory (2301T032-00)
Školní rok : 2005/2006

1. Odpovídá práce uvedenému zadání?

Práce v hlavních rysech splňuje zadání.

2. Hodnocení práce z hlediska struktury a návaznosti jednotlivých částí, případně jejich úplnosti?

Cílem předložené DP bylo navrhnout úpravu/rozšíření stávajícího senzorického subsystému mobilního robotu umožňující do řízení MR zahrnout prvky umělé inteligence založené na neuronové síti. Diplomant oproti zadání podstatným způsobem přebudoval celou konstrukci MR, včetně zabudování nového řídicího systému, včetně trojice autonomních řídicích jednotek pohonů. V úvodu práce je popsán stávající stav, následuje výstižný a srozumitelný popis navržených úprav a rozšíření včetně jejich motivace.

3. Základní hodnocení práce z hlediska odborných požadavků :

Práce splňuje základní odborné požadavky, je napsána přehledně a srozumitelně.

4. Významné přínosy práce (příp. nové poznatky):

Přínosem práce je funkční MR umožňující experimenty v oblasti zpracování a analýzy dat senzorického subsystému a řízení robotu.

5. Možné další využití práce (publikace, praktické využití)?

Výsledky práce jsou využitelné jako výchozí bod další DP, případně pro experimentální činnost s neuronovými sítěmi zpracovávajícími informace senzorického subsystému robotu v úlohách, jako lokalizace, navigace a autonomní chování. Diplomantem navržená řídicí jednotka rychlostního řízení motoru je také použitelná i do jiných konstrukcí. Podobně modul IR senzorů, pracující jako slave I2C zařízení, je využitelná i v jiných konstrukcích.

6. Jaká je charakteristika výběru a využití studijních pramenů?

Autor volil odpovídající a vhodné zdroje.

7. Hodnocení formální stránky (jazyková stránka, formální zpracování):

Práce obsahuje několik gramatických chyb (názvy institucí a pod.) a překlepů – např. název kapitoly 3.2 „Modul proporčního regulátoru“. Záměna slova proporční namísto proporcionální je ještě na více místech textu. Po formální stránce je napsána velice pečlivě a srozumitelně s logickým řazením kapitol.

8. Jiné poznatky, kritické připomínky:

Diplomant musel řešit samostatně poměrně rozsáhlou problematiku počínaje návrhem elektronických obvodů, jejich oživením, návrhem a výrobou plošných spojů, programováním jak použitých mikrokontrolérů, tak i programováním aplikace pro OS Windows, včetně vzájemné komunikace těchto aplikací. Autor musel samostatně zvládnout poměrně rozsáhlou teoretickou i praktickou problematiku.

9. Dotazy k obhajobě práce:

- a) Jaké jsou časové rozměry osy x na obrázku č.24 a 25?
- b) Mohl byste matematicky dokázat své tvrzení ohledně kapacity čítače $\pm 2^{31}$ versus životnost motoru na str.33? Vyjděte z katalogových údajů výrobce motoru a převodovky uvádějící max. počet hodin provozu.
- c) Jaká je maximální frekvence kvadrurního signálu IRC senzorů, kterou je schopen použitý mikrokontrolér spolehlivě zpracovat?

10. Návrh klasifikace: (výborně, velmi dobře, dobře, nevyhovující)

výborně

Ostrava, 5. června 2006

.....

POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student : Jan Babjak
Oponent: prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn
Téma : **Řízení mobilního robotu neuronovou sítí**
Obor: Výrobní systémy s průmyslovými roboty a manipulátory (2301T032)
Školní rok : 2005/2006

1. Odpovídá práce uvedenému zadání?

Diplomová práce odpovídá zadání, diplomant rozšířil stávající senzorický systém mobilního robotu, zapracoval do řídicího systému úlohy realizované na základě neuronové sítě a celé zařízení realizoval.

2. Hodnocení práce z hlediska struktury a návaznosti jednotlivých částí, případně jejich úplnosti?

Práce je logicky členěna a rozsah a návaznost kapitol odpovídá zadání. Jednotlivé kapitoly jsou zpracovány kvalitně s dobrou grafickou úrovní.

3. Základní hodnocení práce z hlediska odborných a inženýrských požadavků :

V diplomové práci diplomant navrhl a realizoval HW i SW řešení řídicího a senzorického systému mobilního robotu, stávající robot zásadním způsobem přepracoval a použil stavebnicovou koncepci celého systému, která je velmi vhodná jak pro použití tohoto robotu ve výuce, tak pro další rozšiřování systému. Diplomant prokázal dobré teoretické znalosti, které prakticky aplikoval v konkrétním řešení a prokázal tak schopnost samostatné inženýrské práce.

4. Významné přínosy práce (příp. nové poznatky):

Přínosem práce je funkční mobilní robot se stavebnicovou koncepcí.

5. Možné další využití práce (publikace, praktické využití)?

Je předpokládáno další využití práce v oblasti výzkumu aplikací mobilních servisních robotů a jejich řízení na základě neuronových sítí.

6. Jaká je charakteristika výběru a využití studijních pramenů?

Diplomant kromě doporučených metodických materiálů hojně využíval internetové zdroje jak v oblasti analýzy stávajících řešení, tak v oblasti katalogů a prokázal schopnost samostatné práce s vědeckotechnickými informacemi.

7. *Hodnocení formální stránky (jazyková stránka, formální zpracování):*

Formální zpracování práce odpovídá požadavkům na diplomové práce a také jazyková stránka práce až na některé drobnosti je dobrá.

8. *Jiné poznatky, kritické připomínky:*

V práci se objevily drobné nedostatky:

str. 20 a další – chybí číslování vzorců, chybí jednotky

str. 30 – regulační odchylka správně **e** a ne **y**

str. 31 – obr. 24 chybí popis os a legenda

str. 32 – nastavení zesílení pouze experimentálně metodou pokus omyl, v teorii řízení přesnější postupy na základě odezvy na jednotkový skok

9. *Dotazy k obhajobě práce:*

a) Uveďte postup stanovení parametrů PID regulátoru při známé odezvě na jednotkový skok žádané hodnoty

b) Bylo by možno použít jiné struktury regulátorů pohonů, např. PI?

10. *Návrh klasifikace: (výborně, velmi dobře, dobře, nevyhovující)*

výborně

Ostrava, 7. června 2006

.....