

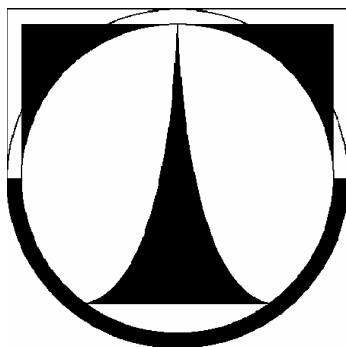
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A
MEZIOBOROVÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2010

JIŘÍ NOVÁK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A
MEZIOBOROVÝCH STUDIÍ



Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Informatika a logistika

**NÁVRH A REALIZACE AUTONOMNÍHO
ROBOTA S DIFERENCIÁLNÍM
PODVOZKEM**

Jiří Novák

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Holada, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu...29

Počet obrázků.....22

Počet grafů.....2

(zadání)

Anotace

Česky:

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem a technickou realizací experimentálního robota TulBot. Práce zahrnuje rovněž i návrh a realizaci ovládacího softwaru, který by umožnil základní autonomní navigaci robota, a softwaru pro nízkoúrovňové řízení palubní elektroniky. Navigační systém je optimalizován pro orientaci ve zcela neznámém prostředí. Palubní senzorické vybavení zahrnuje čtveřici infračervených dálkoměrů, relativní dvouosý sklonoměr vlastní konstrukce a základ laserového snímače profilu terénu, rovněž vlastní konstrukce. Zařízení je mimo jiné vybaveno také dvěma barevnými videokamerami. Jednou určenou pro účely rozpoznávání obrazu, druhou, kompaktnější, určenou pro snímání scény při uživatelském řízení. Podvozek stroje je dle zadání navržen jako tříkolý a diferenciální řízený. Zařízení by mělo sloužit především jako platforma pro další vývoj a experimenty.

Klíčová slova: robotika, ATMEga, diferenciální řízení, autonomní navigace

English:

This Bachelor thesis deals with the design and technical realization of an experimental robot called TulBot. The Work also includes the design and implementation of software for autonomous navigation of the robot and low-level control software for on-board electronics. The navigation system is optimized for orientation in a fully unknown environment. The Onboard sensor equipment includes four infrared range finders, relative biaxial inclinometer of my own design and a prototype terrain profile sensor, which is also my own design. The device is also equipped with two color video cameras. One designed for computer image recognition, a second, more compact, designed for taking a video for the purpose of user control. The undercarriage of the machine is designed, by the award, as three-wheeled and is differential controlled. The device should be primarily used as a platform for further development and experiments.

Keywords: robotics, ATMEga, differential steering, autonomous navigation

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou *diplomovou (bakalářskou)* práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé *diplomové (bakalářské)* práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé *diplomové (bakalářské)* práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své *diplomové (bakalářské)* práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne

.....
Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Miroslavu Holadovi, Ph.D., za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Také bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Pokornému ze pomoc při výrobě některých komponent mechanické konstrukce robota.

Význam použitých zkratk

PWM	Pulsně-šířková modulace
USART	Synchronní a asynchronní sériové rozhraní
ISP	Technologie programování již osazených programovatelných obvodů
DPS	Deska plošných spojů
RICS	Architektura procesorů s redukovanou instrukční sadou
GPR	Registry pro obecné využití
ALU	Aritmeticko-logická jednotka
PSD	Senzor polohy světelného ohniska

OBSAH

OBSAH	5
1. Úvod	6
1.1 Popis robotu	6
1.2 Současné schopnosti robotu	9
2. Mechanická konstrukce robotu	11
3. Komponenty nízkoúrovňového řízení	14
3.1 Modul "ATMega Board"	16
3.1.2 Popis zapojení modulu	16
3.1.2 Popis mikrokontroléru ATmega16	21
3.1.3 Softwarové vybavení mikroprocesoru ATmega16	22
3.2 Modul řízení motorů	23
3.3 Modul řízení laseru	25
3.4 Modul řízení servomotorů	27
4. Senzorické vybavení robotu	28
4.1 Infračervený dálkoměr Sharp GP2D120	28
4.1.1 Princip měření dálkoměrů Sharp	28
4.1.2 Linearizace převodní charakteristiky dálkoměru Sharp GP2D120	30
4.2 Enkodéry hnacích kol	32
4.1 Snímač profilu terénu	33
5. Softwarové vybavení řídicího počítače	35
5.1 Navigace robotu obecně	35
5.2 Dead reckoning	36
5.3 Tvorba senzorické mapy	36
5.4 Algoritmus autonomní navigace	37
6. Aplikace pro vzdálené řízení	40
7. Závěr	42
8. Přílohy	43
8.1 Příložené CD	43
8.2 Fotografie robotu TulBot	43
9. Použité zdroje	44

1. Úvod

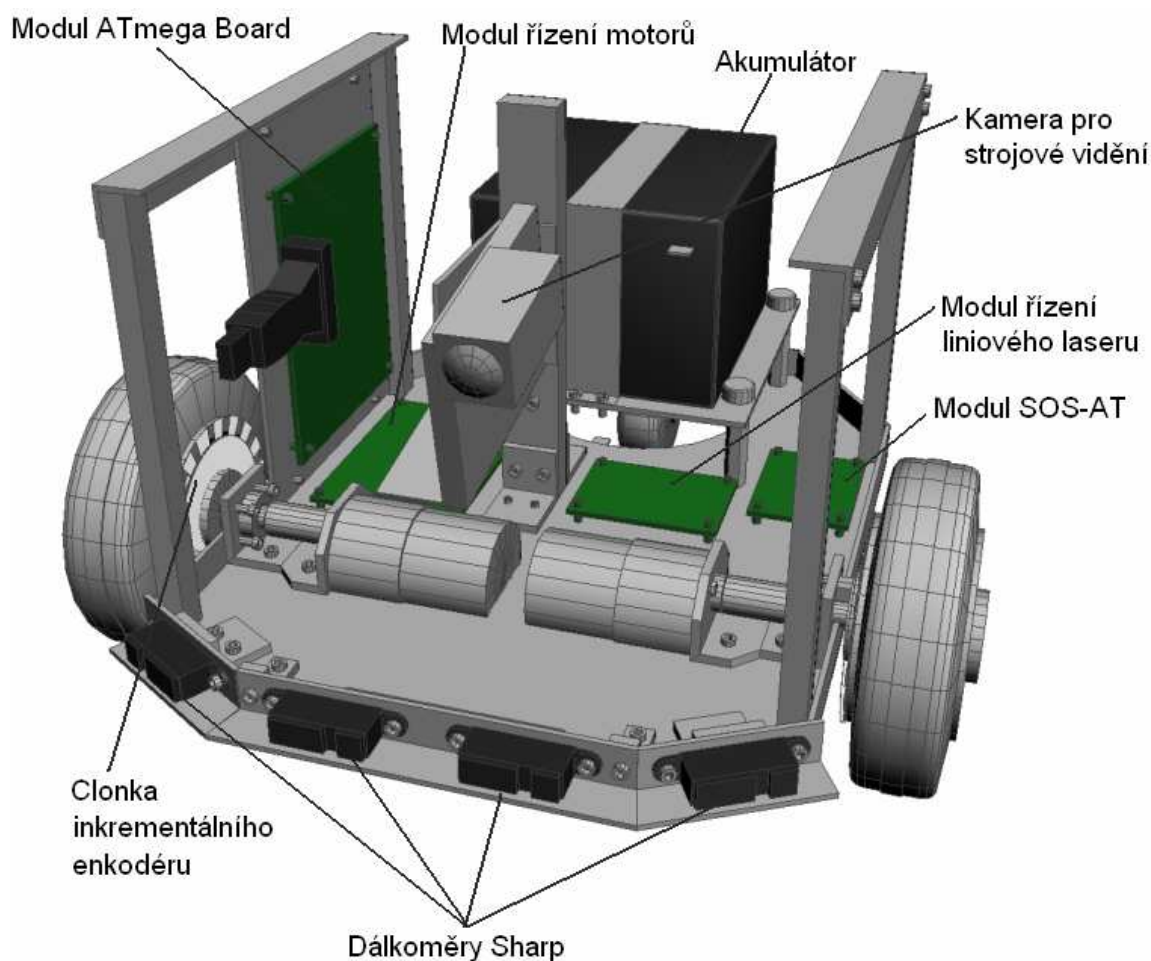
Robotika, resp. robotechnika, se zdá být dnes perspektivním vědním odvětvím. Ačkoliv perspektivnost se vztahuje především na průmyslové robotické výrobní systémy, ani stavba mobilního „hobby“ robota není zcela neúčelná. Stavba mobilního robotu představuje především optimální skloubení veškerých činností, skrývajících se pod pojmem mechatronika. Je tak optimálním odrazovým můstkem pro stavbu praktičtěji využitelných strojů. Zahrnuje jak návrhy výkresů a výrobu mechanických součástí, tak i návrh elektroniky a obslužných programů. Tvorba podobného zařízení pomáhá získat představu o pevnostních vlastnostech různých konstrukčních řešení. Umožňuje v praxi ověřit důležitost dodržování pravidel elektromagnetické kompatibility při návrhu desek plošných spojů. Lze také pozorovat vliv optimalizace řídicích algoritmů na spotřebu palubního počítače apod. Pozorování a vyhodnocování všech těchto faktorů umožňuje v budoucnosti konstruovat robotické systémy schopné obstát i v náročném, průmyslovém prostředí.

Zadaným cílem této bakalářské práce bylo realizovat mobilní robotický systém s diferenciálně řízeným podvozkem, schopný základní autonomní navigace v prostoru. Zařízení by mělo sloužit především jako platforma pro další vývoj, hlavně pro testování pokročilejších navigačních technik. Důležitou roli při návrhu konstrukce i elektroniky proto hrála budoucí rozšiřitelnost celého stroje. Konstrukce proto skýtá dostatek prostoru pro přidání dalších komponent a rovněž i řídicí počítač disponuje dostatečnou výkonovou rezervou. Elektronické vybavení je modulárně uspořádáno, což umožňuje snadno upravovat jeho strukturu.

1.1 Popis robota

Tělo robota má klasickou patrovou strukturu. Základ celého stroje tvoří jednoduchý tříkolý podvozek, skládající se ze dvou postranních, hnacích (aktivních) kol a jednoho pasivního všesměrového kolečka v zadní části. Tato koncepce pohonu patří obecně v mobilní robotice k nejpopulárnějším, zejména proto, že robotu propůjčuje výborné manévrovací schopnosti a zároveň se pro ni velmi snadno počítá odometrie. Ve spodní části robota se také nalézají většina elektronických modulů nízkourovňového řízení a také většina senzorického vybavení. Je zde připevněn modul řízení motorů, modul řízení liniového laseru, modul řízení servomotorů a modul obsahující procesor ATmega16 (ATmega Board). Dále je zde

senzorické vybavení v podobě dvou optických dvoukanálových inkrementálních enkodérů, jednoho dvouosého inklinometru a čtyř infračervených dálkoměrů Sharp GP2D120 v přední části. Infračervené dálkoměry představují hlavní zdroj informací pro autonomní navigaci, jejich rozmístění tak byla věnována značná pozornost. Umístění dálkoměrů a dalších komponent ve spodní části robota je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1 – Umístění komponent ve spodním „patře“ robota.

Tělo stroje dále obsahuje poměrně kvalitní videokameru, určenou pro budoucí účely rozpoznávání obrazu. Kamera je tvořena základní deskou a objektivem z miniDV kamery Panasonic NV-GS15. Na rozdíl od webových či CCTV kamer, tradičně užívaných v amatérské robotice, má tato kamera dokonalé automatické ostření, mechanickou clonku, transfokátor, velmi dobrý dynamický rozsah a mnoho dalších kvalitativních výhod. Video signál je z kamery přenášen pomocí S-Video výstupu. Tento způsob přenosu obrazové informace se ukázal jako optimální, neboť na rozdíl od digitálního přenosu netrpí dlouhým

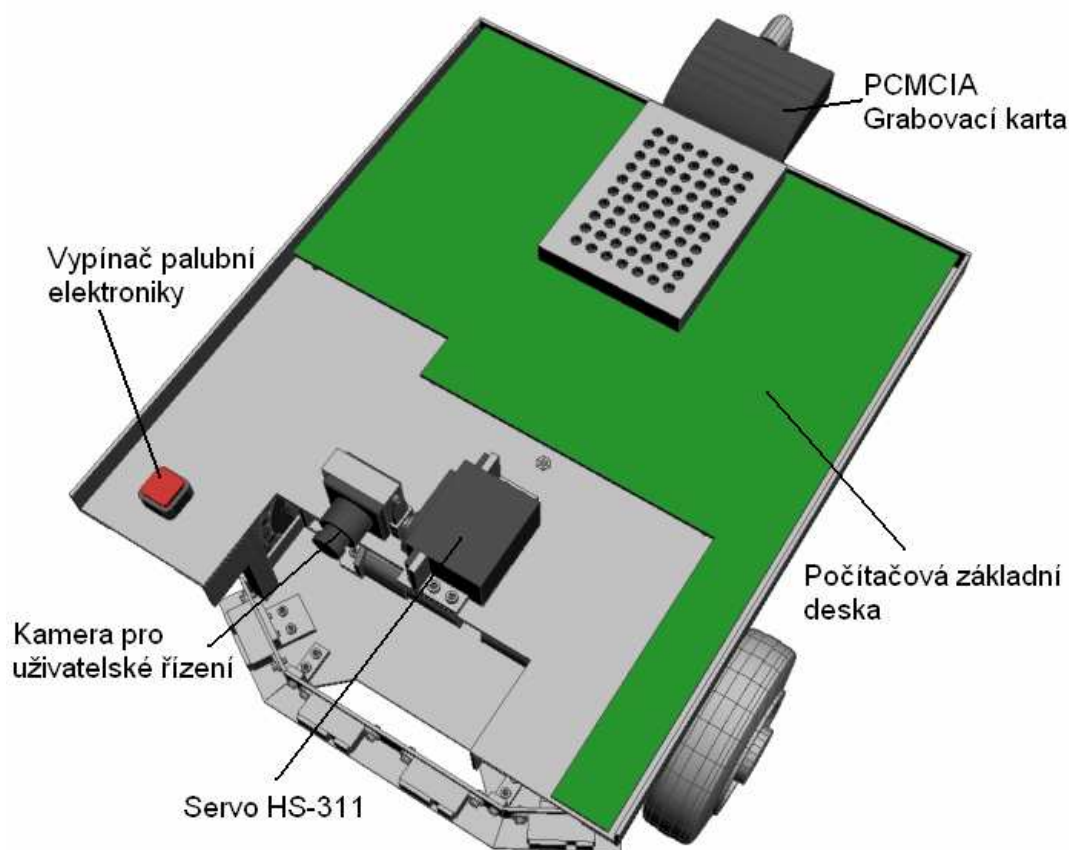
zpožděním ani při implicitním PAL rozlišení. Oproti klasickému analogovému kompozitnímu přenosu je zase díky oddělené jasové a barvonosní složce obraz výrazně ostřejší. Hlavním smyslem kamery je především sledovat povrch před robotem, proto je nakloněná o 10 stupňů směrem dolů (viz obr. 1).

Nadřazený řídicí počítačový systém stroje je řešen vcelku netradičně. Na horním, rozšířeném patře robota je umístěna základní deska z notebooku IBM Thinkpad R40. Základní deska je vybavena procesorem Intel Pentium M taktovaném na 1,6 GHz, 512cti megabajty operační paměti, bezdrátovým rozhraním Wifi a 4 Mbps infraportem. Na desce je rovněž přítomná dvojice PCMCIA slotů, z nichž jeden je osazen video grabovací kartou. Konkrétně jde o velmi rozšířenou televizní kartu AverMedia AverTV Cardbus PCMCIA. Tato karta zajišťuje počítači rozhraní pro zpracování video signálu z palubních kamer. Styk počítače s podřízenou elektronikou se děje prostřednictvím dvou USB 2.0 portů. Nainstalovaným operačním systémem je Windows XP SP3, v budoucnu se nicméně předpokládá přechod na přizpůsobitelnější systém, Linux Gentoo. Příkon základní desky se dle zatížení pohybuje mezi 12ti a 20ti Watty. Větší energetická náročnost elektroniky robotu si tak vyžádala odpovídající napájecí zdroj. O napájení celého zařízení se tak stará olověný trakční akumulátor, disponující kapacitou 4,5 Ah při napětí 12 V. Tento akumulátor se nachází v zadní části nad všesměrovým kolem. Poblíž akumulátoru se nalézají také step-up měniče, zajišťující zvýšení napěťové úrovně z 12 V na 16 V, potřebných pro napájení počítačové základní desky.

Na horním patře robotu se kromě motherboardu nachází také bezpečnostní vypínač palubní elektroniky a druhá video kamera. Tentokrát jde o miniaturní analogovou kameru s rozměry 2 x 2 x 3 cm, vybavenou snímacím prvkem CCD o velikosti 1/4". S kamerou lze otáčet po horizontální ose pomocí servomotoru HITEC HS-311. Kamera by měla být využívána pro snímání scény při teleoperovaném řízení stroje. Také řízení jejího pohybu je zatím pouze uživatelské. V budoucnu však není problém přenechat správu i této kamery autonomnímu softwaru a realizovat pomocí ní funkce jako například sledování či rozpoznávání obličejů.

Poslední důležitou komponentou stroje je emitor liniového laseru. Jde o zařízení tvořené laserovou diodou o jmenovitém výkonu 50 mW a vystavovacím mechanismem z 3,5 palcového pevného disku. Nad osou rotace ramena vystavovacího mechanismu je připevněno miniaturní zrcadlo, pomocí něhož je paprsek laseru odrážen. Pokud dojde k rozkmitání ramena mechanismu, je paprsek laseru vodorovně rozptýlen a na povrchu před robotem je promítána velmi kontrastní světelná linie. Emitor liniového laseru by měl v budoucnosti ve

spolupráci se spodní kamerou sloužit jako snímač profilu terénu před robotem a zdokonalit tak navigační schopnosti zařízení. Umístění motherboardu a dalších komponent v horní části robota je zobrazeno na obrázku 2.



Obr. 2 – Umístění komponent v horním „patře“ robota.

1.2 Současné schopnosti robota

V současné době je robot schopen jednoduché autonomní navigace. Po zadání cílového bodu, jehož poloha je relativní k okolí, ale absolutní ve vztahu k výchozí poloze robota, se stroj pokusí do tohoto bodu dorazit. Při detekování překážky v trase zařízení zvolí optimální výhybný mód v závislosti na struktuře překážky a pokusí se překážku objet. Při průjezdu prostředím jsou překážky detekovány prostřednictvím předních dálkoměrů a následně zaznamenány do senzorické mapy v paměti robota. Důležitou vlastností navigačního algoritmu tak je, že při detekci kolizí nevyužívá okamžitých hodnot senzorů, ale řídí se právě podle této mapy, která je předem vytvořena. To robotu umožňuje brát zřetel i na

překážky, které právě senzory „nevidí“. Stačí pouze, když byly tyto překážky nachyceny někdy v minulosti. Schopnosti navigace nicméně zatím postačují pouze pro prostředí s překážkami jednodušší struktury. Algoritmus má problémy s koridorovými mapami a díky absenci backtrackingu se může snadno dostat do stavů „zacyklení“, kdy robot neustále přejíždí mezi dvěma body a nemůže nalézt správnou cestu.

Kromě autonomní navigace je zařízení také schopno teleoperovaného (uživatelského) řízení. Pro tento účel byla vytvořena řídicí aplikace „TulBot Remote Control“. Tato aplikace zajišťuje dálkové spojení s robotem prostřednictvím protokolu TCP/IP. V současnosti je robot ovládán pomocí bezdrátového rozhraní wifi s Ad-hoc strukturou, není ale problém řízení realizovat i přes jakékoliv jiné LAN či WAN spojení. Možnost připojení pomocí některé technologie mobilního internetu (např. Edge) a řízení robota v takřka prostorově neomezené oblasti se přímo vybízí.

Řídicí aplikace umožňuje přímo ovládat pohyb robota, chod liniového laseru, servomotory a v neposlední řadě i zadávat cílové body pro autonomní navigaci. Je také možné robotu odeslat textovou zprávu, která je následně převedena na mluvené slovo hlasovým syntetizátorem Epos a robotem reprodukována. Řídicí aplikace také průběžně přijímá data z TulBotu. Příchozími informacemi jsou především aktuální poloha (vztažená k výchozímu bodu), okamžité hodnoty inklinometru, seznam souřadnic nově nalezených překážek a rovněž i seznam překážek, jejichž platnost již vypršela. Pomocí těchto seznamů je aplikací pro dálkové řízení zrekonstruována mapa překážek ve stejné podobě, v jaké je v paměti robota. Veškeré získané údaje pak aplikace vykresluje v jednoduchém GUI rozhraní. Obsluha tak má před sebou vykreslený jak 2D model robota, jehož transformace vycházejí z reálných dat odometrie, tak i přibližnou mapu, ve které se robot může pohybovat. Stroj tak lze do jisté míry uživatelsky dálkově řídit i bez použití kamer, jen pomocí mapy, což je vzhledem k potřebné šířce komunikačního pásma pro streaming videosignálu velmi výhodné.

2. Mechanická konstrukce robotu

Vzhledem ke zkušenostem z realizace bakalářského projektu, plastového LegoBota, se stala bytelnost konstrukce prvořadým cílem. Správnost návrhu mechanické konstrukce má velký vliv na kvalitu funkce celého robotického systému. Jakékoliv nežádoucí deformace konstrukce mají negativní dopad na přesnost připevněných senzorů i na přesnost pohybu samotného stroje. Takto generované chyby by měly nahodilý charakter a nebylo by tak možné je odstranit kalibrací v nějaké vyšší vrstvě řízení. Konstrukce tak musí dostatečně dimenzována a dopředu počítat s cílovou hmotností stroje. Ta se v případě TulBota pohybuje okolo šesti kilogramů.

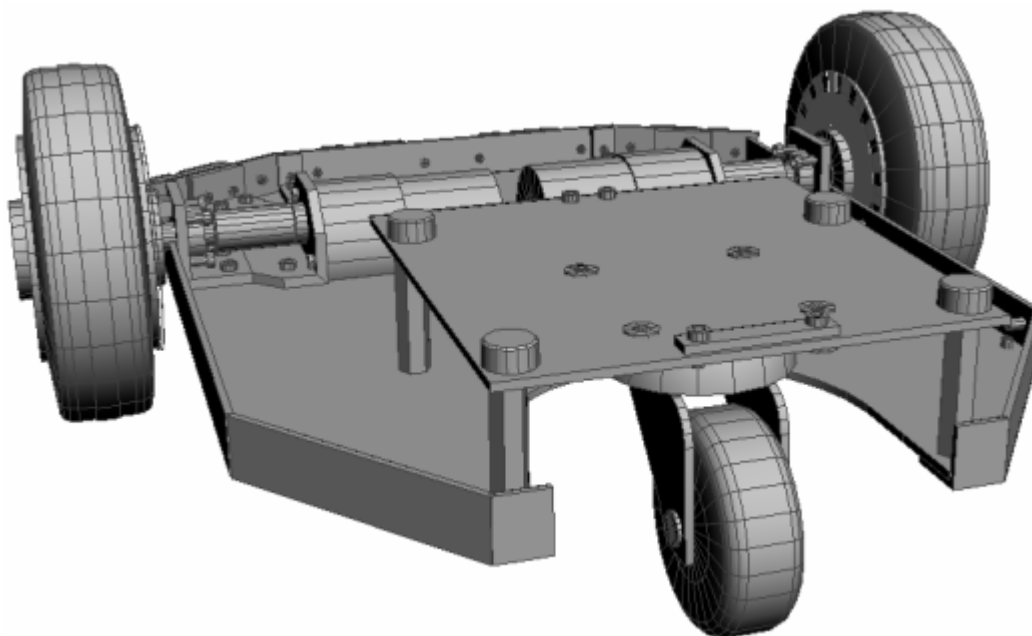
Kostra robota je po materiálové stránce složena z hliníku dvou jakostí. Zaprvé je to čistý hliník Al99,5 a za druhé dural AlMgSi0,5. Dural má oproti hliníku až pětkrát vyšší pevnost v tahu, proto byl využit na výrobu veškerých výztuh a nosných částí konstrukce. Materiál Al99,5 tvoří plochy pater robota a byl použit zejména proto, že hladké plechy této jakosti jsou nejdostupnější. Veškeré větší plochy z Al plechu jsou nicméně lemovány duralovými výztuhami, nejčastěji v podobě L-profilů.

Základ robota, tříkolý podvozek, je tvořen jedním hladkým plechem o tloušťce 2 mm. Hrany tohoto plechu jsou zkosené, aby se snížila pravděpodobnost kolize stroje při manévrování ve stísněném prostoru. V zadní části je plech tvarově upraven, aby umožnil uložení všesměrového kola. Uchycení os hnacích kol a motorů k plechu zajišťují čtyři montážní úhelníky. O pohon těchto kol se starají dva komutátorové, 12cti voltové elektromotory, každý o výkonu 10 W. Oba motory jsou již od výrobce vybaveny převodovkou s korekcí 1:50, která na výstupní hřídeli poskytuje kroutící moment 0,6 Nm při 60ti otáčkách za minutu. Výstupní hřídel převodovky je přímou hřídelovou spojkou spojena s osou kola. Ta ještě prochází radiálním jednořadým kuličkovým ložiskem. Osám kol je tak zajištěna dostatečná odolnost vůči radiálnímu zatížení. Hnací kola jsou vyrobena z plastu ABS a jejich průměr je 120 mm. Vzhledem ke zmíněným parametrům převodovky a průměru hnacích kol odpovídá maximální rychlost robota přibližně 1,4 km/h.

Zadní pasivní všesměrové kolečko je realizováno pomocí tzv. otočného jednoduchého kolečka s plotničkou. Na rozdíl od otočných koleček s čepem je tak kolečko již od výrobce vybaveno axiálním ložiskem na svislé ose rotace a „plotničkou“ umožňující snadné uchycení celého zařízení. Výška od styčné plochy kola se zemí až po vršek plotničky odpovídá sedmdesáti milimetrům. Tento rozměr samozřejmě značně převyšoval předpokládanou

světlou výšku stroje, otočné kolečko tak muselo být zavěšeno na ploše, která je o 33 mm vyvýšena nad úroveň základního patra podvozku. Vyvýšená plocha je s plechem základního patra spojena čtyřmi distančními sloupky. Mimo uchycení zadního kolečka slouží tato vyvýšená plocha také k uložení olověného akumulátoru. Akumulátor, jehož hmotnost je cca 1,5 kg, tak zbytečně nezatěžuje celou konstrukci. Jeho váha spočine právě jen na zadním všesměrovém kole, které je výrobcem dimenzováno až na 25 kg.

Průměr a uchycení kol zajišťuje v současnosti robotu světlou výšku 4 cm. Stroj má tak zajištěnou dostatečnou prostupnost i v hrubším „terénu“ a teoreticky je schopen i jízdy ve venkovním prostředí. Původním smyslem této světlé výšky ovšem měla být schopnost robota překonat práh dveří, a tak rozšířit pole svého působení za hranice jedné místnosti. Zde bohužel koncepce naráží na problém s nedostatečnou přilnavostí plastových hnacích kol, která velmi často prokluzují i při snaze přejet překážku o výšce 1 cm. Kola tak budou pravděpodobně v rámci budoucího vývoje opatřena samolepícími gumovými páskami nebo jinak upravena pro zvýšení adheze. Model tříkolého podvozku robota je zobrazen na obrázku 3.



Obr. 3 – Tříkolý podvozek robota.

K podvozkové části je pomocí čtyř sloupků obdélníkového průřezu uchycena deska vrchního patra robota. Opět jde o hladký obdélníkový plech lemovaný duralovými výztuhami. Toto patro je určeno primárně pro uložení notebookové základní desky a snaží se tak půdorysem maximálně kopírovat její rozměry. Rozměry základní desky ale bohužel nejsou příliš kompaktní a půdorys horního patra tak z každé strany mírně přesahuje půdorys patra spodního. Tento fakt je částečně způsoben tím, že při návrhu bylo nejprve počítáno s jinou, kompaktnější základní deskou. Při použití původní zamýšlené desky (z notebooku Toshiba M30) by půdorysy obou pater mohly být shodné. Tato deska bohužel v průběhu výroby robota přestala z neznámých důvodů fungovat.

V přední části horního patra je výřez, umožňující přední uživatelské kameře při maximálním vychýlení zabírat i prostor těsně před robotem.

K plechu horního patra je také zespodu zavěšeno zařízení promítající světelnou linii, tedy tzv. liniový laser.

Technické výkresy jednotlivých dílů robota jsou zhotoveny v programu AutoCad 2002 a jsou uloženy na příloženém CD ve složce „výkresy“. Kromě souborů v nativním formátu AutoCadu – DWG, lze v této složce nalézt i PDF soubor, který obsahuje veškeré výkresy v jejich vykreslené podobě.

3. Komponenty nízkoúrovňového řízení

Jako nízkoúrovňové řízení, nebo také „Low-Level Control“, je v robotice obvykle označována množina všeho hardwarového i softwarového vybavení určeného ke správě senzorů a efektorů robotu. Hlavním úkolem tohoto vybavení je provádět cyklické a jednotvárné úkoly, které by jinak zbytečně zatěžovaly hlavní řídicí systém. Příkladem takových činností může být pravidelné snímání analogových hodnot ze senzorů nebo generování PWM signálu. Systém nízkoúrovňového řízení má minimum autonomie, jeho činnost je závislá na povelích systému řízení vyšší úrovně.

Elektronika nízkoúrovňového řízení robotu TulBot je rozdělena do čtyř modulů. Patrně nejdůležitějším modulem je modul nízkoúrovňového řízení, v projektu také nazývaný "ATmega Board". Tento modul obsahuje jednočipový mikrokontrolér ATmega16, který na základě povelů z vyšší vrstvy řízení ovládá většinu palubní elektroniky. Modul má také za úkol zpracovávat data z veškerého senzorického vybavení robotu a rovněž senzorům i poskytuje napájení. Kromě správy senzorů modul také poskytuje řídicí informace některým dalším modulům (řízení laseru a řízení motorů). Hlavním účelem modulu tak je zajišťovat komunikační rozhraní mezi počítačovou deskou a zbytkem elektronického vybavení. Komunikace s počítačem probíhá po standardní sériové lince. Na desce modulu tak nechybí 9ti pinový D-sub konektor. Vzhledem k absenci COM portů na základních deskách dnešních notebooků je ovšem komunikace po RS232 realizována prostřednictvím RS232toUSB konvertoru.

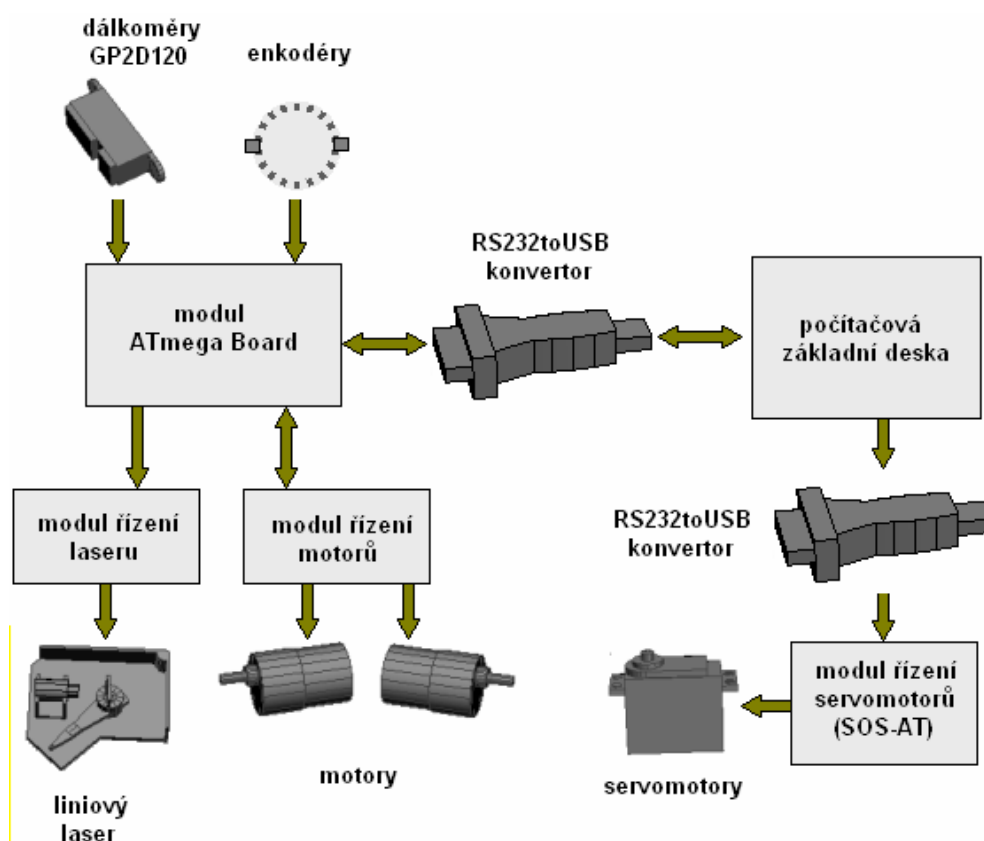
Dalším modulem palubní elektroniky je modul řízení laseru. Tento modul obsahuje výkonové prvky, určené k řízení proudu protékajícího laserovou diodou a také proudu protékajícího cívkou vychylovacího mechanismu laseru. Jsou zde také začleněny komponenty pro napájení těchto výkonových prvků a filtrační prvky pro vyhlazení případných rušení. Řídicí signály jsou tomuto modulu předávány modulem "ATmega Board", prostřednictvím třívodičového vedení. Komunikace probíhá v napětových úrovních TTL.

Třetím modulem elektronického řídicího subsystému je modul řízení motorů. Jde v podstatě opět o soubor výkonových, napájecích a filtračních prvků na jedné DPS. Smyslem modulu je řízení proudu oběma hnacími motory robotu. Řídicí informace jsou zde opět poskytovány modulem "ATmega Board". Komunikace probíhá šestivodičovým spojením, přičemž čtyři vodiče jsou určeny k řízení směru a rychlosti otáčení motorů a dva další představují zpětnou vazbu řízení. Zpětnovazebními vodiči jsou modulu "ATmega Board"

vracena napětí na předřadných rezistorech levého a pravého motoru. Úbytek napětí na těchto rezistorech přímo úměrně stoupá s velikostí proudu protékajícího motory. Díky těmto vodičům tak lze měřit úroveň zatížení motorů.

Posledním modulem nízkoúrovňové řídicí elektroniky je modul řízení servomotorů SOS-AT. Na rozdíl od výše zmíněných modulů, které byly navrženy a sestaveny v rámci této práce, byl modul SOS-AT pořízen jako hotový výrobek. Bude tak dále popisován pouze obecně.

Modul SOS-AT komunikuje s počítačem po své vlastní sériové lince. Celkem jsou tak pro komunikaci elektronických modulů s palubním počítačem potřeba 2 sériové kanály. Jak sériová linka modulu SOS-AT, tak i sériová linka modulu "ATmega Board" disponují galvanickým oddělením pomocí optočlenů. Pokud se k napájení počítačové desky a řídicích modulů použijí síťové zdroje bez galvanického oddělení, je tak zajištěno oddělení zemních smyček pro sériové linky. Blokové schéma zapojení všech čtyř elektronických modulů, palubního počítače a senzorů je zakresleno na obrázku 4.



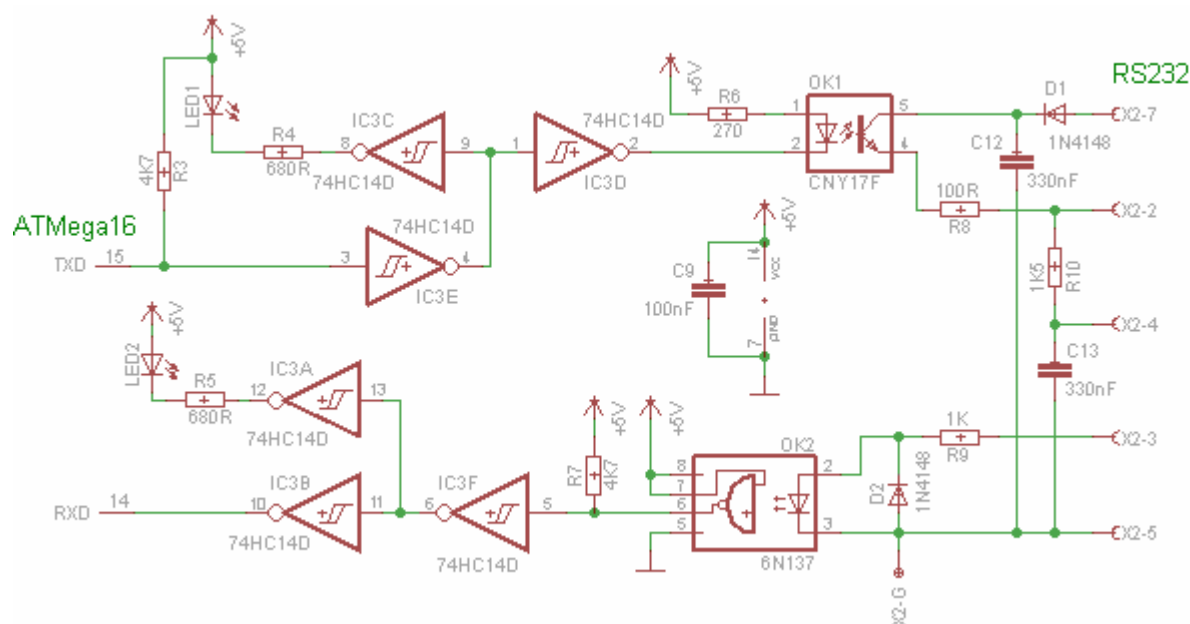
Obr. 4 – Blokové schéma zapojení elektroniky robota TulBot.

3.1 Modul "ATmega Board"

Modul ATmega Board, jak již bylo zmíněno, představuje mezistupeň v komunikaci mezi počítačovou základní deskou a množinou senzorů a efektorů robota. Kromě mikrokontroléru ATmega16 tak deska modulu obsahuje řadu obvodů, které zajišťují přizpůsobení vstupních či výstupních dat potřebám tohoto procesoru. Je zde například obvod řešící přizpůsobení sériové linky procesoru, která operuje v napěťových úrovních TTL na RS-232 s bipolárními úrovněmi, která je užívaná v PC. Také jsou zde děliče napětí přizpůsobující výstupní napětí analogových senzorů potřebám A/D převodníku mikrokontroléru ATmega16. Je zde rovněž několik vstupních linek, opatřených Schmittovými klopnými obvody. Tyto linky pak slouží především pro připojení různých optoelektronických snímačů, u nichž je požadován dvoustavový výstup a je tak potřeba pro výstupní analogové hodnoty snímače jasně rozlišit logické úrovně.

3.1.2 Popis zapojení modulu

Jelikož klíčovou činností mikrokontroléru ATmega16 na desce modulu je sériová komunikace s nadřazeným řídicím systémem (PC deskou), bylo třeba nejprve vyřešit nekompatibilitu napěťových úrovní sériové linky mikrokontroléru a sériové linky počítače. Sériová linka mikrokontroléru využívá pro komunikaci napěťové úrovně TTL (tedy přibližně $0V = \text{log.}0$; $5V = \text{log.}1$), zatímco sériová linka počítače využívá standardní úrovně RS-232 (tedy obvykle $-12V = \text{log.}1$; $+12V = \text{log.}0$). Tento problém je tradičně řešen pomocí TTLtoRS232 konvertoru MAX232. Při návrhu zapojení modulu ATmega Board byl ovšem požadavek na galvanické oddělení sériové linky, především z důvodu zamezení přenosu rušení po této lince a také z důvodu ochrany RS-232 rozhraní počítačové desky. Obvod MAX232 galvanické oddělení neposkytuje, proto bylo třeba nalézt řešení pomocí optočlenů. Na obrázku 5 je znázorněn obvod umožňující propojení mikrokontroléru a RS-232 portu počítače s galvanickým oddělením. Zapojení vychází z obvodu, který byl uveřejněn v časopise Radio plus KTE 9/2004.



Obr. 5 – Obvod zprostředkující galvanicky oddělenou komunikaci sériové linky mikrokontroléru ATmega16 a RS232 linky PC.

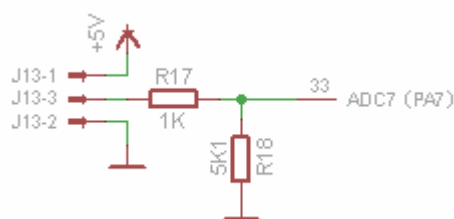
Obvod je založen na dvou optočlenech, které zajišťují komunikaci v obou směrech. Je zde také využito obvodu 74HC14, což je šestinásobný Schmittův invertor. Signál TXD přichází z počítače na pin 3 D-Sub konektoru (ve schématu X2-3), pokračuje přes rezistor R9 k diodě D2 a vysílací diodě optočlenu OK1. Pokud je signál v log 0 (+12 V), proud proteče diodou D2 ke GND. Pokud je signál v log 1 (-12 V), proud začne protékat v propustném směru vysílací diodou optočlenu OK2. Výstup optočlenu 6N137 je opatřen hradlem NAND, a tak se v případě rozsvícení vysílací diody na výstupu objeví log. 0. Tato logická úroveň je pak přes dva invertory ve funkci impedančního oddělovače přenesena na vstup RXD mikrokontroléru ATmega. Jeden Schmittův invertor je zde také použit jako budič pro kontrolní diodu LED2.

Komunikace v opačném směru je nepatrně komplikovanější. Pro vytvoření signálu, který bude schopna přijmout sériová linka počítače, je totiž zapotřebí získat napěťové úrovně -12 V a +12 V. Tato napětí jsou v obvodu získávána přímo ze sériové linky počítače, konkrétně z pomocných signálů pro modem RTS a DTR. Ze signálu RTS je získáváno +12 V a signálem DTR je přiváděno -12 V. Tyto úrovně musí být na obou linkách nastaveny softwarově.

Pokud je tedy na straně mikrokontroléru ATmega vysílána například log. 0, tato log. úroveň projde impedančním oddělovačem, tvořeným dvěma invertory na katodu vysílací

diody optočlenu OK2. Ta se rozsvítí a způsobí otevření fototranzistoru optočlenu. Proud tak začne protékat z pinu X2-7 (+12 V) přes diodu D1 a rezistor R8 do pinu X2-2 (RXD), kde +12 V reprezentuje opět log. 0. Je-li fototranzistor optočlenu OK2 naopak zavřen, objeví se na pinu X2-2 (RXD) napětí cca -12 V přiváděné přes rezistor R10 z pinu X2-4. Dioda D1 chrání fototranzistor před zničením v případě prohození log. úrovní na linkách RTS a DTR (piny X2-7 a X2-4).

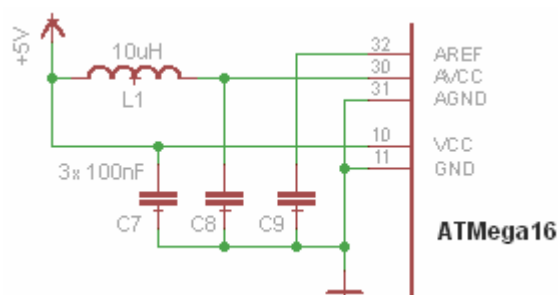
Další důležitou úlohou mikrokontroléru ATmega16 je průběžné zpracovávání hodnot naměřených senzory robotu. Jde tedy především o analogové hodnoty, které poskytují dálkoměry Sharp a digitální hodnoty poskytované enkodéry. Pro zpracování analogových hodnot lze s výhodou využít A/D převodníku, který je v mikrokontroléru ATmega16 integrován. Referenční napětí pro A/D převodník lze získávat buď z integrovaného stabilizátoru (2,56 V), nebo pomocí vnějšího zdroje připojeného na pin AREF mikrokontroléru. V rámci snížení počtu součástek zde bylo zvoleno využití vnitřní reference 2,56 V. Jelikož rozsah hodnot výstupního napětí dálkoměrů Sharp představuje přibližně 0~3 V, bylo třeba každý vstupní kanál pro tyto senzory na modulu opatřit děličem napětí. Vzorové zapojení vstupního kanálu pro dálkoměr Sharp je patrné na obrázku 6. Při současných hodnotách rezistorů se při napětí 3 V na pinu J13-3 objeví na vstupu A/D převodníku (ADC7) napětí 2,5 V. Takto ošetřených analogových vstupů obsahuje modul ATmega Board pět.



Obr. 6 – Zapojení konektoru určeného pro připojení infračerveného dálkoměru Sharp.

A/D převodník mikrokontroléru ATmega16 je poměrně citlivý na různé formy elektromagnetického rušení. Zdrojem tohoto rušení jsou v největší míře číslicové obvody obsažené v samotném mikrokontroléru. Vliv rušení lze omezit pomocí například použitím analogové stínící desky (rozlitou měď pod analogovou částí mikrokontroléru), vhodně ošetřeným napájením A/D převodníku či uspáváním ALU jednotky v době A/D převodu. Při návrhu zapojení, DPS i softwaru bylo samozřejmě s těmito možnostmi počítáno. Na obrázku 7 je zobrazeno zapojení napájení A/D převodníku i mikrokontroléru samotného. Jak je z

obrázku patné, napájení A/D převodníku (pin AVCC) je realizováno prostřednictvím filtračního článku LC.

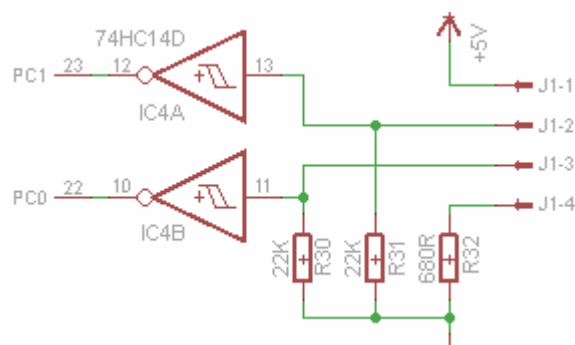


Obr. 7 – Zapojení napájení mikrokontroléru ATmega16 .

Pro analogovou zem (AGND) i zem digitální (GND) byly na spodní straně DPS vytvořeny oddělené zemní desky. Tyto desky jsou následně spojeny v jediném bodě. Napájecí piny mikrokontroléru i ostatních číslicových obvodů jsou vybaveny blokovacími kondenzátory, které pokrývají impulsní spotřebu těchto obvodů. Je tak zabráněno šíření impulsního rušení po napájecí sběrnici.

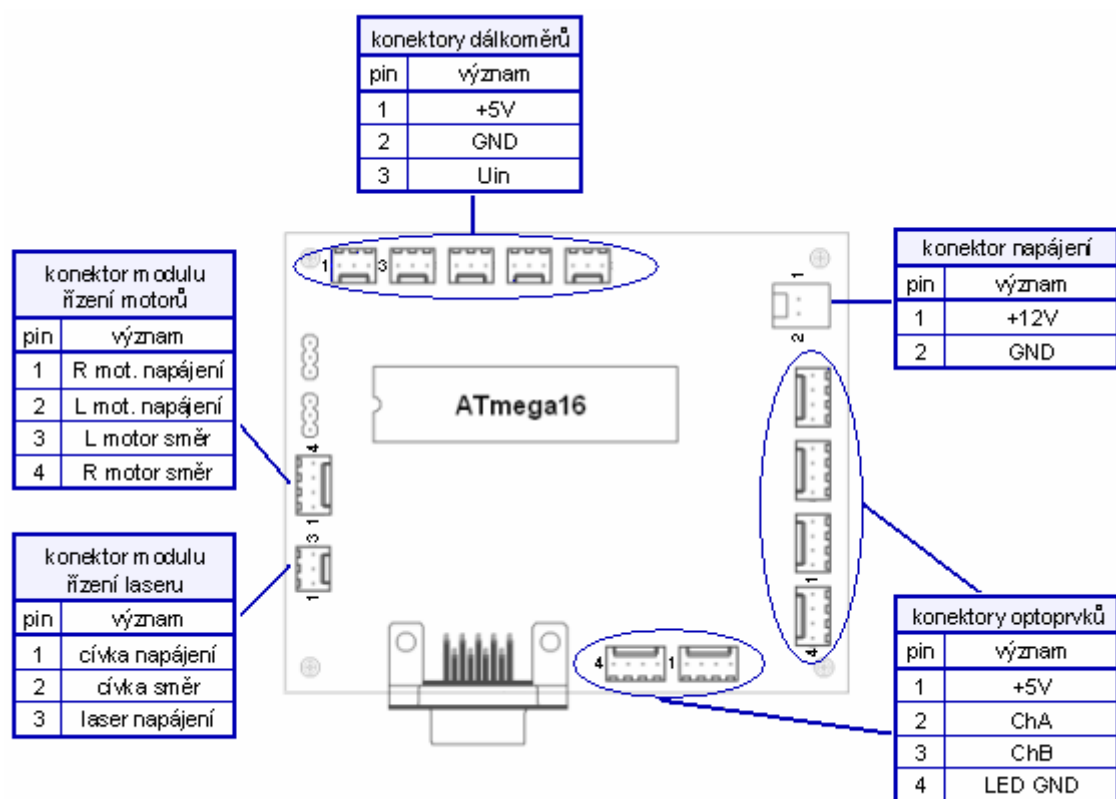
Dalšími obvody na desce modulu ATmega Board je řešeno zpracování signálů přicházejících od optoelektronických senzorů (optických závor a enkodérů). Výstup těchto senzorů by ideálně měl být dvoustavový. Fototranzistory v optoelektronických prvcích ale samozřejmě přesný dvoustavový výstup neposkytují. Když se například clonka enkodéru dostává do cesty světlu dopadajícímu na fototranzistor, fototranzistor se zavírá jen pozvolna a vytváří tak nedefinovatelné stavy. Průběh výstupního napětí enkodéru při rotující clonce tak připomíná více sinusový než obdélníkový průběh. U výstupního signálu z enkodérů i ostatních optoelektronických senzorů je tak třeba zajistit jednoznačné rozlišení logických úrovní. Na modulu ATmega Board je tento úkol řešen pomocí Schmittových invertorů integrovaných v odvodu 74HC14. Schmittův klopný obvod poskytuje na výstupu pouze dva stabilní stavy, které jsou skokově měněny, pokud vstupní napětí překročí určitou hranici (jde v podstatě o komparátor s hysterezí). Tyto obvody tak lze snadno využít k převodu analogového signálu na digitální. Schmittovy invertory samozřejmě kromě jednoznačného rozlišení logických úrovní způsobí také inverzi přiváděného signálu. Při zaclonění fototranzistoru v některém ze senzorů se tak na příslušném výstupu obvodu 74HC14 objeví logická 1. Na obrázku 8 je patrné vzorové zapojení konektoru pro dvoukanálový rotační

enkodér. Podobných konektorů obsahuje modul ATmega Board šest. Celkem je tedy k dispozici dvanáct vstupních linek ošetřených Schmittovými klopnými obvody.



Obr. 8 – Zapojení konektoru určeného pro dvoukanálový rotační enkodér.

Na obrázku 9 je rozepsán význam pinů jednotlivých konektorů modulu ATmega Board. Většina použitých konektorů jsou konektory se zámkem typu PFH02. Pořadí pinů jednotlivých konektorů se snaží být shodné se seřazením pinů na konektorech, se kterými mají být propojeny. To umožňuje elegantní využití plochých propojovacích kabelů. Nepopsané konektorové kolíky na levé straně představují vyvedení nepoužitých pinů mikrokontroléru.



Obr. 9 – Význam pinů jednotlivých konektorů modulu ATmega Board.

3.1.2 Popis mikrokontroléru ATmega16

ATmega16 je jednočipový 8-bitový mikrokontrolér, vyráběný americkou firmou Atmel. Patří do rodiny Atmel AVR. Výkonem a vybavením zde představuje mezistupeň mezi mikrokontroléry ATtiny a ATxmega. Procesor má RISCovou architekturu a pro správu paměti využívá modifikované Harvardské architektury. Má tedy oddělenou paměť dat a paměť programu, obě paměti však využívají společnou datovou a adresovou sběrnici. Díky architektuře RISC disponuje procesor ATmega optimalizovanou sadou strojových instrukcí, z nichž většina je zpracována za jediný strojový cyklus. Ve srovnání s dříve velmi populárními jednočipovými procesory Atmel 8051, kde jeden strojový cyklus trvá 12 cyklů hodinových, je tak zpracování instrukcí na architektuře AVR, při stejné frekvenci oscilátoru, 12 krát rychlejší. Novinkou architektury AVR je také přítomnost 32 GPR registrů. Každý z nich je přímo spojen s ALU jednotkou a je tak možné, aby jediná instrukce v jediném strojovém cyklu přistupovala hned ke dvěma registrům. Opět by se zde hodilo srovnání s procesory 8051, kde aritmeticko-logické operace byly realizovány téměř výhradně na jediném registru, zvaném akumulátor. Zde je tedy v podstatě takových akumulátorů 32, což značně zefektivňuje práci procesoru.

Co se periferního vybavení týče, obsahuje mikroprocesor ATmega16 například tři čítače/časovače umožňující nastavit režimem pro generování PWM signálu, 32 vstupně-výstupních linek, rozdělených do 4 portů, 8 kanálový A/D převodník s přesností 10 bitů nebo programovatelné sériové rozhraní USART. Mikrokontrolér také obsahuje vnitřní zdroj hodinového signálu - kalibrovaný RC oscilátor. Dále je pak procesor vybaven kontrolními systémy jako jsou WatchDog či Brown-out detekce. To vše představuje velmi užitečné vybavení pro tvorbu řídicího systému nižší úrovně pro mobilní robot.

Klíčové parametry mikroprocesoru ATmega16:

- architektura AVR RISC
- maximální výpočetní výkon 16 MIPS
- paměť programu typu flash, disponující kapacitou 16 kB
- paměť RAM o kapacitě 1 kB
- datová paměť EEPROM o kapacitě 512 B
- 32 registrů GPR
- 4 osmi-bitové vstupně-výstupní porty

3.1.3 Softwarové vybavení mikroprocesoru ATmega16

Program běžící na procesoru ATmega16 byl kompletně vytvořen v jazyce symbolických adres – Assembleru. Ačkoliv vývoj softwaru v tomto prostředí by se dal považovat za přežitý, pro tvorbu jednodušších aplikací je assembler stále efektivním nástrojem. Assembler především nechává programátorovi plnou kontrolu nad tokem programu. Na první pohled tak lze například určit, kolik strojových cyklů se budou jednotlivé části programu vykonávat. Díky tomu, že programátor píše kód ve stejné struktuře, v jaké bude následně v paměti procesoru, je také kompilace velmi rychlá. Za nevýhody oproti programům psaným v C/C++ lze považovat například nepřehlednost kódu či komplikovaná práce se složitějšími datovými typy. Program nízkourovňového řízení robota TulBot je však poměrně jednoduchý a vystačí si s 8-bitovými datovými typy, snadno uložitelnými v paměti procesoru. Assembler se tak zdál být postačující platformou pro vývoj. Pro psaní a kompilaci kódu byl využit software AVR Studio 4, který je zdarma poskytován výrobcem procesoru, firmou Atmel.

Úkolem softwaru procesoru ATmega16 je obsluhovat požadavky přijaté sériovou linkou od systému vyšší úrovně řízení. V opačném směru komunikace je zase třeba zajistit pravidelné odesílání informací naměřených senzory. Mezi základní činnosti programu tak patří cyklické čtení hodnot na vstupních kanálech A/D převodníku, zjišťování změn na vstupních pinech portů, vytváření a odesílání zprávy po sériové lince. Odesílaná zpráva konkrétně obsahuje jeden synchronizační bajt, osm bajtů představujících naměřené hodnoty na osmi kanálech A/D převodníku a čtyři bajty vyjadřující změnu polohy na čtyřech enkodérech. Změna polohy enkodéru je zde vyjádřena jako $\Delta n + 128$, přičemž Δn je počet enkodérových tiků generovaných enkodérem v době mezi odesláním dvou zpráv. Δn může v závislosti na směru otáčení enkodéru nabývat kladných i záporných hodnot, přičtením 128 se tak zajišťuje rozlišitelnost jakékoliv změny od -128 do 127 tiků. Sériová linka je v současnosti nakonfigurována na komunikaci rychlostí 9600 Bd s 8 datovými bity a jedním stop bitem, bez parity.

Cyklus strádání a odesílání informací je časován pomocí přerušovacího systému mikrokontroléru. Konkrétně tedy pomocí žádostí o přerušení při dokončení A/D převodu. Na začátku cyklu je tedy spuštěn A/D převod. Jakmile A/D převodník převod dokončí, vyvolá se přerušení a obslužný podprogram přepne vstupní multiplexer A/D převodníku na další vstupní kanál. Po zpracování všech osmi kanálů je při dalším vyvolání přerušení odvysílána po sériové lince zpráva o veškerých naměřených hodnotách. Časování lze tedy změnit například

změnou nastavení předděličky A/D převodníku (změní rychlost A/D převodu). V době, kdy probíhá A/D převod, jsou v hlavní smyčce programu průběžně testovány změny na vstupních pinech, ke kterým jsou připojeny enkodéry. Zde by bylo taktéž vhodné místo dotazovacího způsobu využít pro detekci změn přerušovací systém, bohužel ATmega16 poskytuje pro vnější zdroje přerušování pouze dva vstupy (zde by byla potřeba minimálně čtyři). Pro každý enkodér je v RAM paměti procesoru vyhrazen jeden bajt. Při odeslání zprávy jsou tyto bajty resetovány na 128. Pokud je u signálu některého z enkodérů detekována náběžná/sestupná hrana, je bajt v paměti příslušící danému enkodéru dle směru otáčení inkrementován, nebo dekrementován.

Software také zajišťuje obsluhu zpráv přijatých sériovou linkou. Tyto zprávy mohou mít rozličný význam. Například může jít požadavky na vypnutí/zapnutí laseru, nastavení délky promítané laserové linky či o povely nastavující rychlost a směr hnacích motorů. Většina přijatých zpráv má délku dva bajty, kde první bajt identifikuje význam zprávy a druhý obsahuje konfigurační hodnotu.

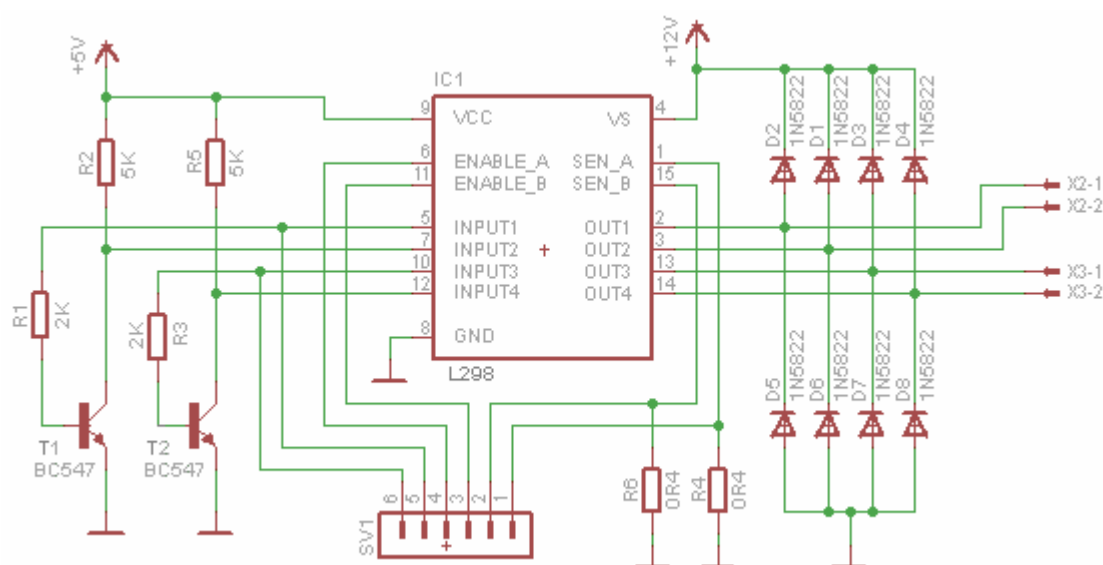
Rychlost hnacích motorů je řízena pomocí PWM signálu. Ke generování tohoto signálu je v mikrokontroléru využito tzv. čítače/časovače. Čítač/časovač je nakonfigurován jako časovač s režimem fázově korigovaného PWM. Časovač tedy na základně hodinového signálu, přicházejícího přes předděličku z oscilátoru cyklicky inkrementuje svůj zásobník do 255 a následně dekrementuje zpět na 0. K tomuto zásobníku je připojen výstupní komparátor, který při dosažení prahové hodnoty změní log. hodnotu na svém výstupu. Nastavením prahové hodnoty u výstupního komparátoru tak lze konfigurovat střídu generovaného PWM signálu a nastavením předděličky jeho frekvenci. Aktuálně nastavená frekvence činí 500 Hz.

3.2 Modul řízení motorů

Modul řízení motorů má za úkol na základě vstupních signálů v TTL úrovních ovládat motory hnacích kol robota. Za tímto účelem je modul vybaven integrovaným obvodem L298, což je dvojitý bipolární H-můstek s vestavěnou řídicí logikou. Integrovaný obvod tedy umožňuje řídit dvě nezávislé indukční zátěže. Každý kanál je schopen poskytnout proud do 2 A. Řízení každého kanálu je realizováno můstkovým zapojením se dvěma bipolárními tranzistory v každé větvi. Výstupní napětí pro zátěž je pak snímáno na diagonále můstku. Spínání tranzistorů je řízeno pomocí vnitřních logických obvodů. Z vnějšku pak lze řídit

chování můstku pomocí třech logických vstupů pro každý kanál. Obvod také disponuje piny SEN_A a SEN_B, díky kterým je možné připojit zem pro obě zátěže mimo integrovaný obvod. Smyslem těchto pinů je usnadnit měření proudu na zátěži. Nevýhodou oproti jiným H-můstkům (např. populárnímu L293D) je absence ochranných diod přímo v integrovaném obvodu. Diody jsou nutné k ochraně tranzistorů H-můstku před napětím indukovaným na cívkách zátěže. Musí tak být k obvodu přidány externě. Integrovaný obvod je uložen v pouzdře Multiwatt15, které umožňuje jeho snadné chlazení. Externí chladič ale není v tomto případě třeba. Při proudu okolo 500 mA každým motorem teplota pouzdra nepřekročí 30 °C

Zjednodušené schéma zapojení modulu řízení motorů je zobrazeno na obrázku 10.

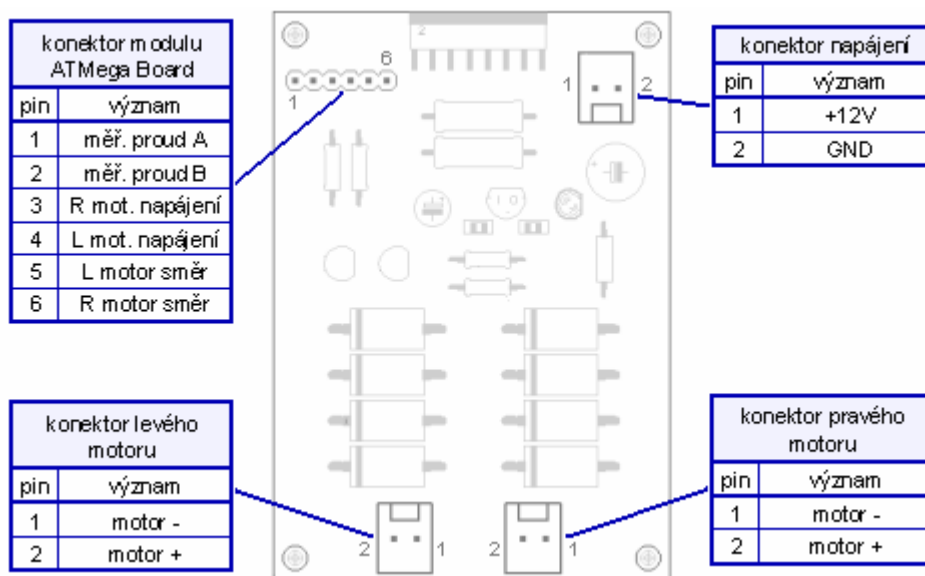


Obr. 10 – Schéma zapojení modulu řízení motorů (bez napájecích obvodů).

Jak již bylo zmíněno, pro řízení každého kanálu (každé zátěže) je využito třech logických vstupů. Pro kanál A je to například ENABLE_A, INPUT1 a INPUT2. Vstup ENABLE_A povoluje napájení zátěže, do tohoto vstupu je v zapojení přiveden PWM signál. Vstupy INPUT1 a INPUT2 lze využít pro řízení polarity napětí pro zátěž. Pro tento účel je třeba na obou těchto vstupech udržovat opačné logické úrovně. To je zajištěno pomocí tranzistoru T1 (T2 pro kanál B), který zde slouží jako logický invertor.

Výstupy SEN_A a SEN_B jsou uzemněny přes rezistory R4 a R6. Měřením úbytku napětí na těchto rezistorech je zjišťována velikost proudu procházejícího motory. Napětí reprezentující úbytek modul poskytuje na pinech 1 a 2 konektoru SV1. Odtud je svedeno na vstupy A/D převodníku mikrokontroléru ATmega16.

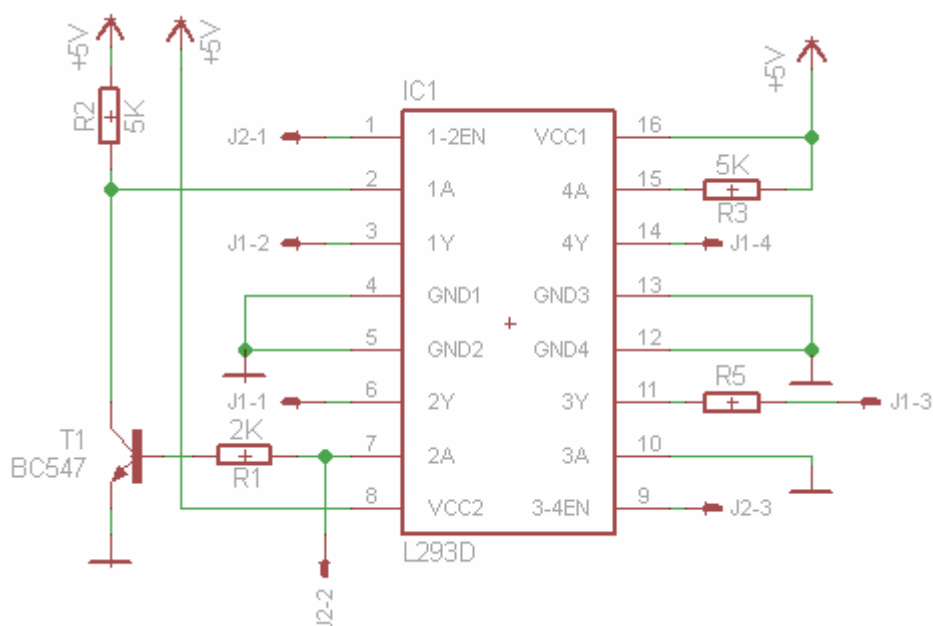
Význam pinů jednotlivých konektorů na desce modulu řízení motorů je rozepsán na obrázku 11.



Obr. 11 – Význam pinů jednotlivých konektorů modulu řízení motorů.

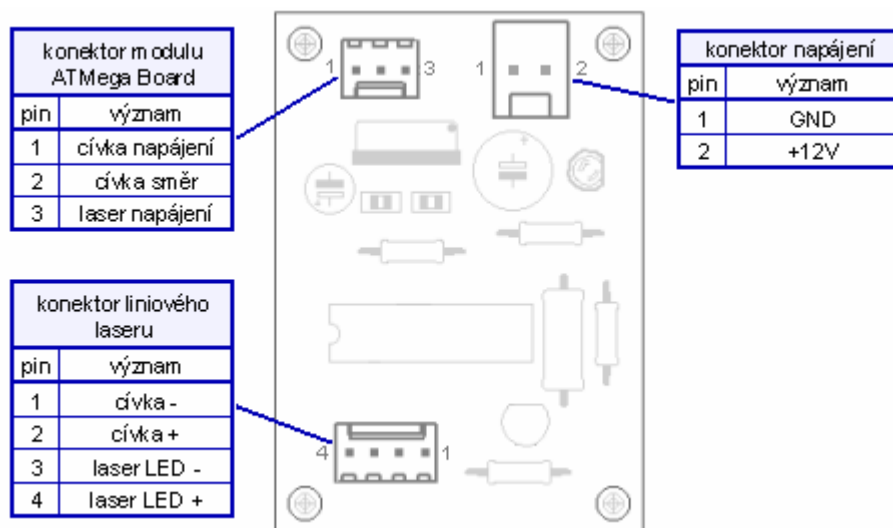
3.3 Modul řízení laseru

V zařízení, jež promítá laserovou linii, je třeba řídit napájení laserové diody a cívky vychylovacího mechanismu. Oba tyto úkoly má na starosti modul řízení laseru. Podobně jako v případě předchozího popisovaného modulu i zde je k řízení využito dvojitého integrovaného H-můstku. Tentokrát jde o obvod L293D. H-můstek byl zde použit proto, že u napájení cívky vychylovacího mechanismu je opět potřeba řídit polaritu napětí. K tomuto účelu je tedy využit jeden řídicí kanál obvodu L293D. Druhý kanál má polaritu pevně nastavenou (spojením pinu 3A se zemí a pinu 4A s +5 V) a slouží tak jako výkonový člen pro napájení laserové LED. Narozdíl od obvodu L298 má L293D integrované ochranné diody a ty tak nemusí být na desce externě. Jak si lze všimnout ve schématu (obr. 12), je zde opět využit jeden NPN tranzistor jako logický invertor.



Obr. 12 – Schéma zapojení modulu řízení laseru (bez napájecích obvodů).

Na obrázku 13 je rozepsán význam jednotlivých pinů modulu. Polarita napájení cívky, naznačená u pinu 1 a 2 konektoru liniového laseru, představuje polaritu při které rameno vystavovacího mechanismu vyjíždí z parkovací polohy.



Obr. 13 – Význam pinů jednotlivých konektorů modulu řízení laseru.

3.4 Modul řízení servomotorů

Pro ovládání servomotorů je v robotu využito komerčně vyráběného modulu nazývaného SOS-AT. Tento modul je schopný řídit polohu výstupního hřídele až osmi připojených modelářských servomotorů na základě povelů přijatých po sériové lince. Sériová komunikace je v tomto případě opět nakonfigurována na rychlost 9600 Bd, 8 datových bitů, 1 stop bit, bez parity.

Zpráva pro tento modul má následující tvar:

1. bajt – synchronizační, vždy 255 (FF_h)
2. bajt – pořadové číslo ovládacího servomechanismu (1-8)
3. bajt – poloha výstupního hřídele servomechanismu (0-254)

4. Senzorické vybavení robotu

4.1 Infračervený dálkoměr Sharp GP2D120

Infračervené dálkoměry firmy Sharp patří obecně v oblasti amatérské robotiky mezi velmi populární sensorické vybavení. Na krátké vzdálenosti tyto senzory poskytují poměrně přesné údaje a jsou relativně cenově dostupné. Oproti ultrazvukovým dálkoměrům mají infračervené několik výhod. Například netrpí necitlivostí na měkké materiály či na plochy vystavené z malých úhlů. Také rychlost měření je zde několikanásobně vyšší. Nevýhodou infračervených senzorů je zase například špatná schopnost detekovat lesklé povrchy či malý dosah měření.

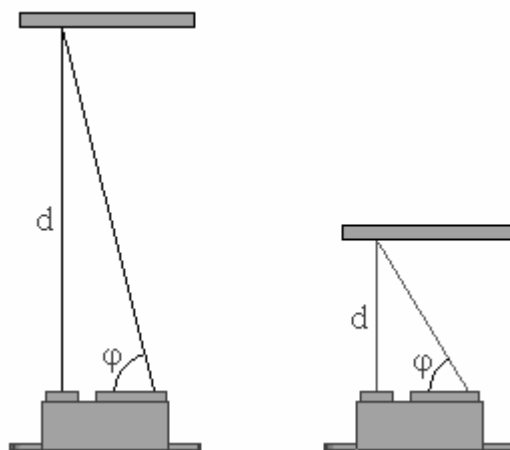
Dálkoměry Sharp se vyrábějí v mnoha provedeních, která se liší především udávaným intervalem měřitelné vzdálenosti a způsobem přenosu výstupních dat (digitální/analogové). Model Sharp GP2D120 je schopen měřit vzdálenost od 4 do 30 cm a je vybaven analogovým výstupem. Naměřenou vzdálenost tedy převádí na velikost napětí na výstupu. Rychlost měření se u tohoto senzoru pohybuje okolo 26 měření za vteřinu. Jedno měření tedy zabere přibližně 38 ms. Ve srovnání s dálkoměry Sharp s digitálním výstupem je pak tento senzor zhruba dvakrát rychlejší.

4.1.1 Princip měření dálkoměrů Sharp

Infračervené dálkoměry mohou pracovat na více různých principech. Příkladem nejjednoduššího dálkoměru může být detektor odrazu, tedy zařízení, které vysílá do okolí infračervený paprsek a následně měří intenzitu případných odrazů světla od překážek. Podobná řešení mají mnoho nedostatků, například je zde problém s různou odrazivostí různě barevných povrchů. Proto lze podobné senzory využít pouze pro orientační představu o vzdálenosti překážky. Nejčastěji se tyto senzory využívají pouze na dvoustavové určení, zdali překážka existuje, či ne.

O poznání lépe pracují infračervené dálkoměry firmy Sharp. Základem senzoru je opět zdroj a přijímač infračerveného záření, vzdálenost se zde ale vyhodnocuje na principu triangulace. Cílem je tedy spočítat výšku pravoúhlého trojúhelníka, jehož vrcholy tvoří vysílač infračerveného světla, přijímač infračerveného světla a bod, kde se světelný paprsek odráží od překážky (viz obr. 14). Délka jedné odvěsny trojúhelníku je známá, představuje ji

vzdálenost mezi infračerveným vysílačem a přijímačem. Měřením je průběžně zjišťována velikost úhlu φ . Pomocí těchto dvou údajů již lze snadno velikost zbývající odvěsny (a tedy i vzdálenost d) dopočítat.



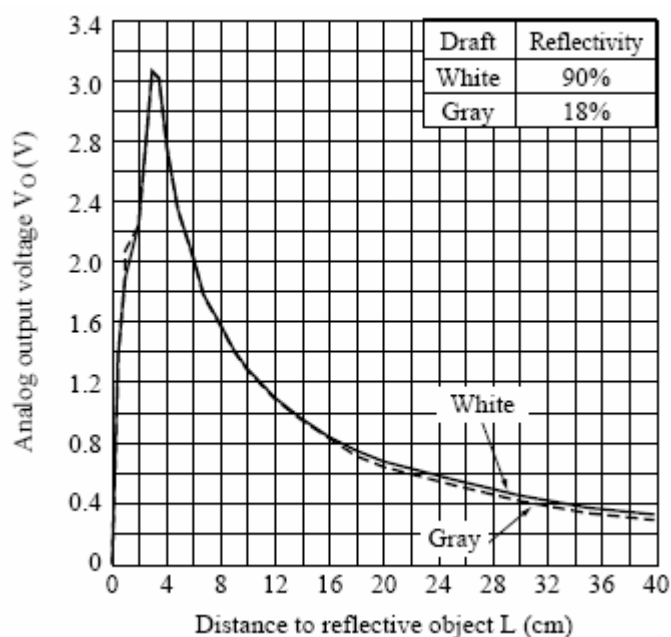
Obr. 14 – Princip funkce dálkoměrů Sharp.

Měření úhlu φ je možné díky tomu, že jako infračervený přijímač je použit speciální světlocitlivý snímač, zvaný PSD. Funkcí připomínají PSD snímače klasické CCD či CMOS prvky. Na rozdíl od nich ovšem nemají maticovou strukturu světlocitlivých elementů, ale jsou tvořeny jedním monolitickým světlocitlivým povrchem. Nedovedou tedy zaznamenat obrazový rastr podobně jako CCD, umí pouze měřit souřadnice bodu, kde na jejich povrch dopadá nejvíce světla. Toto měření nicméně dokáží provádět spojitě a s velkou rozlišovací schopností. Pro měření úhlu dopadajícího světla je v senzoru Sharp PSD snímač dovybaven ještě miniaturním objektivem. Geometrie tohoto objektivu pak určuje hranice maximálních a minimálních úhlů světla, které je ještě povrch PSD schopný zaznamenat. U dálkoměrů Sharp výrobce tímto způsobem nastavuje dynamický rozsah senzoru.

Podstatným faktem nicméně zůstává, že výstup těchto dálkoměrů nepředstavuje vypočtenou délku d , ale pouze polohu světelného ohniska na PSD snímači vyjádřenou napětovými úrovněmi od 0 do 3 Voltů. Výstup tedy není lineárně závislý na vzdálenosti d . Mimo předepsané pásmo dynamického rozsahu je navíc značně zkreslen (viz obr. 16). Pokud například vzdálenost klesne pod minimální přípustnou hodnotu dynamického rozsahu, světlo přestane dopadat na PSD prvek a výstup senzoru se chová, jako by se vzdálenost naopak prudce zvýšila. Tato chyba lze velmi těžko odstranit v softwarové vrstvě řízení. Problém lze efektivně odstranit pouze mechanickým zamezením přílišného přiblížení senzoru.

Nespornou výhodou měření vzdáleností triangulací je necitlivost měření na barvu překážky. Nižší odrazivost tmavších barev se nepatrně projevuje až při větších měřených vzdálenostech, kdy se již k senzoru vrací podstatně méně odraženého světla. Problém by se dal zřejmě řešit dynamickým řízením jasu infračervené diody, takové funkce ovšem od popisovaných nízko-rozpočtových senzorů nelze očekávat.

Statická přenosová charakteristika senzoru Sharp GP2D120 pro různé odrazivosti povrchu je zobrazená v grafu 1.



Graf 1 – Statická přenosová charakteristika dálkoměrů Sharp GP2D120, jak ji uvádí výrobce. [7]

4.1.2 Linearizace převodní charakteristiky dálkoměru Sharp GP2D120

Aby bylo možné lépe poznat reálné chování senzoru, bylo provedeno pokusné měření převodní charakteristiky. Jako překážka odrážející infračervené světlo byla použita matná dřevěná deska. Jako referenční měřilo vzdálenosti byl použit svinovací metr. Měřenou vzdáleností byla vzdálenost mezi plochou dřevěné desky a čočkou PSD snímače v senzoru Sharp. Jak již bylo zmíněno, závislost výstupní veličiny na veličině vstupní není u tohoto senzoru lineární. Cílem měření je tedy získat reálná data, na základě kterých bude možné aproximovat průběh převodní charakteristiky nějakou matematickou funkcí $U_o(d)$. Měřením

je také třeba ověřit chování senzoru mimo předepsaný rozsah měření. Aproximace bude samozřejmě realizována pouze na intervalu předepsaného měřicího rozsahu (4-30 m).

Pomocí mocninné regrese lze na intervalu $d \in \langle 4; 30 \rangle$ získat mocninnou křivku:

$$U_o(d) = \frac{12,033}{d^{0,9862}}$$

kde:

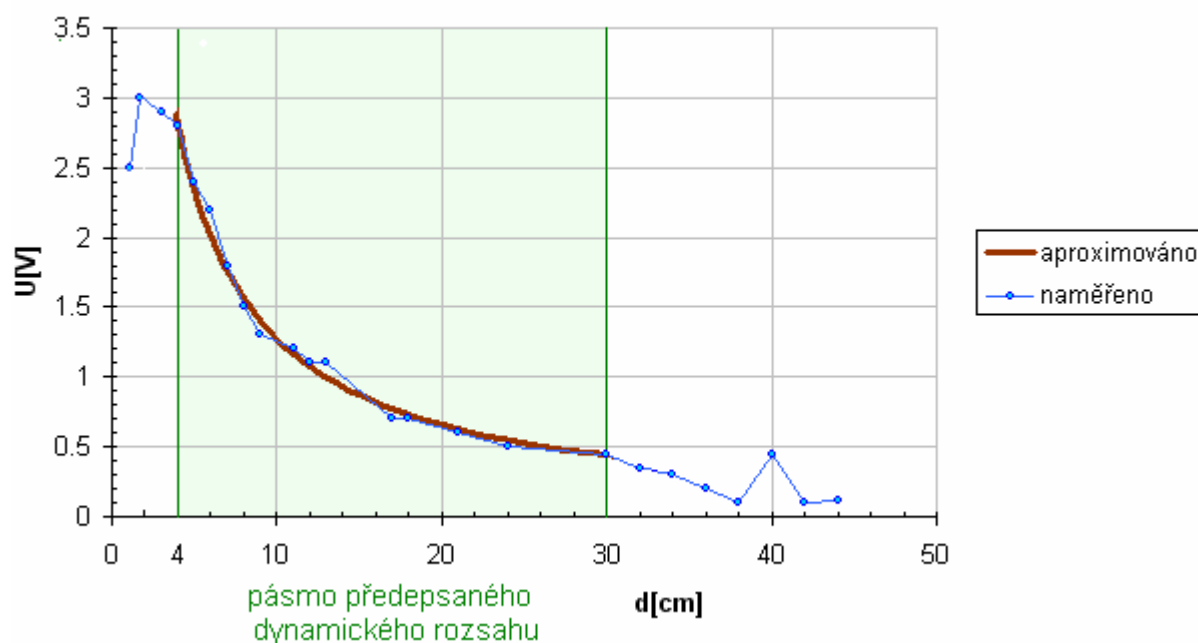
dměřená délka

U_onapětí na výstupu senzoru

Naměřenou převodní charakteristiku proloženou v daném intervalu aproximovanou křivkou lze shlédnout v grafu 2.

Z výše uvedeného vztahu lze odvodit inverzní funkci $d(U_o)$, pomocí které již může řídicí software údaje dodávané dálkoměrem linearizovat:

$$d(U_o) = e^{\frac{\ln U_o - \ln 12,033}{0,9862}}$$



Graf 2 – Naměřená statická převodní charakteristika aproximovaná v intervalu 4-30 cm mocninnou křivkou (hyperbolou).

Na naměřené charakteristice v grafu 2 si lze všimnout nahodilé chyby měření dálkoměru na vzdálenosti 40 cm. Podobné chyby se objevují na výstupu senzoru poměrně často, je-li senzor vzdálen od překážky více než cca 35 cm. V tomto pásmu se na výstupu senzoru objevují takřka náhodné hodnoty od 0.1 V po 0.5 V. Tyto chyby jsou částečně odfiltrovány softwarově na řídicím počítači. Pokud senzor měří hodnotu nad 30 cm (tedy „nic nevidí“), v dalším kroku skokově naměří např. 26 cm a následně opět ukáže vzdálenost nad 30 cm, je skokově naměřená hodnota považována za chybnou a je ignorována.

4.2 Enkodéry hnacích kol

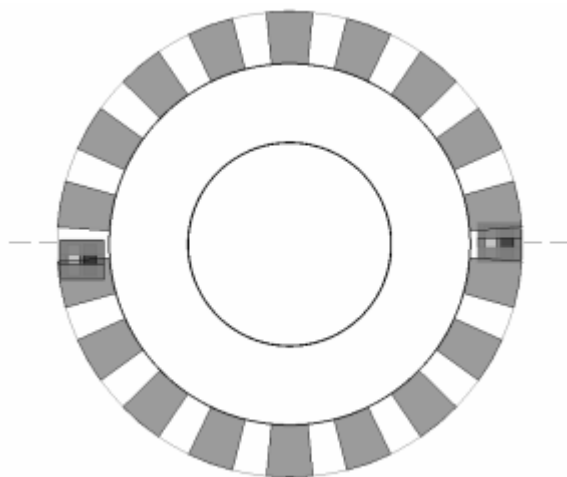
Aby bylo možné zjistit aktuální polohu robota v prostoru, je třeba neustále sledovat změny jeho polohy. To lze nejjednodušeji provádět sledováním rychlosti otáčení hnacích kol. K měření této rychlosti je v robotu využito dvoukanálových rotačních inkrementálních enkodérů. Rotační enkodér je elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb kol na sekvence elektrických impulsů. Zde použité enkodéry jsou dvoukanálové, generují tedy dva o 90 stupňů posunuté obdélníkové signály, díky kterým je možné zjistit nejen rychlost, ale i směr otáčení kola. Základním principem funkce enkodérů je měření přítomnosti či nepřítomnosti nějakého dobře detekovatelného materiálu na otáčejícím se kole. V tomto případě je detekována posloupnost odrazných a neodrazných plošek na disku vlepeném z vnitřní strany k hnacím kolům. K detekci odrazného materiálu je použito dvou reflexních infračervených senzorů QRD1114. Senzor je tvořen infračervenou LED a fototranzistorem se kterým jsou společně vlepeny v plastovém rámečku. Senzor je výrobcem původně určen k jednoduché detekci překážek, pro činnost v enkodéru je tak třeba jej upravit. Fototranzistor senzoru je zbytečně citlivý a bez jakýchkoliv úprav by při vzdálenosti pod 5 mm od jakéhokoliv povrchu byl neustále otevřený. Je třeba tedy předřadným rezistorem dostatečně snížit jas infračervené LED a celý senzor vybavit štěrbinovým filtrem. Úprava je znázorněna na obrázku 15.



Obr. 15 – Vybavení senzoru QRD1114 štěrbinovým filtrem.

Takto upravený senzor je již schopen poměrně přesně rozlišit materiál clonky a plastový povrch pod clonkou.

Původním záměrem bylo reflexní senzor zkalibrovat tak, aby byl schopen rozlišit bílé a černé pruhy pouze vytištěné na papírovém kotouči. Černý inkoust na papíře nicméně nedostatečně pohlcoval infračervené světlo a enkodér nepracoval spolehlivě. Od tohoto záměru tak bylo upuštěno a v současné konstrukci je zde kotouč z pouze reflexního materiálu a v něm vyřezané plošky, kde je světlo pohlcováno. Tato koncepce již poskytuje dostatečnou spolehlivost i při mírných změnách vzdálenosti senzoru a kola. Návrh kompletního enkodéru je možné shlédnout na obrázku 16. Papírový reflektor je zde zobrazen bíle, šedě jsou znázorněny otvory, kterými světlo dopadá za kotouč. Je zde také patrné umístění snímačů tak, aby při otáčení clonky generovaly signál posunutý o 90 stupňů.



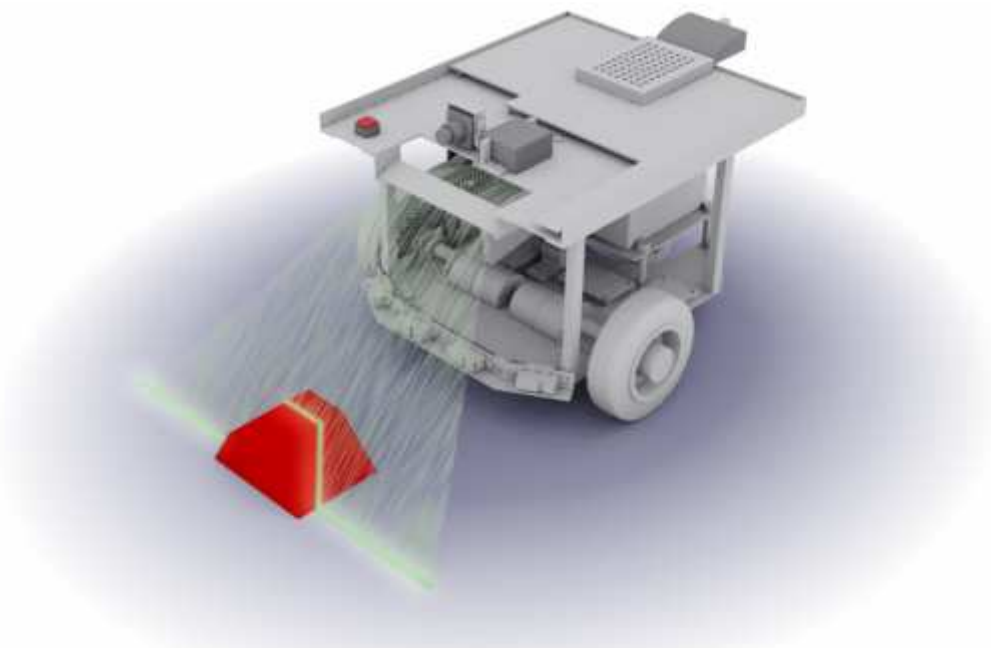
Obr. 16 – Dvoukanálový rotační enkodér.

4.1 Snímač profilu terénu

Funkční nedostatky použitých dálkoměrů vedly k myšlence vybavit robot nějakým dokonalejším zařízením pro detekci překážek. Jako vcelku bezkompromisní řešení se zde jeví použití nějakého druhu 3D snímače. Pro tento účel existuje řada komerčně vyráběných produktů, jako jsou například senzory Sick LMS či 3D kamera ZCam firmy 3DV Systems. Dostupnost a cena podobných zařízení ovšem zdaleka přesahovaly možnosti tohoto projektu. Pro jednoduché snímání 3D prostoru tak bylo navrženo snímací zařízení vlastní konstrukce.

Veškeré komponenty tohoto zařízení jsou snadno dostupné a relativně levné. Optickým snímačem je zde obyčejná analogová mini DV videokamera, jež byla zakoupena jako vadná, s nefunkčním kazetovým mechanismem. Laserový paprsek je emitován zařízením, které se skládá z vystavovacího mechanismu vyřazeného pevného disku a zelené laserové diody s optikou vymontované z 50 mW laserového ukazovátka. Zelený laser se jevil jako optimální i proto, že vzhledem ke struktuře Bayerova filtru videokamer by na tuto barvu měla být kamera nejcitlivější. Také výkon laseru se zdá být dostatečný, laser je schopen promítnout světelnou linii, která je kamerou rozlišitelná i za denního světla. U použité kamery je velkou výhodou možnost vypnutí automatického ostření, tato funkce totiž jinak při záběru na rozptýlený laserový paprsek obraz naopak rozostřuje.

Zjednodušený princip snímání je patrný z obrázku 17. Rozptýlený laserový paprsek dopadá před robota, kde vytváří vodorovnou světelnou linii. Tato linie je snímána kamerou a obraz z kamery je následně v řídicím počítači analyzován pomocí knihoven OpenCV. Pokud se před robotem objeví překážka, snímaná linie změní příslušným způsobem svůj tvar. Za jízdy tak lze za pomoci dat pořízených odometrií zrekonstruovat přibližný 3D model trasy, po které se robot pohybuje. Na tomto principu by tak bylo možné detekovat i překážky, které dálkoměry nemůžou zaznamenat. Také by bylo možné touto metodou ověřit výsledky měření dálkoměrů. Laserový snímač nicméně není v době psaní této práce ještě úplně dokončen.



Obr. 17 – Základní myšlenka funkce laserového snímače profilu terénu.

5. Softwarové vybavení řídicího počítače

Nejdůležitější aplikací běžící na řídicím počítači je aplikace zajišťující robotu řízení vyšší úrovně. Aplikace je zodpovědná za autonomní navigaci a zároveň slouží jako server síťového rozhraní pro dálkové řízení stroje. Program disponuje jednoduchým uživatelským rozhraním, ve kterém je graficky znázorněn pohyb robotu. Také jsou zde vypisovány hodnoty některých klíčových proměnných navigačního subsystému. Toto rozhraní slouží především k usnadnění ladění procesů navigace.

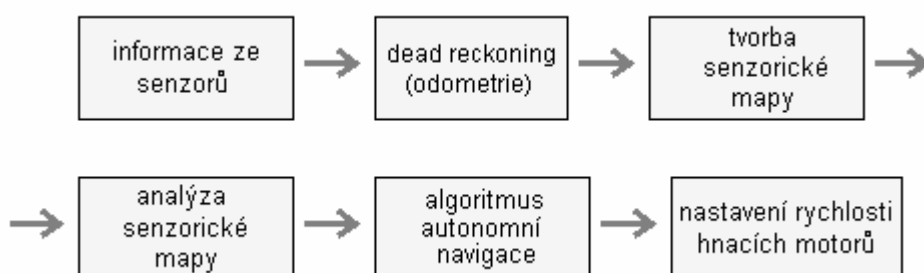
Řídicí počítač nedisponuje klávesnicí a ani žádným zobrazovacím zařízením. Aby jej tedy bylo možné uživatelsky ovládat a mj. i vidět výše zmíněné uživatelské rozhraní, je zde nainstalována aplikace pro řízení vzdálené plochy – software RealVNC. Počítač lze tedy kompletně ovládat prostřednictvím síťového rozhraní.

Další nainstalovanou aplikací je VoIP komunikační software Ventrilo. Je zde nainstalován jak server, tak i klient této aplikace. Pomocí dalšího Ventrilo klienta je tedy možné se k řídicímu počítači připojit a nechat robot reprodukovat hlasový vstup ze vzdáleného počítače.

Poslední významnou aplikací na řídicím počítači je software pro streaming videosignálu s názvem „CameraRobot“. Tento program byl, stejně jako robot TulBot, vytvořen v rámci Ústavu Informačních technologií a elektroniky. Program umožňuje přenos videosignálu prostřednictvím protokolu TCP/IP s minimálním zpožděním. Autory programu jsou Tomáš Žabčík a Jan Opálka.

5.1 Navigace robotu obecně

Na obrázku 18 je blokově rozkreslen průběh cyklu autonomní navigace. V prvním kroku je přijata zpráva od systému nižší úrovně řízení. Zpráva obsahuje informace o



Obr. 18 – Blokové schéma navigačního cyklu.

aktuálním stavu veškerých senzorů. Na základě přijatých dat proběhne za pomoci metody Dead reckoning odhad aktuální polohy robotu. V dalším kroku je vytvořena senzorická mapa. Ta je následně analyzována. V mapě jsou vyhledány veškeré potenciální kolize pro různé způsoby pohybu robotu. Nakonec proběhne samotný algoritmus autonomní navigace, kde je rozhodnuto o dalším chování robotu. Výstupem tohoto algoritmu je již rychlostní konfigurace obou hnacích motorů. Změnou rychlosti motorů se samozřejmě opět změní vstupní informace z enkodérů. Jde tedy v podstatě o uzavřený regulační okruh.

5.2 Dead reckoning

Dead reckoning je metodou hrubého stanovení polohy robotu. Metoda je založená na odhadu aktuální polohy na základě známé předchozí polohy, známém aktuálním směru a rychlosti robotu. Rychlost a směr lze zjišťovat různými způsoby, pro kolové mobilní roboty je nejjednodušší metodou výpočet založený na průběžném měření rychlosti poháněných (aktivních) či vlečných (pasivních) kol. Zmíněná metoda integrace polohy na základě otáčení kol robotu se nazývá odometrie. Určování polohy pomocí odometrie je využito i v robotu TulBot, kde je rychlost kol známá díky enkodérům.

5.3 Tvorba senzorické mapy

Senzorická mapa představuje zjednodušenou mapu detekovaných překážek v paměti robota. Mapa je velmi důležitá, protože umožňuje robotu brát v potaz i překážky detekované v minulosti. Mapa je reprezentována seznamem bodů, na kterých byla v nějakém kroku navigace detekována překážka. Kromě souřadnic daných bodů jsou zde také uchovávány informace o „životnosti“ bodů. Každým ujetým centimetrem se zvyšuje kumulovaná chyba odometrie. Po určité ujeté vzdálenosti by tedy vytvořená mapa byla již zatížena příliš velkou chybou, proto je zde mechanismus, který po vypršení „životnosti“ bodu (po najetí určité vzdálenosti od doby vytvoření bodu) takový bod z mapy vymaže. Bod může být rovněž z mapy vymazán, je-li zjištěno, že leží aktuálně před některým z dálkoměrů a daný dálkoměr přesto fyzicky žádnou překážku nedetekuje. Tímto je udržována senzorická mapa stále aktuální.

5.4 Algoritmus autonomní navigace

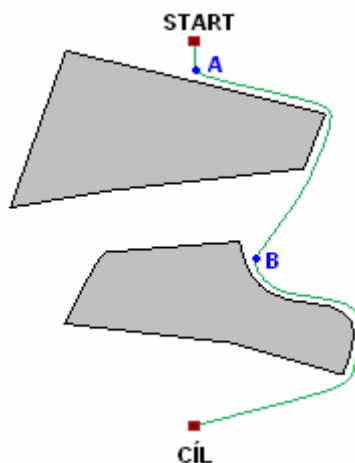
Navigační algoritmus robota TulBot se svým chováním velmi blíží navigačnímu algoritmu Tangent Bug. Ten lze považovat za nejdokonalejší ze základních třech Bug algoritmů (Bug 1, Bug 2, Tangent Bug). Z jeho postupů však navigace vychází jen částečně. Je zde kladen větší důraz na výkonovou optimalizaci algoritmu a jsou upraveny některé metody rozhodování.

Navigační algoritmus pracuje se mezi třemi typy chování robota – jed' k bodu (GoToXY), sleduj hranu (EdgeFollow) a hledej cestu (SearchWay). Mód „jed' k bodu“ vypočítá úhel mezi podélnou osou robota (aktuální orientací) a spojnicí polohy robota a cílového bodu. Rozdíl úhlů je následně použit jako regulační odchylka proporcionálního regulátoru, který řídí rychlosti hnacích motorů. Pokud jsou si úhly rovny, znamená to, že robot je orientován směrem k cílovému bodu. Rychlost na obou motorech je potom nastavena na stejnou hodnotu a robot se pohybuje směrem k cíli. Pokud se robot odchýlí z kurzu, proporcionální regulátor zajistí korekci. Za regulační odchylku je samozřejmě vždy brán menší úhel k cíli, robot se tedy zbytečně neotočí o více než 180° . Každý navigační mód má pravidla, kdy ukončuje svou činnost a předává řízení jinému módu. Příčiny pro ukončení činnosti jsou obecně dvojího druhu. První příčinnou může být to, že navigační mód dosáhl svého cíle. Další příčinnou pak může být zjištění, že cíle kvůli nějaké překážce dosáhnout nelze. Cílem módu „jed' k bodu“ je dorazit do bodu na zadaných souřadnicích. Pokud robot dorazí do cíle, mód ukončuje součinnost. V každém navigačním kroku je detekováno, jestli při aktuálním kurzu nehrozí v několika dalších krocích kolize s překážkou. Pokud ano, v aktuálním módu nelze pokračovat, mód opět ukončuje svou činnost a předává řízení jinému navigačnímu módu.

Dalším módem navigace je mód „sleduj hranu“. V tomto režimu robot sleduje vzdálenost mezi boční hranou svého půdorysu a hranou překážky. Pomocí proporcionální regulace se pokouší pohybovat vpřed a zároveň udržet tuto vzdálenost konstantní. Vstupními parametry pro tento mód jsou strana, která má být sledována (levá, pravá) a cílový bod navigace. Cílem módu je dostat robot do stavu, kdy jeho orientace přibližně odpovídá úhlu robota k cíli (tedy stavu, kdy robot čelní stranou zhruba míří na cíl). Potom mód ukončuje svou činnost (typicky poté navigace přechází na mód „jed' k bodu“). Tento mód opět sleduje možné kolize v příštích krocích. Pokud z nějakého důvodu shledá překážku jako dále nesledovatelnou, ukončuje mód svou činnost (typicky je za této situace přepnuto do módu „hledej cestu“).

Posledním módem je mód „hledej cestu“. V žádném ze standardních Bug algoritmů není podobný mód využit (vystačí si s prvními dvěma popisovanými). Vzhledem ke komplikovanější geometrii robota TulBot (robot při otáčení kolem středu nápravy neopisuje zadní a přední částí stejnou kružnici) se zde jeví jako účelné přidat navigační režim, který by s robotem prováděl určité specifické manévry. Příkladem takového manévru může být právě rotace kolem středu nápravy v těsné blízkosti překážek. Cílem tohoto navigačního módu je tedy hledat průjezdnou cestu. Vstupním parametrem pro tento mód je strana, na které se má cesta hledat. Typicky se robot v tomto módu pomalu otáčí na místě a hledá takovou orientaci, ve které nebudou v obdélníku před čelní stranou robota žádné překážky. Mód může opět ukončit svou činnost na základě neschopnosti dokončit svůj úkol. Buď robotu v rotaci kolem středu nápravy zabrání nějaká překážka, které se nelze žádným manévrem vyhnout, nebo se z výchozí polohy otočí bezvýsledně o 360° a cesta tedy neexistuje

Jak pracuje přepínání mezi módy v praxi, lze nejlépe ukázat na příkladě. Na obrázku 19 je znázorněna trasa přerušená jednoduchými ohraničenými překážkami. Robot dostává souřadnice cíle a navigace je nastavena do módu „jed' k bodu“. Robot tedy vyráží ze startovního bodu směrem k cíli. V bodě A je zjištěna překážka a je přepnuto do módu „hledej cestu“.

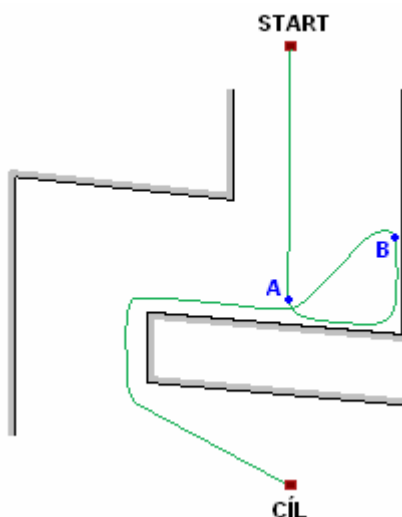


Obr. 19 – Příklad průjezdu trasou s jednoduchými překážkami.

Zde dochází ke klíčovému rozhodnutí, na kterou stranu se stroj při hledání cesty otočí. V mapě zobrazené na obrázku 19 není toto rozhodnutí až tak zásadní (překážku lze objet z obou stran). V některých mapách (viz obr. 20) může ovšem špatné rozhodnutí celý průběh navigace značně zkomplikovat. O volbě strany se rozhoduje na základě třech faktorů. Zaprvé je ověřeno, na které straně (z pohledu robota) se nachází cíl. Za druhé je ověřeno, jaký sklon

má čelně detekovaná hrana překážky. Za třetí je ověřeno, není-li z nějaké strany robotu přítomna další překážka. Pokud se všechny indicie neshodnou na stejném výsledku, je posouzena relevantnost jednotlivých indicií a výsledek některé je na základě tohoto posudku upřednostněn. Není-li rozhodnutí jednoznačné, souřadnice aktuální polohy jsou uloženy, aby se bylo možné případně se do tohoto bodu vrátit.

V případě na obr. 19 bylo odbočeno vlevo (resp. byl aktivován mód „hledej cestu“ s parametrem „vlevo“) na základě sklonu čelně detekované hrany. Mód „hledej cestu“ ukončil svou činnost v momentě, kdy před čelní stranou robota nebyly zaznamenány žádné překážky. Robota tedy mód nasměroval podélně k hraně překážky. Nyní je přepnuto do módu „sleduj hranu“. Tento mód je udržován do chvíle, kdy čelní strana robota míří směrem k cíli. Poté je přepnuto opět na mód „jed' k bodu“. V tomto módu je setrváno až do dosažení bodu B. Následně se celá situace opakuje na druhé překážce.



Obr. 20 – Příklad průjezdu trasou koridorového charakteru.

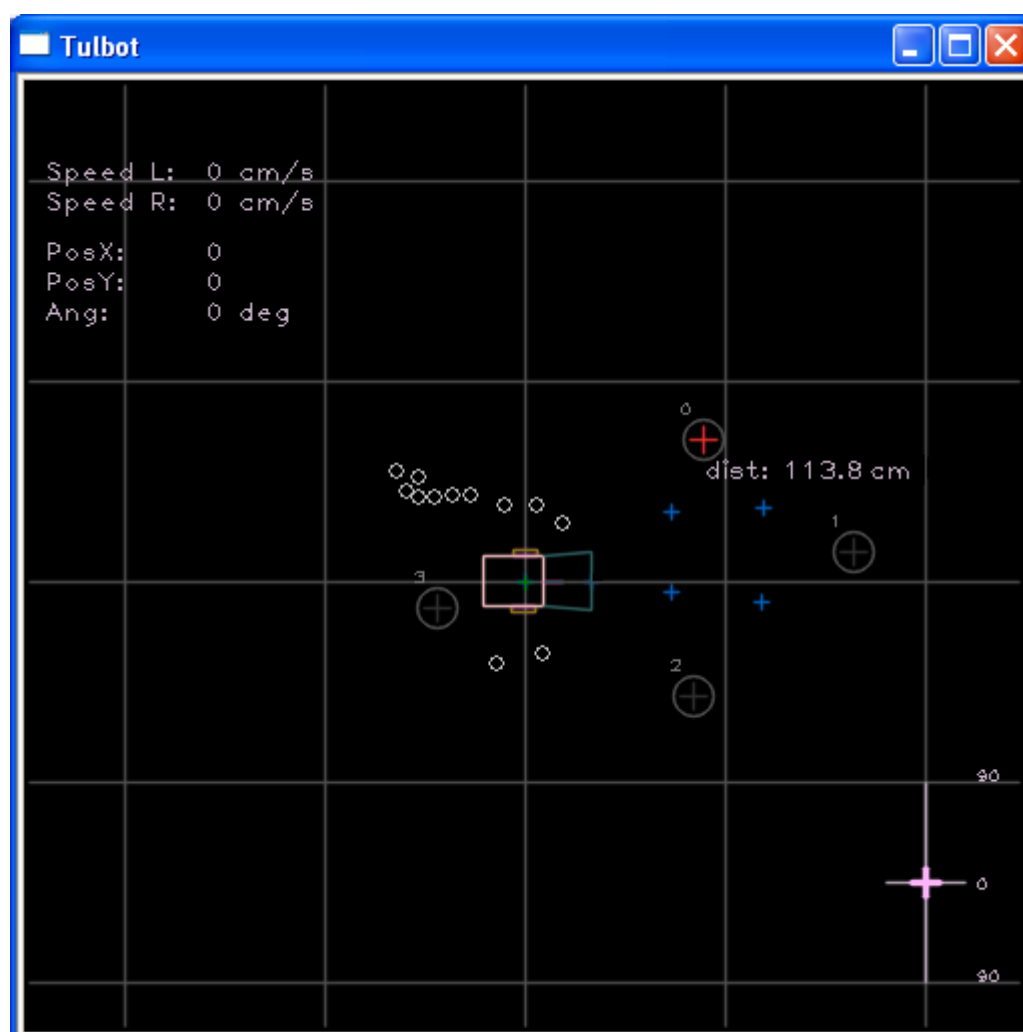
Na obr. 20 je patrná komplikovanější situace. Po dosažení bodu A zde neexistuje indicie, která by robot navedla správným směrem. Robot se rozhodne odbočit vlevo na základě sklonu čelně detekované hrany, rozhodnutí je ovšem rozpoznáno jako nejisté (takto je označeno vždy, když není na jedné ze stran překážka, zabráňující odbočení). Souřadnice bodu A jsou tedy uloženy a robot pokračuje v cestě sledováním hrany překážky. Při pohybu je průběžně sledována vzdálenost od zadaného cílového bodu. Je zde předpoklad, že při chybně zvolené trase se bude tato vzdálenost zvyšovat. Po dosažení bodu B je zaznamenáno přílišné zvýšení vzdálenosti k cíli a zvolená cesta je tedy považována za nesprávnou. Na první místo v seznamu cílových bodů je nyní vložen bod B. Po jeho opětovném dosažení robot pokračuje k původnímu cíli správnou cestou.

6. Aplikace pro vzdálené řízení

Pro dálkové řízení robota byla v jazyce C++ vytvořena aplikace „TulBot Remote Control“. Základem této aplikace je jednoduché GUI rozhraní, vytvořené pomocí knihoven „HighGui“ balíčku OpenCV. Prostřednictvím tohoto rozhraní lze ovládat většinu funkcí robota. Především ovšem aplikace slouží k zadávání cílových bodů pro autonomní navigaci. Náhled uživatelského rozhraní je patrný na obrázku 21. Uživatel vidí 2D model robota vykreslený na mřížce s rastrem 1 x 1 metr. Implicitně je vše vykreslováno v měřítku jeden pixel na obrazovce = jeden centimetr ve skutečnosti. Kliknutím do prostoru okna se místo označené kurzorem akceptuje jako cílový bod navigace. Na tomto místě se vytvoří značka s pořadovým číslem cílového bodu. Cílových bodů lze vytvořit tímto způsobem několik (zatím maximálně 10). Po vytvoření cílových bodů je zadání potvrzeno klávesou Enter. Seznam souřadnic cílových bodů je odeslán robotu a ten vyráží směrem k prvnímu z nich. Po dosažení prvního cíle vyráží ke druhému atd. V uživatelském rozhraní je vždy cíl, k němuž robot aktuálně směřuje, zvýrazněn a je u něj uvedena vzdálenost od bodu ke středu nápravy robota. Veškerý pohyb robota je znázorňován i na jeho modelu v okně aplikace. Obraz je průběžně transformován tak, aby model robota byl konstantně zobrazen ve středu okna a „pohybovalo“ se pouze jeho okolí.

Na obrázku si lze kromě značek pro cílové body v okolí robota všimnout také modrých křížků a shluku šedých kružnic. Modré křížky představují pomocné body, lze je vytvořit na specifikovaných souřadnicích. Mají pouze pomocný význam pro uživatele. Šedé kružnice představují detekované překážky.

V levém horním rohu okna jsou vypisovány základní informace o robotu – jeho poloha, orientace a okamžitá rychlost obou jeho kol. V pravém dolním rohu je graficky znázorňován náklon robota ve dvou osách.



Obr. 21 –Grafické uživatelské rozhraní aplikace pro vzdálené řízení.

7. Závěr

Výsledkem této práce je funkční mobilní robot „TulBot“ s příslušným softwarovým vybavením. Robot je schopen základní autonomní navigace. Funkčnost navigace byla testována v různých podmínkách a zvláště v prostředí s jednoduchými konvexními překážkami se jeví jako poměrně efektivní. Případné chyby autonomní navigace jsou nejčastěji způsobeny nahodilými chybami dálkoměrů či kumulovanými chybami odometrie. Cíle autonomní navigace lze zadávat pohodlně pomocí aplikace pro vzdálené řízení. Pomocí stejné aplikace lze robot také ovládat v teleoperovaném režimu.

Do budoucna je záměrem zpřesnit odhad pozice robota snímáním polohy a rotace zadního všesměrového kola. Následnou fází výsledků odometrie aktivních a pasivních kol by se měla činnost metody Dead recogning značně zlepšit. Vyhledávání překážek by mělo být zefektivněno pomocí laserového snímače. Celkově by se tak mělo dojít k výraznému zlepšení vlastností autonomní navigace. Do budoucna je také zvažováno přidání akcelerometrů pro inerciální lokalizační subsystém, implementace funkcí rozpoznávání obličeje či hlasu nebo přidání mechanického manipulátoru.

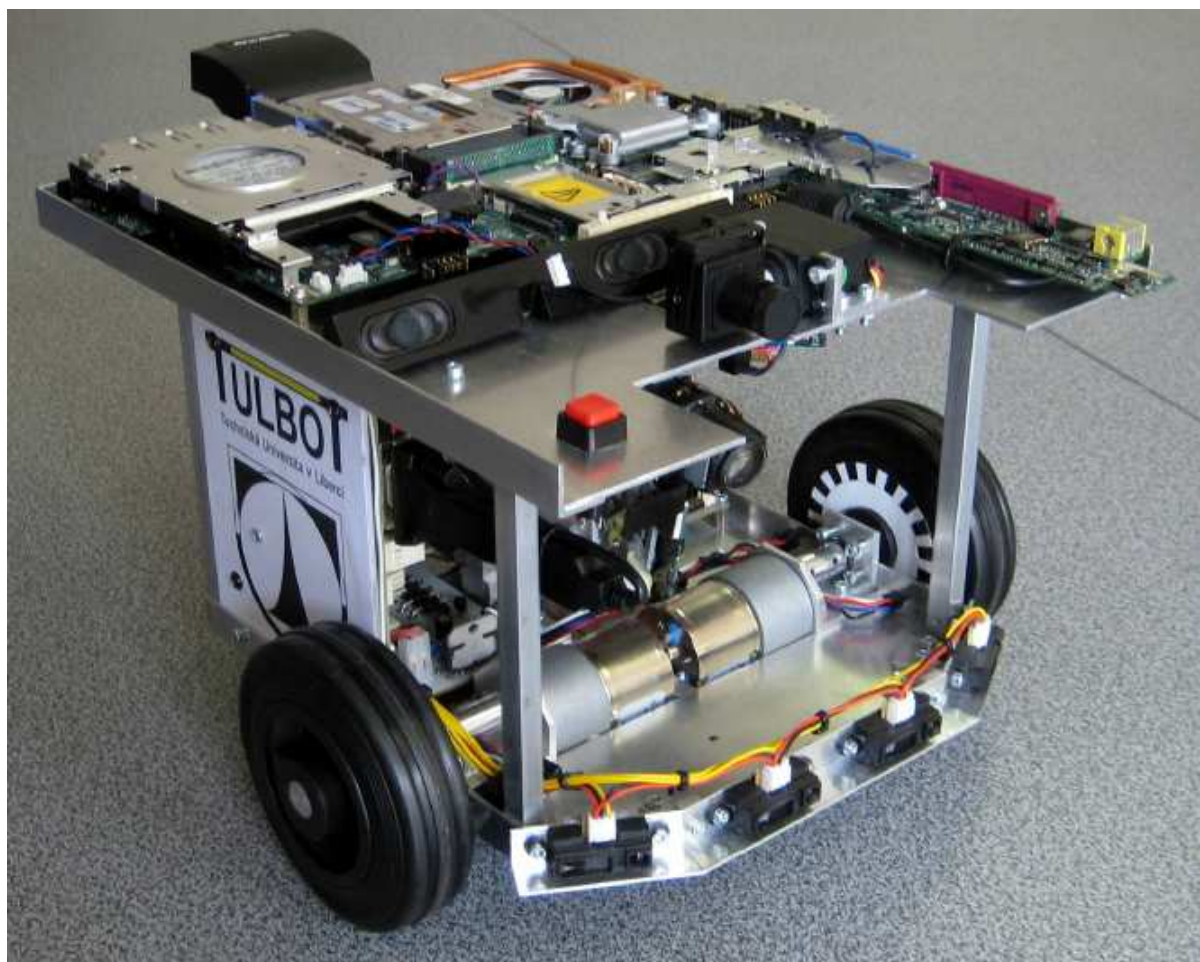
8. Přílohy

8.1 Příložené CD

Příložené CD obsahuje:

- Výkresy jednotlivých dílů robota ve formátu DWG (AutoCAD 2002) a PDF
- Schémata jednotlivých elektronických modulů ve formátu SCH (EAGLE 5.0.0)
- Návrhy desek plošných spojů jednotlivých elektronických modulů ve formátu BRD (EAGLE 5.0.0)
- Zdrojové kódy řídicí aplikace (ControlApp) a aplikace pro vzdálené řízení (RemoteControlApp) napsané v jazyku C++ (IDE Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition)

8.2 Fotografie robota TulBot



Obr. 22 – Fotografie robota TulBot.

9. Použité zdroje

1. NOVÁK, P.: *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. 1. vyd.; Ben – technická literatura, 2005, 256 stran, ISBN 80-7300-141-1
2. MATOUŠEK, D.: *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16*. 1. vyd. Praha; Ben – technická literatura, 2006, 320 stran, ISBN 80-7300-174-8
3. KTE magazín: Radio plus KTE 9/2004, KTE Shortmarket 2004, 40 stran. Dostupné: <http://www.gmelectronic.eu/kte/0904.pdf>
4. Server Robotika.cz: Článek o odometrii, Dostupný: <http://robotika.cz/guide/odometry/cs>
5. Server Robotika.cz: Článek o enkodérech, Dostupný: <http://robotika.cz/guide/encoders/cs>
6. Hobbyrobot: Manuál k modulu SOS-AT, Dostupný: http://www.hobbyrobot.cz/PDF/SOS-AT_manual.pdf
7. Sharp: Dálkoměr GP2D120– Datasheet. Dostupné: <http://www.technologicalarts.com/myfiles/data/gp2d120.pdf>
8. ATMEL: Procesor ATmega16 – Datasheet. Dostupné: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf
9. ST: Dvojitý H-můstek L298– Datasheet. Dostupné: <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1773.pdf>
10. ST: Dvojitý H-můstek L293D– Datasheet. Dostupné: <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1330.pdf>