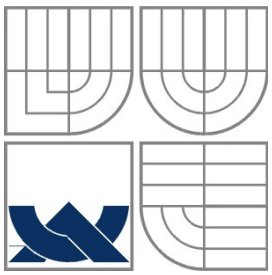


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SENZORIKA A ŘÍZENÍ POHONŮ 4 KOLOVÉHO MOBILNÍHO ROBOTU

SENSORS AND MOTOR CONTROL OF MOBILE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE **BC. JIŘÍ ZATLOUKAL**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2013

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

(na místo tohoto listu všijte originál a nebo kopii zadání Vaš práce)

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací senzorového a pohonového systému čtyřkolového mobilního robotu. Řídící jednoutkou je miniaturní počítač Raspberry Pi. Robot bude v budoucnu používán pro mapování a lokalizaci prostředí. K tomu využívá různé typy snímačů. Informace z těchto snímačů jsou zpracovány pomocí mikrokontroléru Xmega. Další mikrokontrolér Xmega spolu s H-můstkem DRV-8432, je použit pro řízení stejnosměrných pohonů.

ABSTRACT

The diploma thesis is dealing with the proposal and realization of the sensor and drive system of the four wheel mobile robot. The control unit is a miniature computer Raspberry Pi. The robot will be employed in the future for the environment mapping and location. For this purpose robot exploits the different types of sensors. The information of these sensors is being processed by the Xmega microcontroller. Another microcontroller together with H-bridge DRV-8432 is used to control the direct current drives.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čtyřkolový mobilní robot, mikrokontrolér AVR Xmega, Raspberry Pi, H-můstek, Ultrazvukový snímač vzdálenosti, Optický snímač vzdálenosti.

KEYWORDS

Four wheel mobile robot, microcontroller AVR Xmega, Raspberry Pi, H-bridge, Ultra sonic range finder, Infrared range sensor.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Brně dne 24.5.2013

….....

Bc. Jiří Zatloukal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZATLOUKAL, J. *Senzorika a řízení pohonů 4 kolového mobilního robotu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D., za čas, cenné rady a pomoc při realizaci a zpracování této diplomové práce.

Obsah:

Zadání závěrečné práce **5**
Abstrakt **7**
Prohlášení o originalitě **9**
Poděkování **11**
1 Úvod **17**
2 Rozbor problémů a cílů řešení **19**
2.1 Seznamte se s konstrukcemi 4 kolových mobilních robotů na internetu. 19
2.2 Seznamte se s konstrukcí 4 kolového mobilního robotu v laboratoři A1/731a 19
2.3 Seznamte se s miniaturním počítačem Raspberry Pi 19
2.4 Proveďte návrh a realizaci elektroniky pro získávání informací ze senzorů 19
2.5 Navrhněte a realizujte elektroniku pro řízení stejnosměrných pohonů robotu 19
2.6 Funkčnost realizovaného řešení demonstrujte 19
3 Seznámení se s problematikou **21**
3.1 Vybrané typy čtyřkolových robotů 21
3.1.1 Inspekční pyrotechnický robot GTR2006 21
3.1.2 Průzkumný a zásahový robot Herkules 22
3.1.3 Autonomní robot AR Bot 23
3.2 Konstrukce robotu z laboratoře A1/731a 23
3.2.1 Kostra a podvozek robotu 23
3.2.2 Ackermannovo řízení 24
3.2.3 Servomotor řízení 25
3.2.4 Pohony kol a jejich řízení pomocí PWM 25
3.2.5 Inkrementální snímač Heds – 5500-A11 26
3.2.6 Laserový dálkoměr SICK LMS 291 27
3.2.7 Baterie 29
3.2.8 Elektronika 29
3.3 Raspberry Pi 29
4 Návrh snímačů **31**
4.1 Ultrazvukový snímač vzdálenosti SRF08 31
4.1.1 I2C sběrnice 31
4.2 Optický snímač vzdálenosti Sharp GP2Y0A2YK 33
4.3 Inerciální senzorová jednotka Pololu MinIMU-9 v2 33
5 Návrh a realizace elektroniky **35**
5.1 Zdrojová deska 35
5.2 Senzorová deska 37
5.3 Pohonová deska 40
5.3.1 H-můstek 42
5.4 Převodníková deska 44
5.4.1 Sériová linka RS-232 46
5.4.2 Sériová linka RS-422 47
5.4.3 Sériová linka USB 47
5.5 Výroba DPS 47
6 Umístění a uchycení snímačů a elektroniky **49**
6.1 Umístění a uchycení laserového dálkoměru SICK LMS 291 49
6.2 Umístění a uchycení ultrazvukových snímačů 49
6.3 Umístění a uchycení snímače MinIMU-9 50
6.4 Umístění a uchycení elektroniky 50
6.5 Umístění a uchycení optických snímačů 51
7 Návrh firmwaru **53**

7.1 Firmware pohonové desky....53
7.2 Firmware senzorové desky....54
7.3 Firmware převodníkové desky....55
7.4 Raspberry Pi....55
8 Závěr....57
Seznam použité literatury....59
Přílohy....61

Seznam obrázků:

Obr.č. 1: GTR2006 s tuhým podvozkem[1] 21
Obr.č. 2: GTR2006 s půleným podvozkem [1]....21
Obr.č. 3: Mobilní robot Herkules[2]....22
Obr.č. 4: AR Bot první verze [3]....23
Obr.č. 5: Prázdná kostra robotu [4]....24
Obr.č. 6: Princip Ackermannova podvozku [6]....25
Obr.č. 7: Servomotor HS-5745 MG [4]....25
Obr.č. 8: Princip PWM [7]....26
Obr.č. 9: Rozpoznání směru otáčení u enkodéru [4]....27
Obr.č. 10: Činnost enkodéru [8]....27
Obr.č. 11: Inkrementální snímač a jeho uchycení....27
Obr.č. 12: Činnost skeneru při skenovacím úhlu 180° [9]....28
Obr.č. 13: SICK LMS 291 [9]....28
Obr.č. 14: Deska k přichycení dálkoměru [5]....28
Obr.č. 15: Reálná fotografie Raspberry Pi[10]....30
Obr.č. 16: Popis Raspberry Pi[11]....30
Obr.č. 17: Vysílání SRF08[12]....31
Obr.č. 18: Popis pinů SRF08 (NC=nepřipojeno)....31
Obr.č. 19: Schéma propojení zařízení na I2C sběrnici [13]....32
Obr.č. 20: Průběh logických úrovní na vodiči SDA a SCL [13]....32
Obr.č. 21: Závislost výstupního napětí na vzdálenosti [14]....33
Obr.č. 22: Popis pinů Sharp GP2Y0A2YK....33
Obr.č. 23: Popis pinů MinIMU-9 [15]....33
Obr.č. 24: Blokové schéma zapojení robota....35
Obr.č. 25: Vstupy zdrojové desky....36
Obr.č. 26: Zapojení stabilizátorů napětí....36
Obr.č. 27: Výstupy zdrojové desky....37
Obr.č. 28: Zapojení mikrokontroléru Xmega16 na senzorové desce....38
Obr.č. 29: Zapojení I2C sběrnice....38
Obr.č. 30: Analogové vstupy senzorové desky....39
Obr.č. 31: Zapojení výstupů senzorové desky....39
Obr.č. 32: Zapojení IO MAX3232CPWR u senzorové desky....39
Obr.č. 33: Zapojení Xmegy u pohonové desky....40
Obr.č. 34: Zapojení enkodérů....41
Obr.č. 35: Zapojení snímačů proudu....42
Obr.č. 36: Schématické zapojení H-můstku[5]....42
Obr.č. 37: Vliv sepnutí tranzistorů na činnost motoru[20]....42
Obr.č. 38: Spínání H-můstku se 3 vstupy[20]....43
Obr.č. 39: Sign-Magnitude 1 [20]....43
Obr.č. 40: Sign-Magnitude 2 [20]....43
Obr.č. 41: Locked-antiphase [20]....43
Obr.č. 42: Zapojení paměti EEPROM....44
Obr.č. 43: Port A a B 45
Obr.č. 44: Zapojení obodu SIPEX SP3491....45
Obr.č. 45: Indikační led řízené obvodem 74HC595....46
Obr.č. 46: Příklad minimálního zapojení RS-232 [17]....46
Obr.č. 47: Příklad zapojení linky RS-422 [18]....47
Obr.č. 48:Konektor USB A....47

Obr.č. 49: Osazené desky plošných spojů.....48
Obr.č. 50: Model konstrukce uchycení ultrazvukových snímačů.....50
Obr.č. 51: Plastová konstrukce pro uchycení elektroniky.....51
Obr.č. 52: Model krabičky pro vypínač a nabíjecí konektory.....51
Obr.č. 53: Jednoduché prostředí programu MPROG.....55
Obr.č. 54: Prostředí Raspbian [23].....56

1 ÚVOD

V dnešní době se v našem okolí objevuje stále více různých typů robotů, a to buď řízených člověkem, nebo plně autonomních. Již nějakou dobu nejsou tito roboti využíváni jen ve vědeckém či vojenském odvětví. Dostávají se do našich domácností stejně dobře jako do jiných oblastí. V domácnostech využíváme automatické robotické vysavače nebo sekačky na trávu, ale můžeme se setkat i s roboty, kteří například zachraňují životy nebo majetek, pracují v extrémních podmínkách nebo monitorují a mapují prostředí, a to jak na zemi, tak i ve vzduchu či ve vodě. Robotika zkrátka patří a patřit bude do našich každodenních životů. Schopnost alespoň porozumět, v lepším případě umět navrhnout, sestrojit nebo naprogramovat různé části robota je důležitým faktorem na technickém trhu práce.

Pro úspěšné zhotovení celé diplomové práce bylo v první řadě nutné seznámit se s mechanickými konstrukcemi různých kolových robotů. Konkrétněji potom s konstrukcí čtyřkolového robota, již zhotoveného jinými studenty, která byla základem této práce. Stejně tak bylo nutné seznámit se s mikropočítačem Raspberry Pi, který byl použit jako řídící jednotka.

Při návrhu elektroniky pro senzorovou část bylo potřeba počítat s dostatečným počtem vstupů a výstupů pro senzory ultrazvukové a optické, i pro případné další rozšíření senzorického systému. Z toho se také odvíjel návrh mikrokontroléru, který zpracovává tato data, a to konkrétně mikrokontrolér řady Atmel Xmega.

Dalším krokem bylo sestrojení elektroniky pro pohony, kterými jsou dva stejnosměrné motory a jeden servomotor pro řízení, kdy bylo počítáno s jejich výkonem. Řízení této části elektroniky bylo realizováno dalším mikrokontrolérem, opět řady Xmega.

Oba mikrokontroléry a řídící jednotka byli naprogramovány tak, aby bylo možné ověřit funkčnost celého řešení.

2 ROZBOR PROBLÉMŮ A CÍLŮ ŘEŠENÍ

Pro zpracování diplomové práce je potřeba dodržet tyto cíle:

2.1 Seznamte se s konstrukcemi 4 kolových mobilních robotů na internetu.

Existuje velké množství realizací 4 kolových robotů, vyrobených profesionálními firmami nebo amatérskými osobami. Bude nutné seznámit se jak s různými konstrukcemi, podvozků, řízení, ovládání a uchycování snímačů, tak s používanými materiály pro tvorbu těchto konstrukcí z hlediska pevnosti, křehkosti a případné obrobitelnosti.

2.2 Seznamte se s konstrukcí 4 kolového mobilního robotu v laboratoři A1/731a.

Při realizaci diplomové práce se počítá s přepracováním již hotového robota, jehož mechanickou konstrukci sestrojil student Bc. Šimon Vrátil v rámci bakalářské práce a dále na něm pracoval a konstrukci mírně upravil student Ing. Michal Deďo v rámci diplomové práce. Prostudování těchto prací je nezbytné pro splnění tohoto cíle.

2.3 Seznamte se s miniaturním počítačem Raspberry Pi.

Jako řídící jednotka navrženého řešení by měl sloužit miniaturní počítač Raspberry Pi. Zda je možné tento počítač použít, popřípadě za jakých podmínek jej lze použít je nutné zhodnotit po seznámení se s tímto počítačem.

2.4 Proveďte návrh a realizaci elektroniky pro získávání informací ze senzorů.

Vzhledem k tomu, že konstrukce 4 kolového mobilního robotu, která je použita pro tuto diplomovou práci je také použita současně ještě pro realizaci další diplomové práce studenta Bc. Vojtěcha Havlíčka, je nutné, pro úsporu nákladů za senzory, aby bylo využito těchto senzorů pro obě tyto práce. Návrh elektroniky a způsob uchycení jednotlivých senzorů a jejich rozmístění bude provedeno společně.

2.5 Navrhněte a realizujte elektroniku pro řízení stejnosměrných pohonů robotu.

Součástí konstrukce jsou dva stejnosměrné motory, které slouží pro pohon zadní nápravy robotu. Pro jejich řízení bude navržena elektronika. Parametry jednotlivých součástek je potřeba volit podle výkonu pohonů. Stejná elektronika bude ovládat i řídící servomotor. Vše bude řízeno mikrokontrolérem Xmega.

2.6 Funkčnost realizovaného řešení demonstrujte.

Po kompletaci robota budou vyzkoušeny základní pohyby robotu, funkčnost senzorů a jednotlivých desek elektroniky.

3 SEZNÁMENÍ SE S PROBLEMATIKOU

Existuje nespočet různých typů čtyřkolových robotů. Může se jednat třeba jen o hračky pro děti, neplnící žádnou užitečnou funkci, nebo může jít o roboty, kteří nahrazují domácí spotřebiče, jako například vysavače či travní sekačky, a také může jít o skutečně užitečné roboty, a to roboty pyrotechnické, hasičské nebo vojenské. Ať už jde o hračky, spotřebiče nebo roboty zachraňující životy, jejich výzkum a vývoj je považován za velice důležitý a přínosný.

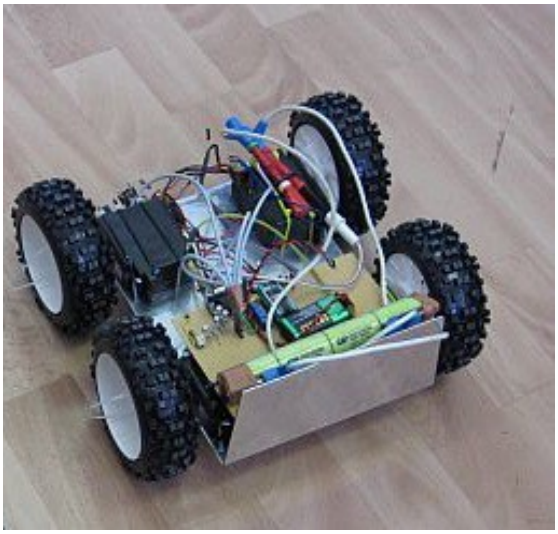
3.1 Vybrané typy čtyřkolových robotů

3.1.1 Inspekční pyrotechnický robot GTR2006

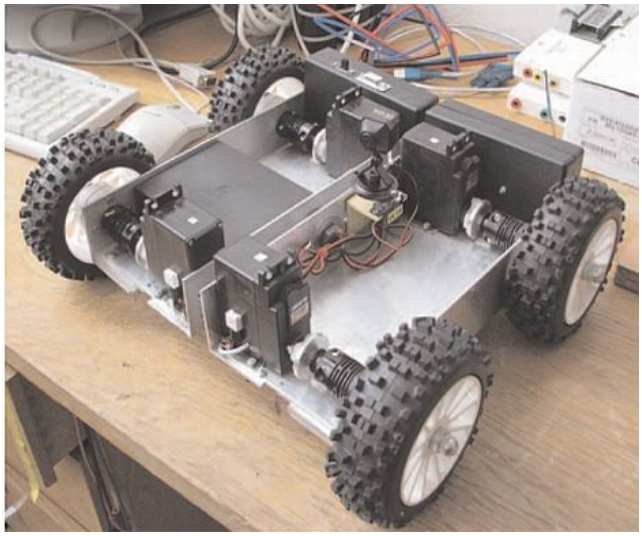
Tento robot vznikl v pracovišti katedry aplikované mechaniky a mechatroniky Strojnické fakulty Technické univerzity v Košicích. Jeho návrhem a modifikacemi se zabývají studenti v rámci bakalářských a diplomových prací.

Jedná se o robota s nezávislým pohonem všech čtyř kol. K pohonu každého kola slouží dostatečně výkonný servomotor HS 805BB, který je spojen přímo s kolem bez dalších převodů pomocí pružných spojek. To umožňuje otáčení robota na místě s nulovým poloměrem otáčení, kdy se změna směru jízdy realizuje pomocí rozdílných otáček levých a pravých kol. U tohoto způsobu diferenčního pohonu kol není třeba žádného mechanického převodu pro řízení směru jízdy a diferenciálu. Na počátku byl podvozek robota vyroben jako tuhý kovový rám, čož se později ukázalo jako špatné řešení z hlediska překonávání překážek. Proto byl v rámci jedné z modifikací vyvinut podvozek podélně půlený, kdy je rám podvozku vyroben ze dvou dílů spojených kloubem. V tomto rámu jsou pak uloženy všechny konstrukční prvky, elektronické prvky, baterie, pohony, prvky pro uchycení manipulátoru, kamery a dálších částí. Tento podvozek umožňuje oběma dílům rámu se libovolně naklonit v závislosti na složitosti terénu.

Robot má rozměry 305x333x115mm, váží 3.5 kg a je schopen nést váhu 10 kg [1].



Obr.č. 1: GTR2006 s tuhým podvozkem[1]



Obr.č. 2: GTR2006 s půleným podvozkem [1]

3.1.2 Průzkumný a zásahový robot Herkules

Robot byl vytvořen na Katedře robotechniky Fakulty strojní VŠB v Ostravě.

Jde o čtyřkolového robota s nezávislým odpružením všech kol, vyvíjeného k výzkumu víceúčelového zásahového vozidla pro záchranu osob a majetku. K řízení slouží natáčení zadní nápravy na principu Ackermannova řízení pomocí servomotoru. Přední náprava s diferenciálem je hnaná pomocí stejnosměrného motoru. Jako podvozek byl použit konstrukčně upravený elektrický invalidní vozík InvaCare, díky kterému vznikl dostatečný prostor pro potřebné části robota a zároveň dosahuje vynikajících parametrů, jako je dojezd na baterie, nosnost, rychlost a výkon. Robot je ovládán bezdrátově přes technologii Wi-Fi a Radiocrafts a využívá řadu senzorů: odporový teploměr, detektor plynů, kamery, laserový snímač vzdálenosti a inkrementální snímače polohy. Tyto senzory slouží jak pro pohyb robota, tak pro připojený manipulátor.

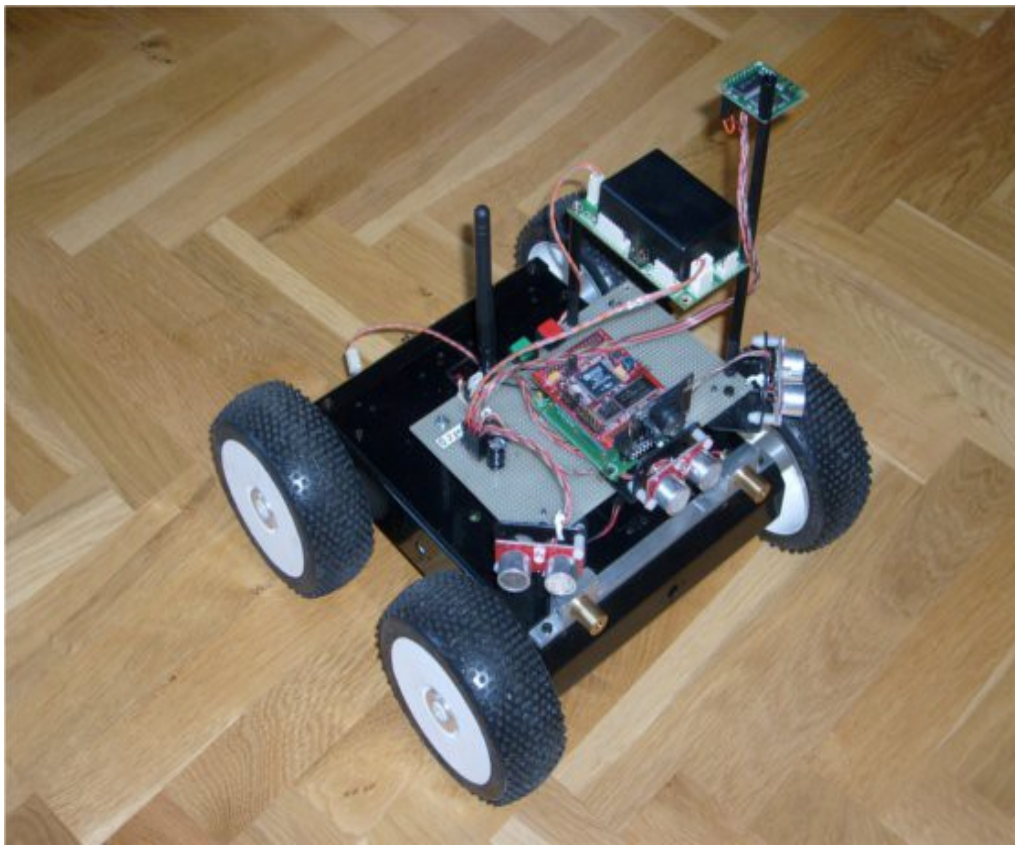
Robot (bez manipulátoru) má rozměry 990x710x675mm, váží 140 kg a je schopen nést váhu dalších 115 kg [2].

Obr.č. 3: Mobilní robot Herkules[2]

3.1.3 Autonomní robot AR Bot

Tento robot vzniká od roku 2008 jako hobby projekt pro soutěže Robotour.

AR Bot je malý autonomní robot využívající podvozek 4WD1, čtyři motory EMG30, dvě motorové řídící jednotky MD23, čtyři kola průměru 11 cm, tři sonary SFR08, GPS, kompas, řídící jednotku a baterie. Díky sonarovým senzorům je schopen sám si zvolit optimální trasu a vyhnout se kolizím [3].



Obr.č. 4: AR Bot první verze [3]

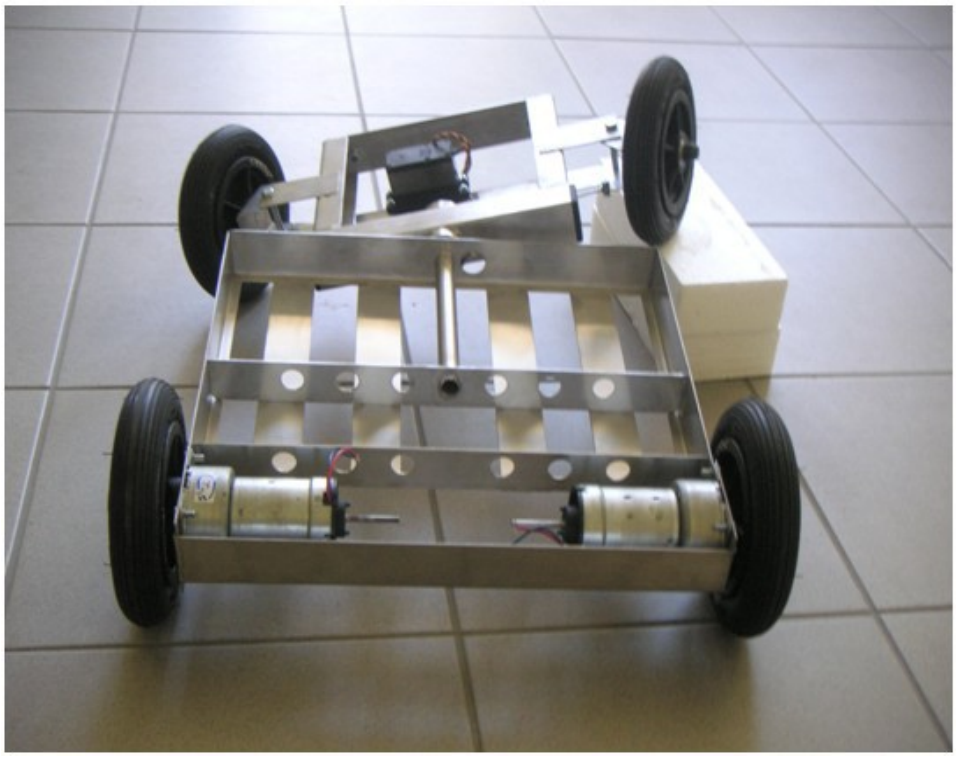
3.2 Konstrukce robotu z laboratoře A1/731a

Tato diplomová práce se zabývá úpravou již existujícího čtyřkolového mobilního robotu. Samotnou konstrukci vytvořil v roce 2010 v rámci své bakalářské práce student Bc. Šimon Vrátil [4], a tuto konstrukci dále upravil v rámci své diplomové práce student Ing. Michal Deďo [5] v roce 2011.

3.2.1 Kostra a podvozek robotu

Kostra je vytvořena z nerezových plechů a je příčně rozdělena na dvě části navzájem spojených ložiskovým kloubem. V přední části je řídící náprava, která pracuje na principu Ackermannova řízení. Zadní část pak obsahuje dvě nezávisle poháněná kola. Jelikož se jedná spíše o indoorového robota, nejsou jednotlivá kola nijak odpružena. Případné nerovnosti, jako například prahy dveří, robot překoná bez problémů právě díky ložiskovému kloubu, který umožňuje naklonění předního rámu až o 14° na každou stranu. To dovoluje překonání překážky vysoké až 100mm bez toho, aby robot ztratil kontakt všech čtyř kol se zemí. Pro lepší jízdní vlastnosti a tlumení rázů napomáhají také kola s gumovými plášti s duší o

průměru 150mm a tloušťce 36mm. Konstrukce je tvořena tak, aby uvnitř kostry vznikl dostatečný prostor pro pohony, baterie, elektroniku a další součásti, a to jak v zadní části kostry, tak v přední části. Základní rozměry celé kostry jsou 570x463mm s výškou bez kol 108mm a rozvorem kol 395mm [4].



Obr.č. 5: Prázdná kostra robotu [4]

3.2.2 Ackermannovo řízení

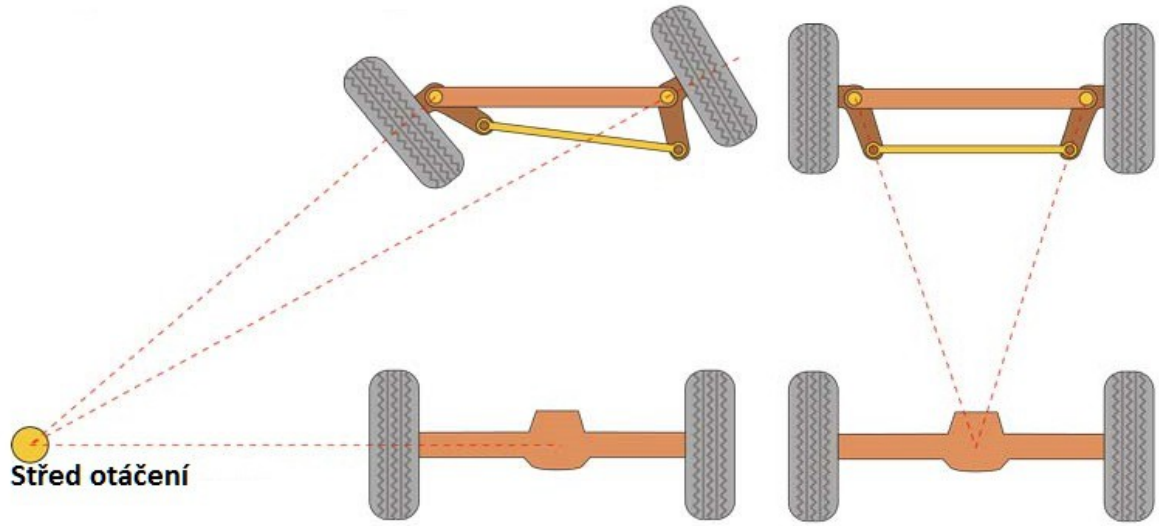
Ackermannovo řízení se zabývá řízením čtyřkolového podvozku, který má dvě pevná kola a dvě natáčená kola a udává závislost mezi natočením vnitřního a venkovního kola řízené nápravy při zatáčení. Obě kola řízené nápravy musí mít stejný střed otáčení a tento střed musí ležet na prodloužené ose neřízené nápravy. Vnitřní kolo řízené nápravy se tedy musí natočit více než kolo venkovní. Tyto úhly natočení kol lze vypočítat podle Ackermannovy rovnice:

$$arctg\,\varphi_1 - arctg\,\varphi_2 = \frac{D}{L}$$

kde φ_1 je úhel natočení vnitřního kola, φ_2 úhel natočení vnějšího kola, D vzdálenost uchycení předních kol, L vzdálenost náprav.

Úhel $\varphi 3$ pak představuje natočení imaginárního kola ve středu nápravy. Hodnota tohoto úhlu je v našem případě dána konstrukcí robotu, a to $\varphi_3 = 26°$.

Výhodou tohoto způsobu řízení je to, že nevzniká tření mezi řízenými koly a vozovkou, jako je tomu tak při paralelním nebo diferenčním způsobu řízení [4],[5].



Obr.č. 6: Princip Ackermannova podvozku [6]

3.2.3 Servomotor řízení

Řízení robotu je realizováno pomocí servomotoru Hitec HS-5745 MG, který sám rozpozná svou polohu a není nutné natočení kol zjišťovat dalším snímačem. Napájecí napětí motoru je 4,8-6V s maximálním odběrem až 4A a kroutícím momentem při 4,8V 1,47Nm. Servomotor pracuje s kladnými řídícími impulsy o délce 1-2ms s opakováním po 20ms [5].

Obr.č. 7: Servomotor HS-5745 MG [4]

3.2.4 Pohony kol a jejich řízení pomocí PWM

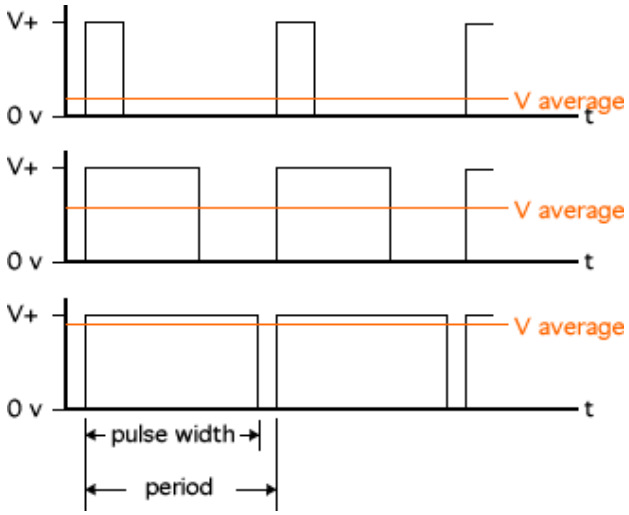
Každé zadní kolo je poháněné stejnosměrným motorem GMN6MP026A s převodovkou. Napájecí napětí motorů je 22V a otáčky na výstupu dosahují 110ot/min, každý motor může odebírat proud až 6A. Motory mají také vyvedenou hřídel o průměru 4mm, která slouží pro snímání otáček inkrementálním snímačem.

Pro řízení otáček motoru se využívá pulzně šířková modulace – PWM, kdy se reguluje napětí na svorkách motoru pomocí dvouhodnotové logiky. Při frekvenci střídání těchto stavů

řádově v kHz, se na svorkách motoru objevuje napětí úměrné poměru v zapnutém stavu a periody signálu (střídě). Napětí na svorkách se vypočítá ze vztahu:

$$U = \frac{T_1}{T_2} \cdot U_{max}$$

kde U je výstupní napětí, T_1 je čas v zapnutém stavu, T_2 čas ve vypnutém stavu, U_{max} je vstupní napětí. Princip je patrný z obrázku č.7.



Obr.č. 8: Princip PWM [7]

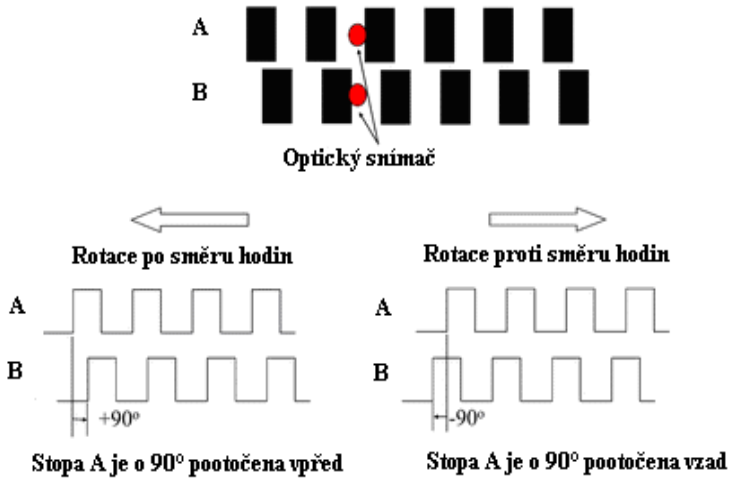
Výhodou PWM regulace oproti spojité regulaci je to, že nedochází při snižování napětí i ke snižování proudu. Nemění se velikost napětí ani proudu, ale doba po kterou proud prochází motorem. Díky tomu má motor vyšší moment i při nízkých otáčkách [5].

3.2.5 Inkrementální snímač Heds – 5500-A11

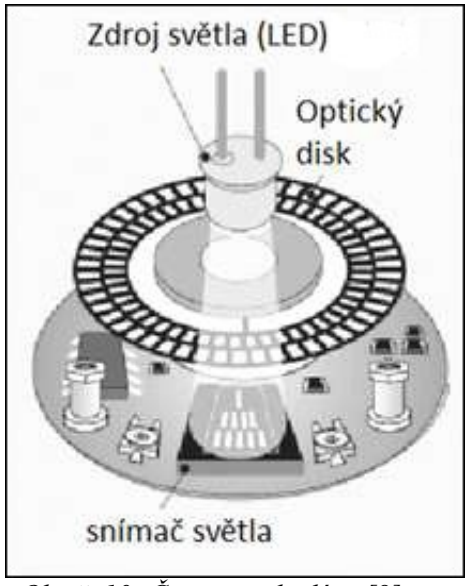
Oba pohonové stejnosměrné motory mají vyvedenou hřídel o průměru 4mm, která slouží ke snímání otáček inkrementálním snímačem otáček (enkodérem). To je nezbytné pro budoucí funkci robotu v oblasti mapování a lokalizace, kdy je nutné znát přesnou polohu robotu v prostoru. Robot je vybaven dvěma inkrementálními snímači Heds – 5500-A11, což je dvojkanálový enkodér s 500 impulsy na otáčku, pracující v kvadraturním režimu.

Enkodér je elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb na sekvence elektrických digitálních impulsů. Základní částí je optický disk s průhlednými okénky spojený s osičkou snímače. Zbytek disku je černý a neprůhledný a pohlcuje světlo. Před diskem je světelný zdroj, který vysílá světelný paprsek. Ten prochází jen průhlednými okénky disku. Na druhé straně disku je světelný snímač, který procházející impulsy světla přijímá. Tyto impulsy se převádí na elektrické a ty se dále mohou zpracovávat různými řídícími přístroji. Vygenerované impulsy je možné používat ke kontrole rotačních, případně i lineárních pohybů [8].

Enkodér generuje většinou tři obdélníkové signály (A, B, 0), kdy signály A a B jsou vzájemně posunuty o 90°. Zpracováním kanálu A se získává informace o rychlosti otáčení hřídele. Pomocí sekvence generovaných stavů signálu A a B lze rozeznat směr otáčení a nulový signál určuje referenční neboli nulovou polohu enkodéru [4].

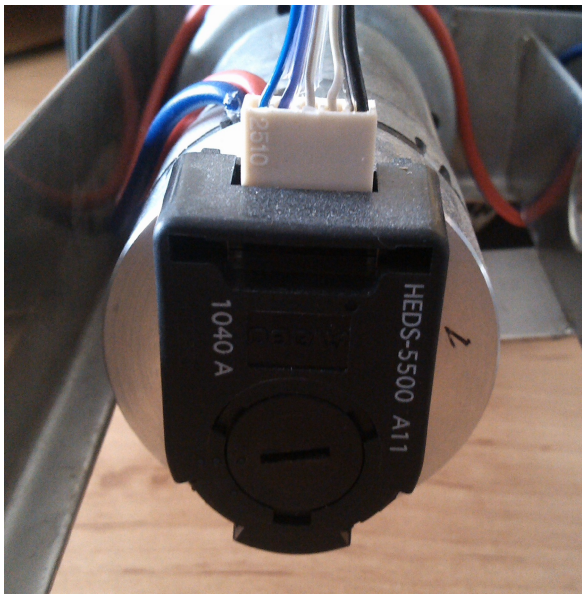


Obr.č. 9: Rozpoznání směru otáčení u enkodéru [4]



Obr.č. 10: Činnost enkodéru [8]

Samotný snímač je na tělo motoru upevněn pomocí hliníkové násadky, která je k motoru připevněná pomocí dvou šroubků a díky které bylo možné uchytit enkodér velice přesně a souose s hřídelkou motoru.



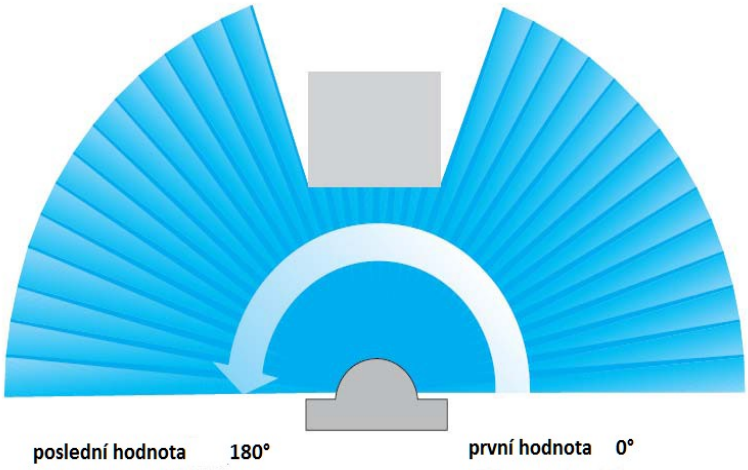
Obr.č. 11: Inkrementální snímač a jeho uchycení

3.2.6 Laserový dálkoměr SICK LMS 291

V přední části kostry je umístěn laserový skener od firmy SICK s označením LMS 291, který je hlavní skenovací jednotkou mapovacího robotu. Napájen je 24V DC, váží 4,5kg a jeho rozměry jsou 156x155x210mm. Skener je vhodný do indoor i outdoor prostředí a funguje na principu bezkontaktního laserového dálkoměru. Komunikuje s řídící jednotkou, kterou může být mikrokontrolér nebo počítač pomocí sériové linky RS-232, kdy dosahuje maximální komunikační rychlosti 38,4 kBaud, nebo RS422 s maximální komunikační

rychlostí 500 kBaud. Přepnutí mezi linkou RS-232 a RS-422 je realizováno automaticky podle propojovacího vodiče. Propojením pinů 7 a 8 na 9ti pinovém konektoru D-Sub laserový dálkoměr sám přepne komunikaci na linku RS-422.

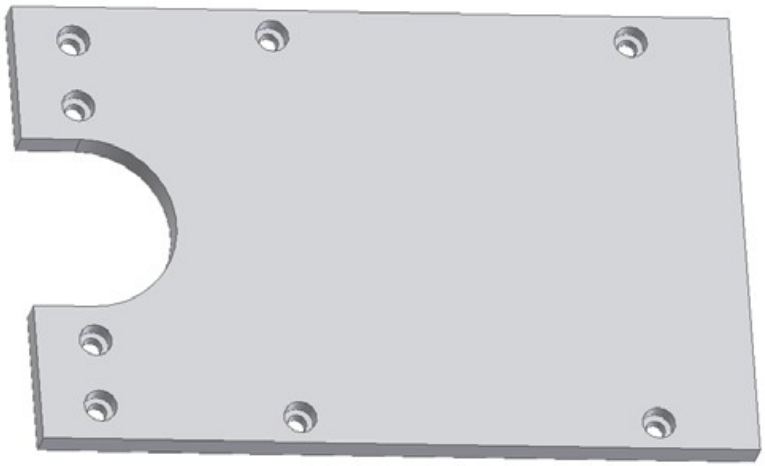
Princip snímání spočívá v tom, že vysílač skeneru vyšle laserový impuls, který se odrazí od překážky a vrací se zpět do přijímače. Podle doby mezi vysláním a přijetím impulsu se určuje vzdálenost překážky. Poté je v zařízení pootočené zrcadlo, které posunuje směr laserového impulsu o zvolenou úhlovou vzdálenost a znovu se vyšle impuls. To se opakuje dokud snímač neprojde celý rozsah natáčení zrcadla. Skenovací úhel může být nastaven na hodnotu 100°, pak je při úhlovém rozlišení 0,25° maximální počet naměřených hodnot 401, při úhlovém rozlišení 0,5° maximální počet naměřených hodnot 361, a nebo 180°, kdy je při úhlovém rozlišení 1° maximální počet naměřených hodnot 181. Typická vzdálenost měření se pohybuje do 30m [4],[5].



Obr.č. 12: Činnost skeneru při skenovacím úhlu 180° [9]

Obr.č. 13: SICK LMS 291 [9]

Skener je přichycen k přední části kostry pomocí hliníkové desky o tloušťce 10mm a rozměrech 240x155mm, ve které je vyfrézovaná drážka kterou prochází hřídel spojující přední a zadní díl kostry a navrtané díry pro připevnění laserového dálkoměru a díry pro připevnění ke kostře.



Obr.č. 14: Deska k přichycení dálkoměru [5]

3.2.7 Baterie

Napájení všech částí robota je realizováno bateriemi. Konkrétně jde o dva hermeticky uzavřené olověné akumulátory s napětím 12V a kapacitou 7,2 Ah. Tyto akumulátory jsou spojené sériově a dodávají napětí 24V, které je potřebné pro laserový dálkoměr a pro motory.

3.2.8 Elektronika

Elektronická část robotu je tvořena modulárně. Obsahuje dvě základní části, a to řídící modul a pohonový modul. Pohonový modul je vyroben dvakrát, pro každý motor zvlášť.

Základní součást řídícího modulu je mikrokontrolér Xmega, bluetooth modul, stabilizátory napětí a konektrory pro vzájemné propojení pohonových modulů a laserového dálkoměru. Stabilizátory napětí upravují napětí z baterií na potřebné úrovně pro jednotlivé součásti modulu. Xmega se stará o řízení přední nápravy, ovládá pohonové moduly, přijímá data z laserového dálkoměru a komunikuje s bluetooth modulem. Z toho je zřejmé, že pro řízení je nutné použít počítač nebo mobil s bluetooth připojením a příslušný software, přes který uživatel zadává požadované pohyby a získává naměřená data.

Pohonový modul obsahuje taky mikrokontrolér Xmega, dále H-můstek DRV 8402 a konektory pro propojení s řídící deskou a s inkrementálním snímačem. Xmega na pohonovém modulu komunikuje s řídící Xmegou a podle požadavků generuje PWM signál pro H-můstek, který je potřebný pro řízení otáček stejnosměrného motoru. Dále zpracovává kvadraturní signál z inkrementálního snímače otáček.

Dalším elektronickým prvkem robotu je držák s vypínačem a pojistkovým pouzdrem, který propojuje baterie do série a zapíná celého robota. Rychlá skleněná 10A pojistka pak chrání robota před poškozením.

3.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi Model B je vývojovým kitem s deskou velikosti zhruba platební karty, jehož základní jádro je ARM procesor Broadcom BCM2835 s frekvencí 700 MHz a grafický procesor Videocore 4 s podporou OpenGL ES 2.0, hardwarově akcelerované OpenVG a výstupním obrazem s až 1080p rozlišením. Operační paměť má velikost 512 MB. Operační systém je bootován přímo z desky prostřednictvím slotu pro SD karty. Neobsahuje žádné rozhraní pro pevný disk nebo SSD. Podpora Linuxu je velkou výhodou, jelikož většina developerských kitů využívá systém Android, který nenabízí tolik možností, jako plnohodnotný Linuxový systém. Připojitelnost s dalšími zařízeními zajišťují mimo jiné dva USB 2.0 porty, které se dají dále rozšířit USB hubem. O síťovou konektivitu se stará integrovaný ethernet adaptér připojený k třetímu USB portu s rychlostí 10/100 Mbit. Dále je k dispozici rozšiřující 26-pinový port pro připojení periferií a sběrnic. Napájený je 5V pomocí microUSB portu.

Raspberry Pi vytvořila britská nadace Raspberry Pi Foundantion s cílem podpořit výuku informatiky ve školách [10], [11].

Velkou výhodou miniaturního počítače Raspberry Pi jsou jeho pořizovací náklady. Za cenu okolo 1000 Kč nabídne výkon jak pro vývojové, testovací, ale i multimediální a kancelářské účely. Další výhodou je ohromná komunita lidí z celého světa, zabývajících se vývojem různých aplikací a projektů, fungujících právě na miniaturním počítači Raspberry Pi.

Jako řídící jednotka mobilního robotu je tento počítač dostatečnou alternativou a lze jej takto použít.

Specifikace miniaturního počítače Raspberry Pi:

Procesor:
Broadcom BCM2835 (ARM1176JZFS (ARMv6)) s frekvencí 700 MHz

GPU:
Broadcom Videocore 4 (OpenGL ES 2.0; OpenVG; H.264 1080p až 40 Mbps)
Operační paměť:
512 MB

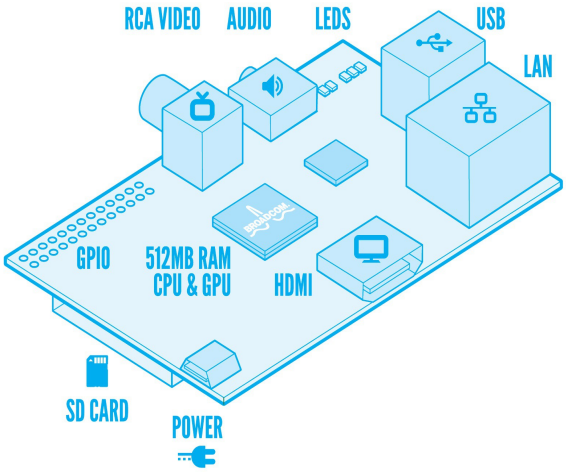
Rozhraní:
1x HDMI výstup
1x Kompozitní výstup
2x USB 2.0
1x Audio výstup (3,5 mm jack)
1x RJ-45
1x Čtečka paměťových karet SD (minimálně 2 GB pro OS)
8x GPIO, UART, I2Cm SPI, I2S audio

Možné operační systémy:
Linux (Raspbian, Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux ARM), RISC OS, FreeBSD, NetBSD, Plan 9

Rozměry:
93 x 64x 20 mm

Energetická náročnost:
5V, 700mA (3,5W)
1x microUSB port pro napájení

Obr.č. 15: Reálná fotografie Raspberry Pi[10]



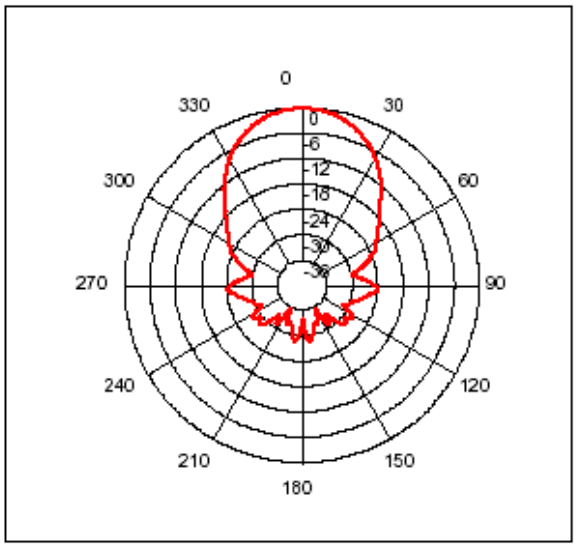
Obr.č. 16: Popis Raspberry Pi[11]

4 NÁVRH SNÍMAČŮ

U stávající konstrukce byl robot vybaven jedním laserovým dálkoměrem SICK LMS 291, snímající oblast před robotem a dvěma inkrementálními snímači Heds 5500, snímajících otáčky pohonů. Oblasti za a po bocích robotu nebyly žádným způsobem monitorovány, proto bylo navrhnuto tyto oblasti pomocí dalších snímačů také pokrýt. Protože je robot určen spíše pro vnitřní použití, byly vybírány snímače které měří vzdálenost spíše v rámci desítek centimetrů až jednotek metrů. Jako nejdůležitější oblast monitorování je oblast vepředu robota, kde bylo sice počítáno s laserovým dálkoměrem, ten je však určen spíše pro monitorování vzdálenějších překážek (~30m). Pro komplexnejší pokrytí této oblasti byly přidány dva ultrazvukové snímače SRF08 a jeden optický snímač Sharp GP2Y0A2YK. Další čtyří tyto optické snímače pak slouží pro pokrytí zadní a bočních oblastí robota. Další snímač který byl použit je inerciální senzorová jednotka MinIMU-9, zahrnující v sobě kompas, gyroskop a akcelerometr. Díky němu je možné například zpřesnit výpočty odometrie. V kombinaci s inkrementálními snímači dokáže odhalit například problém zastavení robota i přes to, že se hnací náprava protáčí. Uchycení a konkrétní umístění snímačů je popsáno v kapitole 6.

4.1 Ultrazvukový snímač vzdálenosti SRF08

Snímač funguje na principu vyslání, případném odrazu od překážky a zpětném příjmu ultrazvukových vln s frekvencí 40kHz. Vyzařovací úhel je 55° a rozsah měření je 3cm-6m s přesností 3-4cm. Analogové zesílení je 94 - 1025 v 32 krocích. Napájen je 5V/15mA (3mA standby). Pro komunikaci slouží I2C sběrnice, jejímž výstupem můžou být jednotky cm, palce nebo mikrosekundy. Snímač také obsahuje světelný fototranzistorový senzor. Rozměry snímače jsou 43x20x17mm a jeho cena je přibližně 1300 Kč [12].



Obr.č. 17: Vysílání SRF08[12]

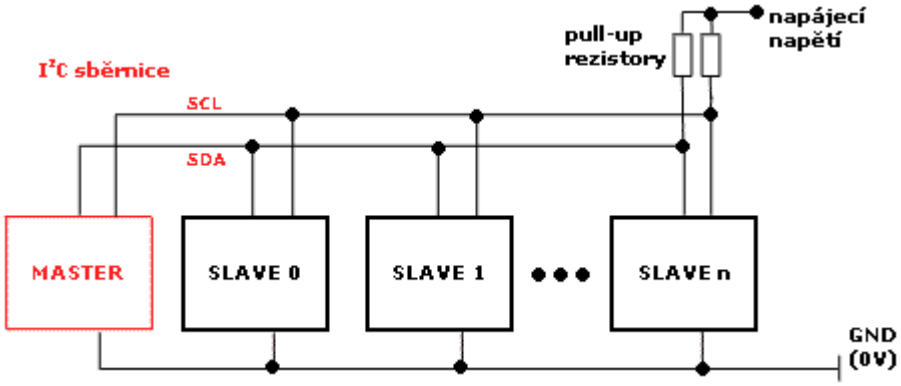
Obr.č. 18: Popis pinů SRF08 (NC=nepřipojeno)

4.1.1 I2C sběrnice

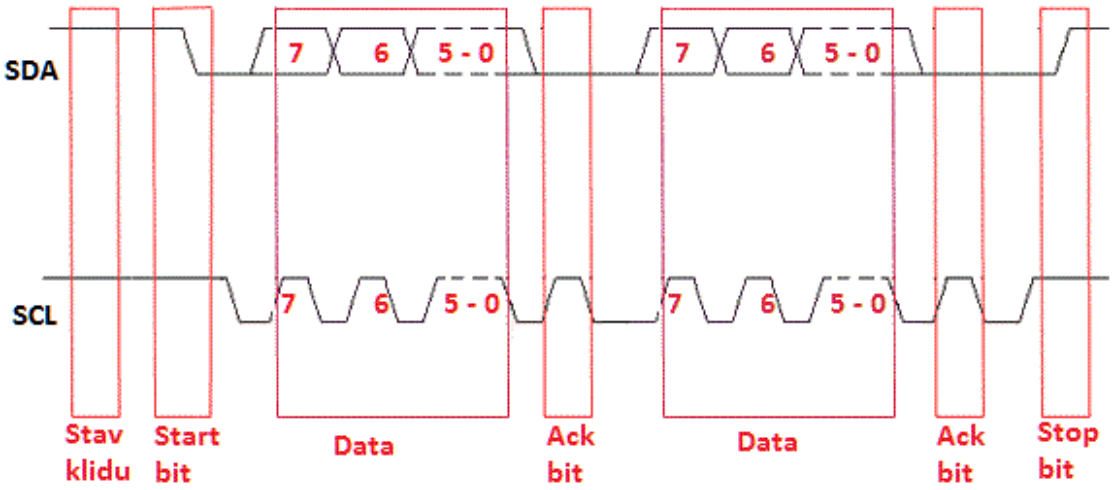
I2C bus (IIC bus) je interní datová sběrnice (Internal-Integrated-Circuit Bus) sloužící

pro komunikaci a přenos dat mezi jednotlivými integrovanými obvody (mikrokontroléry, sériové paměti, inteligentní LCD, audio a video obvody, a/d a d/a převodníky a pod.) většinou v rámci jednoho zařízení používajících dvou vodičů pro přenos dat, SDA-serial data a SCL-serial clock. Oba vodiče musí být imlicitně v logické jedničce, což zajišťují dva pull-up rezistory. Umožňuje připojení až 128 zařízení při 7 bitovém adresování a 1024 zařízení při 10 bitovém adresování. Přenosová rychlost sběrnice je dána frekvencí hodin, která může být 100kHz, 400kHz a 1MHz. Jeden z integrovaných obvodů je nastaven jako Master (většinou mikrokontrolér), ostatní jsou Slave. Master generuje při přenosu na vodiči SCL hodinový signál. Při vysílání jakéhokoli čipu, všechny ostatní přijímají a podle adresy určují, zda jsou data určena jim. Čip, který chce vyslat nebo přijmout data musí nejprve definovat adresu čipu s kterým chce komunikovat a zda půjde o příjem nebo vysílání.

Přenos probíhá kombinováním celků: *Stav klidu* – Na obou vodičích jsou logické jedničky, *Start bit* – Zahajuje přenos tím, že změní logickou úroveň SDA z 1 na 0, SCL je stále v logické 1, *Stop bit* – Ukončuje přenos změnou logické úrovně SDA z 0 na 1, SCL je stále v logické 1, *Přenos dat* – Data jsou přenášeny po 8 po sobě jdoucích bitech od nejvyššího po nejnižší. Při přenosu dat se logická uroveň na SDA mění jen když je SCL v logické 0. Při každém pulzu SCL je přenesen jeden bit, *Potvrzující bit Ack* – potvrzuje správný příjem dat, odesílá jej čip, který přijímal data. Proběhl-li přenos v pořádku, odešle logickou 0 (současně to znamená, že je příjímač připraven na další přenos dat, který následuje ihned po potvrzujícím bitu při dalším pulzu SCL), selhal-li přenos, odešle logickou 1. Má-li dojít k ukončení přenosu, neodešle se nic [13].



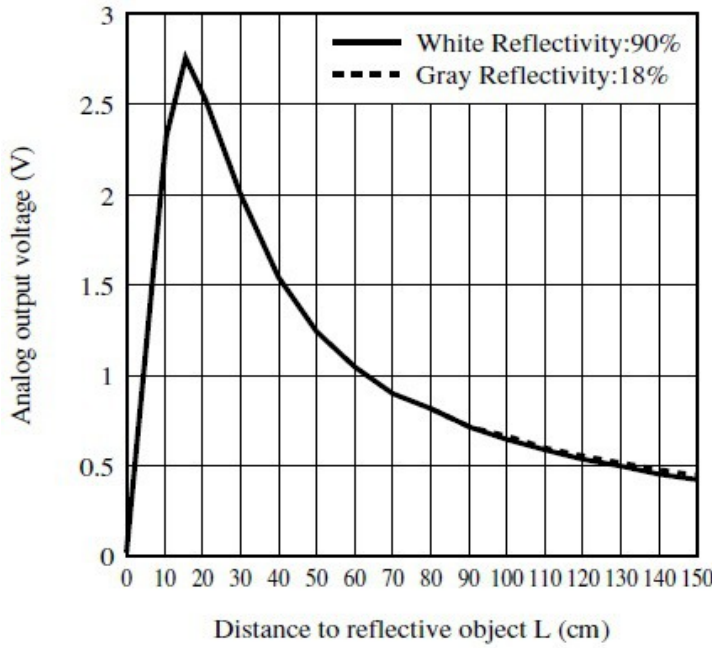
Obr.č. 19: Schéma propojení zařízení na I2C sběrnici [13]



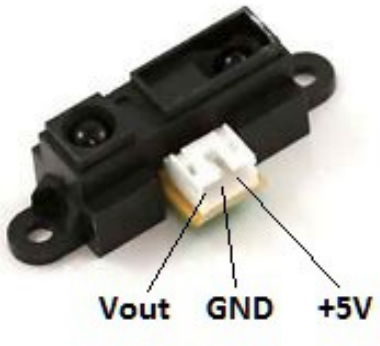
Obr.č. 20: Průběh logických úrovní na vodiči SDA a SCL [13]

4.2 Optický snímač vzdálenosti Sharp GP2Y0A2YK

Snímač neustále vysílá infračervený paprsek, ten je při případném odrazu od překážky zpětně příjmut přijímačem s obnovovací frekvencí 40ms. Rozsah měření je 20-150cm. Napájen je 5V/50mA. Hodnota napětí analogového výstupu je v rozmezí 1,8V-2,3V a je závislá na vzálenosti od měřené překážky. Rozměry snímače jsou 44x19x22mm a cena se pohybuje okolo 300Kč [14].



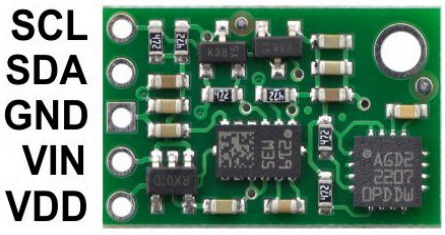
Obr.č. 21: Závislost výstupního napětí na vzdálenosti [14]



Obr.č. 22: Popis pinů Sharp GP2Y0A2YK

4.3 Inerciální senzorová jednotka Pololu MinIMU-9 v2

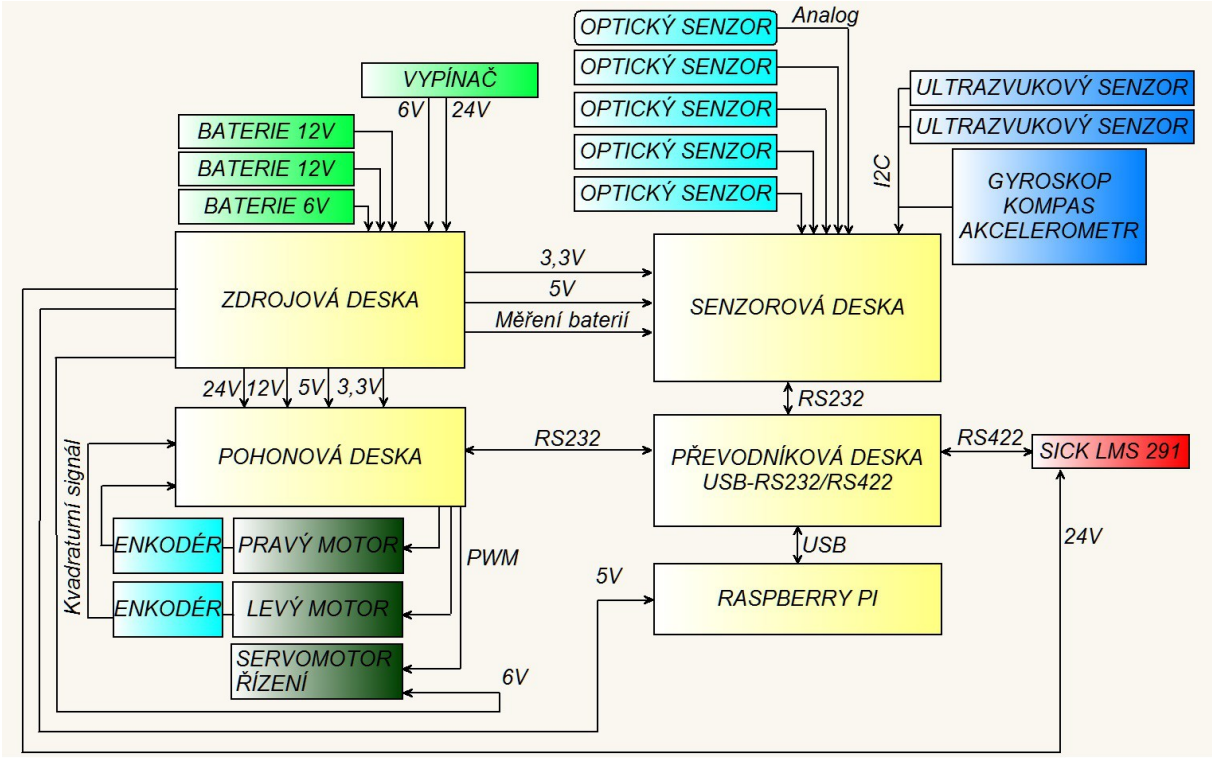
MinIMU-9 je snímač miniaturních rozměrů 20x13x3mm, zahrnující 3-osý gyroskop L3GD20 a 3-osý akcelerometr a 3-osý kompas LSM303DLHC. Pro komunikaci slouží I2C sběrnice, která dosahuje rychlosti až 400kHz, a každý jednotlivý snímač (akcelerometr, gyroskop, kompas) je zapojen jako Slave prvek a má svou fixní adresu. Jednotku lze napájet napětím od 2,5 do 5,5V na pinu VIN. Hodnota napětí high bitu u I2C sběrnice je dána velikostí tohoto napětí. Pokud je na pinu VIN napětí větší než 3,3V, lze použít VDD pin jako regulovaný výstup 3,3V s proudovou zatižitelností 150mA pro další komponenty. Pin VDD lze připojit i jako vstup napájení 2,5-3,3V, v tom případě se nezapojuje pin VIN. Na pin VDD nesmí být zapojeno napětí větší než 3,6V a piny VIN a VDD nesmí být napájeny současně [15].



Obr.č. 23: Popis pinů MinIMU-9 [15]

5 NÁVRH A REALIZACE ELEKTRONIKY

V první řadě bylo navrženo blokové schéma kompletního zapojení. Jak již bylo uvedeno výše, použitá konstrukce robotu a snímače jsou využívány i v rámci další diplomové práce, ve které je řízení realizováno pomocí programovatelného automatu. Proto bylo nutné navrhovat elektroniku modulárně, aby bylo možné použít snímače, pohony, servomotor řízení, baterie a rozvod elektrické energie společně. Pro obě práce společné desky, to je zdrojová a senzorová deska, bylo navrhování jejich elektrického schématu zapojení provedeno ve spolupráci se studentem Bc. Vojtěchem Havlíčkem. Modulární zapojení umožňuje, aby tyto desky zůstaly neustále zapojeny na robotu společně se senzory a rozvodem elektrické energie a podle potřeby se jednoduše měnila použitá řídící elektronika, ať už je to programovatelný automat, nebo v tomto případě pohonová a převodníková deska a řídící jednotka, miniaturní počítač Raspberry Pi. Konkrétní postup návrhu, zapojení, popis použitých součástek jednotlivých desek, baterií a dalších částí je uveden v následujících podkapitolách. Obrázky zapojení a rozmístění jednotlivých konektorů, stejně jako výkresy kompletních schémat všech desek jsou umístěny v přílohách.

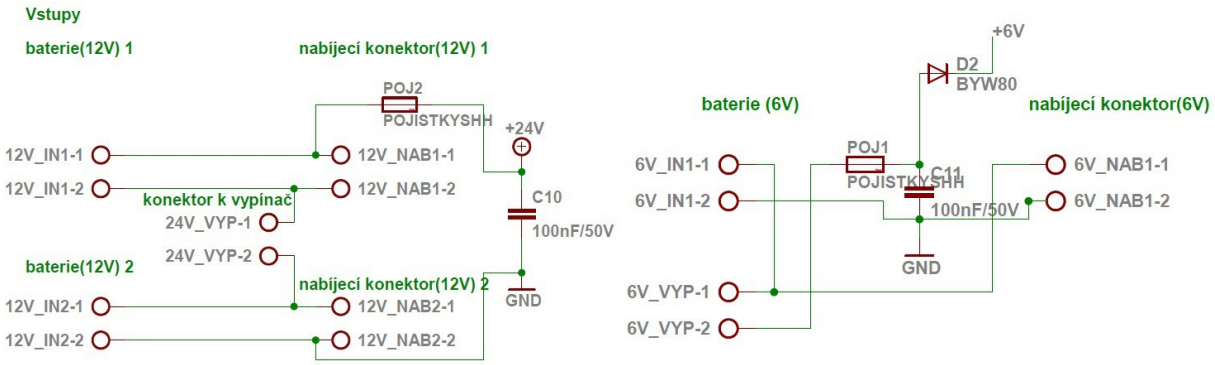


Obr.č. 24: Blokové schéma zapojení robota

5.1 Zdrojová deska

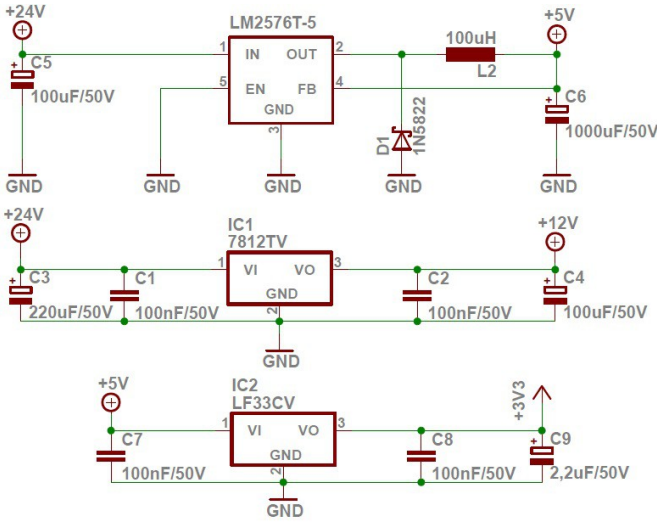
Zdrojová deska se stará o rozdělení elektrické energie v požadovaných úrovních do všech dalších komponent robotu. Obsahuje dva vstupy pro 12V baterie, které se na desce spojují přes vypínač do série. Dva další vstupy slouží pro nabíjení 12V baterií. Baterie lze nabíjet jen každou zvlášť, pro nabíjení každé baterie slouží jeden vstup. Zároveň musí být vypínač při nabíjení vypnutý, aby baterie nebyly sériově zapojeny. Dalším vstup je pro 6V baterii, která napájí servomotor řízení. Zapnutí tohoto napájení je realizováno pomocí stejného vypínače, který je dvoupólový a umožňuje tak zapínat dvě nezávislé větve napětí.

Nabíjení 6V baterie je realizováno dalším vstupem. V předchozí verzi elektroniky robotu byl servomotor řízení napájen pomocí spínaného stabilizátoru LM2567T-5, který je schopný přenést proud až 3A. Odběr proudu servomotoru řízení však může dosahovat hodnot až 4A, proto bylo nutné použít jiné řešení a jako nejjednodušší se ukázalo být řešení právě využívající dalšího 6V olověného akumulátoru o kapacitě 4,5Ah. Servomotor může být napájen napětím 4,8 – 6V a plně nabitý akumulátor může dosahovat úrovně i 6,5V. To by s největší pravděpodobností servomotor zničilo. Proto je do obvodu připojena výkonová dioda BYW80-200, která napětí neustále snižuje o 0,75V. Stabilizátor napětí v tomto případě nebyl použit proto, že u takovýchto hodnot proudu je jeho výroba složitější a součástky pro jeho výrobu jsou velmi obtížně sehnatelné, zatímco řešení se zvláštním akumulátorem je jednoduché a účinné. Vstupy 6V a 2x12V jsou chráněny dvěma rychlými skleněnými pojistkami příslušných hodnot, aby se zamezilo zničení elektroniky a baterií při například náhodném zkratu a podobných problémech.



Obr.č. 25: Vstupy zdrojové desky

Zdrojová deska dále obsahuje tři stabilizátory napětí a to lineární stabilizátor 7812SMT převádějící 24V na 12V při maximálním proudové zátěži 1A, spínaný stabilizátor LM2576T-5 převádějící 24V na 5V při maximální proudové zátěži 3A a lineární stabilizátor LF33CV převádějící 5V na 3,3V při maximální proudové zátěži 1A.

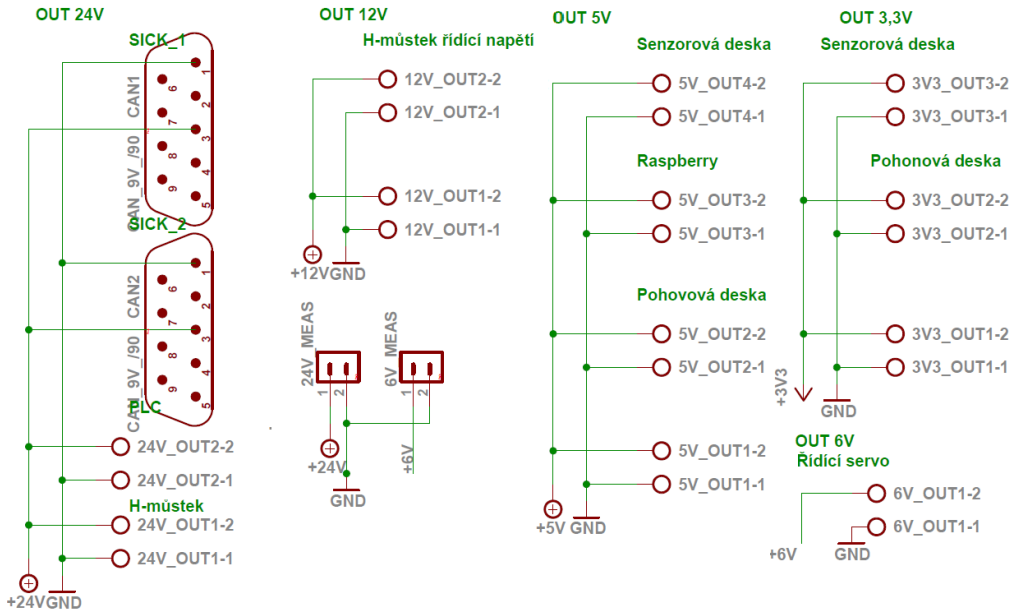


Obr.č. 26: Zapojení stabilizátorů napětí

Napěťová úroveň 12V je použita pouze pro řídící napětí H-můstku DRV-8432, jehož funkce je popsaná v kapitole 5.3.1. Protože odběr proudu v tomto případě nepřesáhne 100mA,

nebude docházet k velkým ztrátám a nežádoucímu přehřívání tohoto stabilizátoru. U 5V úrovně bylo nutné využít spínaného stabilizátoru, protože po sečtení proudových odběrů jednotlivých komponent vyžadující tuto úroveň vyšla hodnota okolo 1,5A. U posledního stabilizátoru se využilo dostatečné možné proudové kapacity spínaného stabilizátoru a napětí 3,3V se stabilizuje právě z 5V. Informaci o správné funkčnosti stabilizátorů poskytují tři signální ledky, pro každou napěťovou úroveň jedna. Všechny tři stabilizátory, stejně jako výkonová dioda, jsou umístěny v pozdru TO-220 a připevněny k jednomu společnému hliníkovému chladiči.

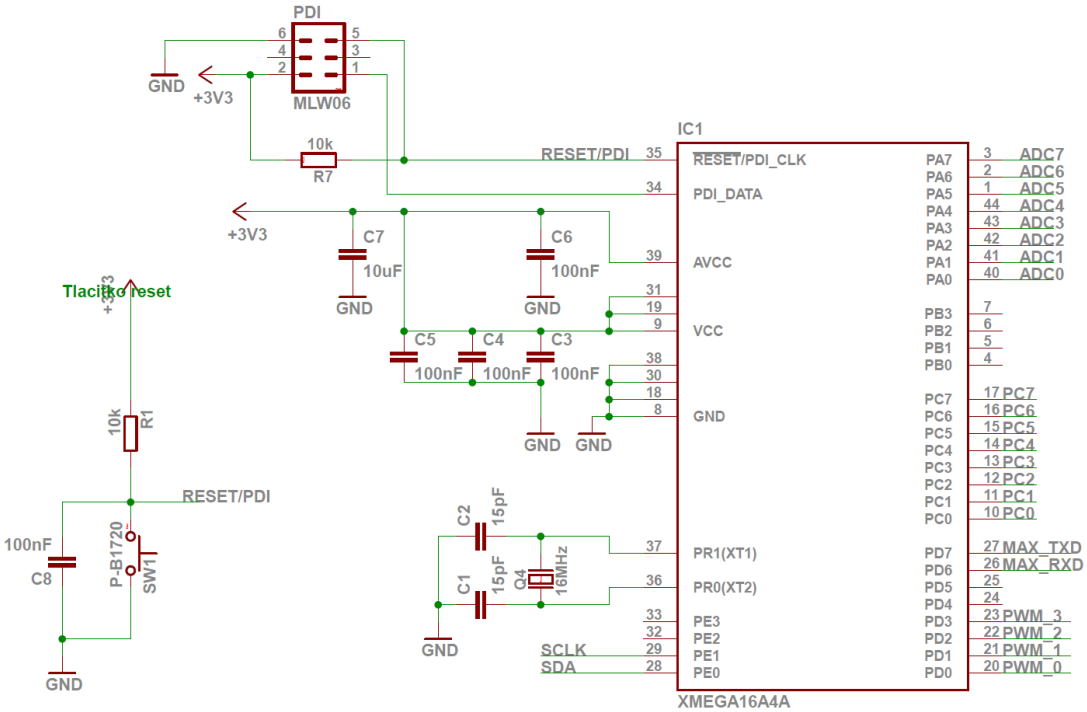
Zdrojová deska obsahuje celkem šestnáct výstupů. Z toho jsou čtyři výstupy 24V, dva vyvedené pomocí svorkovnice pro programovatelný automat a výkonovou část H-můstku a dva vyvedené na devítipinový konektor CANNON D-sub ve variantě vidlice pro napájení laserového dálkoměru. Další výstupy jsou realizovány pomocí svorkovnic a jde o 2x12V pro řídící napětí H-můstku, 1x6V pro napájení servomotoru řízení, 4x5V pro napájení senzorové a pohonové desky a miniaturního počítače Raspberry Pi a 3x3,3V pro senzorovou a pohonovou desku. Nevyužité výstupy nejsou zapojeny a slouží pro případné další rozšiřování robotu. Zbylé dva výstupy slouží pro měření kapacity baterií a jsou připojeny do senzorové desky.



Obr.č. 27: Výstupy zdrojové desky

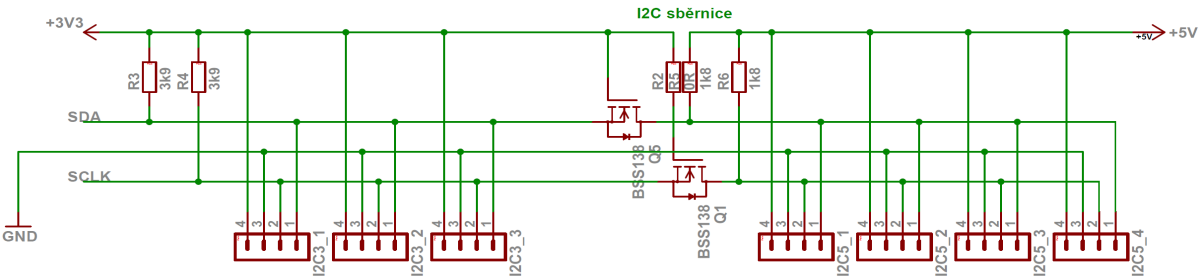
5.2 Senzorová deska

Senzorová deska zpracovává signály z ultrazvukových a optických snímačů, snímače MinIMU-9 a také signály ze zdrojové desky, sloužící pro získání informace o kapacitě baterií, pomocí mikrokontroléru Atmel AVR Xmega 16A4. Jedná se o vysoce výkonný nízkopříkonový 8 bitový mikrokontrolér s 16KB programovatelnou flash, 1KB EEPROM a 2KB SRAM pamětí, 34 vstupů/výstupů, 16-ti kanály PWM a se spoustou dalších periférií. K programování je využito dvouvodičové rozhraní PDI. Pracovní kmitočet je nastavován externím krystalem s frekvencí 16MHz který je zdvojnásobený pomocí PLL. Při kmitočtu 32MHz musí být Xmega napájena napětím 3,3V. Mezi každým napájecím a uzemňovacím pinem je umístěn keramický kondenzátor. V případě potíží lze mikrokontrolér resetovat tlačítkem připojeným na pin *RESET* [19].



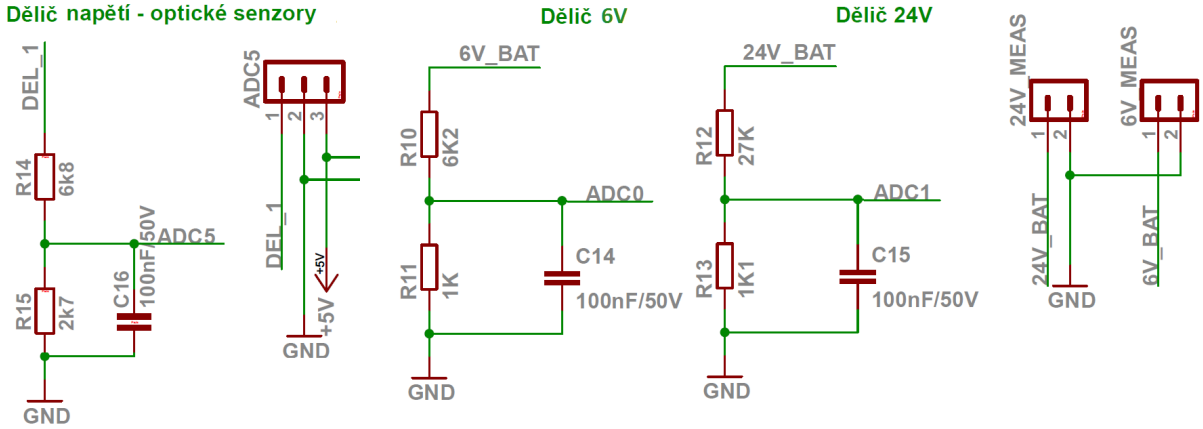
Obr.č. 28: Zapojení mikrokontroléru Xmega16 na senzorové desce

Do senzorové desky vstupuje napětí o úrovních 5V a 3,3V ze zdrojové desky. O stavu funkčnosti připojení jednotlivých napětí informují indikační LED. Další vstupy jsou realizovány pomocí čtyřpinových konektorů se zámkem PSH a zajišťují propojitelnost pro I2C sběrnici, ať už v 5V úrovni nebo 3,3V úrovni. Jelikož mikrokontrolér vyžaduje 3,3V úroveň signálu I2C sběrnice, bylo pro připojení i 5V úrovně signálu I2C sběrnice nutné zapojit do obvodu ještě dva tranzistory typu MOSFET. Tři konektory jsou určeny pro 3,3V a čtyři konektory pro 5V úroveň. Využity jsou jen 3 konektory 5V úrovně, ostatní jsou určeny pro případné rozšiřování.



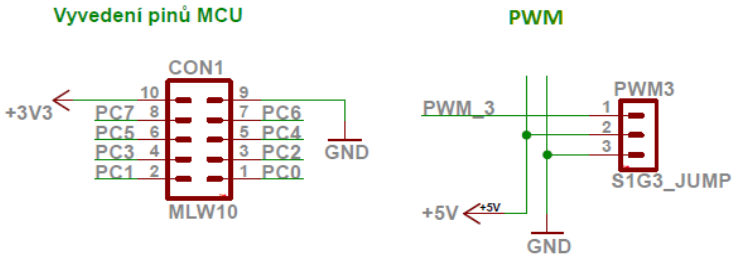
Obr.č. 29: Zapojení I2C sběrnice

Pro vstupy analogových signálů jsou využity třípinové konektory se zámkem PSH. Pět těchto konektorů vede k odporovým děličům napětí, které jsou napočítány tak, že při maximálním možném proudu nepřekročí hodnota výstupního napětí 1V, což je nezbytné pro mikrokontrolér, zpracovávající analogové signály pomocí interního referenčního napětí právě 1V. Jeden konektor je rezervní pro případné další rozšiřování a vede přímo na pin mikrokontroléru. S tímto faktem je nutné při rozšiřování počítat. Další dva vstupy jsou realizovány pomocí dvoupinových konektorů se zámkem PSH a slouží pro připojení signálu informujících o stavu baterií ze zdrojové desky. K mikrokontroléru vedou opět přes odporové děliče převádějící jejich úroveň na max 1V.



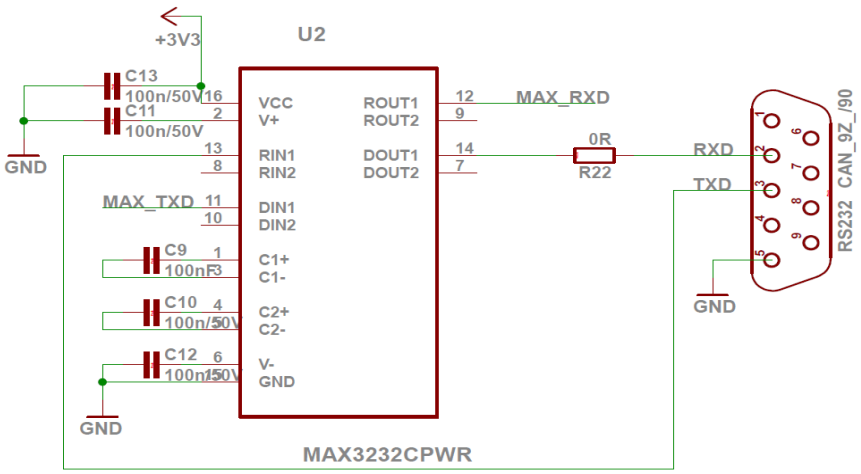
Obr.č. 30: Analogové vstupy senzorové desky

Ze senzorové desky vystupují čtyři třípinové konektory, kde na každém z nich je na jednom pinu vyveden signál PWM z mikrokontroléru, druhém pinu 5V napětí a třetím pinu GND. Tyto konektory nejsou využívány pro funkci robota a slouží opět pro případné rozšiřování stejně jako kompletně vyvedený PORTC mikrokontroléru pomocí konektoru ML10.



Obr.č. 31: Zapojení výstupů senzorové desky

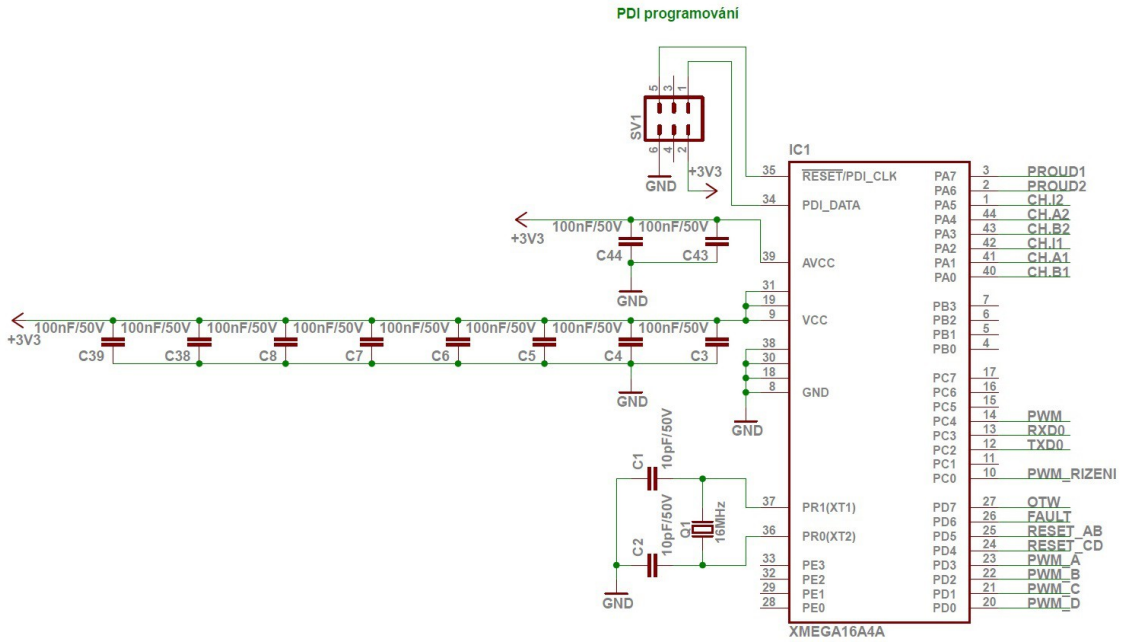
Pro komunikaci senzorové desky s řídící jednotkou slouží linka RS-232. K tomu bylo nutné zapojit do obvodu integrovaný obvod MAX3232CPWR. Ten je napájený napětím 3,3V a obsahuje nábojovou pumpu pro dasažení napětí +10V a -10V potřebných pro tuto sběrnici. K tomu využívá keramické kondenzátory s kapacitou 100nF. K propojení s řídící jednotkou slouží devítipinový konektor CANNON D-SUB ve variantě zásuvky.



Obr.č. 32: Zapojení IO MAX3232CPWR u senzorové desky

5.3 Pohonová deska

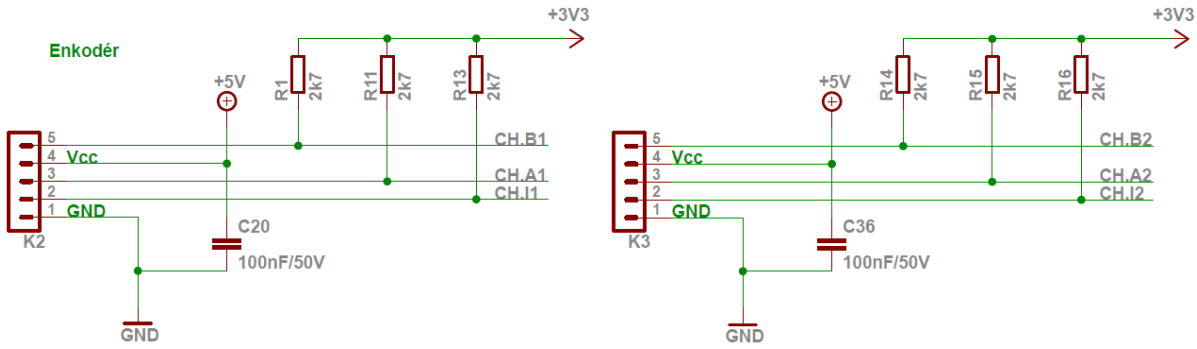
Pohonová deska se stará o řízení stejnosměrných pohonů robotu a řízení servomotoru. Toto řízení provádí opět mikrokontrolér Atmel AVR Xmega 16A4 zapojený podobně jako u senzorové desky. Počet filtračních keramických kondenzátorů mezi napájecími a uzemňovacími piny byl zvojnásoben, protože se mikrokontrolér nachází na desce, kde může vlivem spínání pohonů docházet snadněji k rušení.



Obr.č. 33: Zapojení Xmegy u pohonové desky

Komunikace s řídící jednotkou je vyřešena stejným způsobem jako u senzorové desky, tedy je použit integrovaný obvod MAX3232CPWR, převádějící 3,3V signály USARTu z Xmegy do +10V a -10V velikosti pro linku RS-232 a naopak. Na mikrokontroléru u pohonové desky je využit USARTC0 na pinech PC2 a PC3. RXD0 je dovedeno na ROUT1 a TXD0 na DIN1 integrovaného obvodu MAX3232CPWR. Na zásuvkový devítipinový konektor CANNON D-SUB je na pinu 3 přiveden pin RIN1 a na pinu 2 pin DOUT1 integrovaného obvodu MAX3232CPWR.

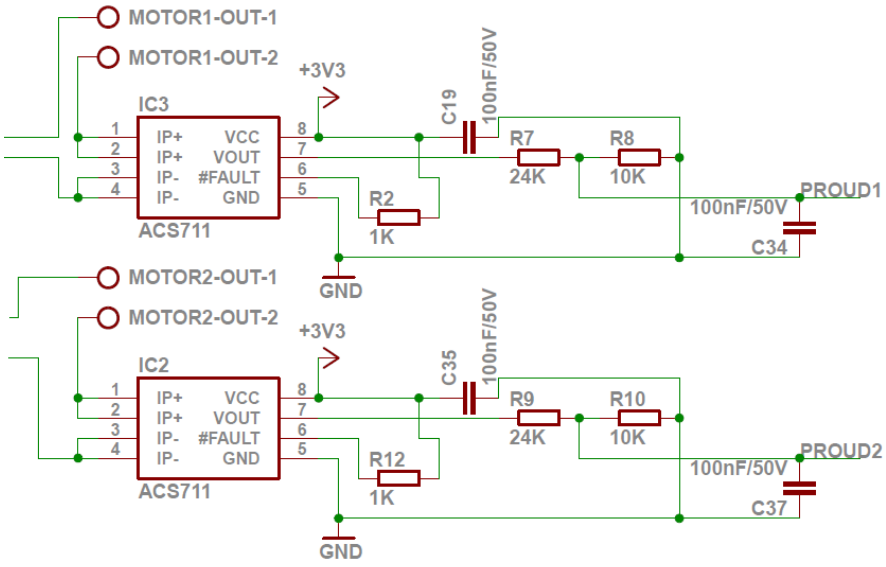
Do pohonové desky vstupuje pomocí konektorové svorkovnice napětí 24V pro výkonovou část H-můstku, 12V pro řídící část H-můstku, 5V pro napájení inkrementálních snímačů a 3,3V pro napájení mikrokontroléru, integrovaného obvodu MAX3232CPWR a snímače proudu. Všecha přívodní napětí jsou filtrována pomocí keramického kondenzátoru zapojeného mezi každou kladnou a zápornou svorkou. Další vstupy jsou realizovány pětipinovým konektorem se zámkem PSH a slouží pro připojení inkrementálních snímačů. Protože jsou tyto snímače napájeny 5V, i jejich výstupy budou 5V a není možné jej přímo připojit k mikrokontroléru. K úpravě napětí slouží přímo na inkrementálním snímači otevřený kolektor. Nová hodnota napěťové úrovně je určena napětím připojeném přes pull-up odpory k jednotlivým výstupům. Pro připojení inkrementálního snímače k mikrokontroléru je nutné, aby jeho výstupy byly připojeny na libovolné po sobě jdoucí I/O piny mikrokontroléru. Konkrétně je pro tento účel určen pin PA0-PA5. Díky tomu je možné pro dekódování signálu použít kvadraturní dekodér Xmegy QDEC.



Obr.č. 34: Zapojení enkodérů

Výkonovou část pohonové desky tvoří H-můstek DRV-8432 firmy Texas Instruments a součástkami zajišťujícími jeho funkčnost. Tento typ H-můstku obsahuje v podstatě dva H-můstky, které se pomocí pinů M1, M2 a M3 zapojují do různých módů. Například full bridge, při kterém je každým interním H-můstkem ovládaný jeden motor nebo parallel full bridge, který oběma H-můstky ovládá jeden motor. V paralelního zapojení je možné dodávat motoru dvojnásobný proud. V našem případě využíváme módu full bridge, protože H-můstkem DRV-8432 ovládáme dva motory s maximálním odběrem každého z nich 6A. Samotný H-můstek zvládne dodávat proud o velikosti průběžně 2x7A a špičkově 2x12A. Napětí 12V budí interní MOSFET tranzistory a napětí 24V je připojené na výkonové vstupy H-můstku. K potlačení rušení slouží jednoduchý RC článek, dva keramické a jeden elektrolytický kondenzátor zapojené mezi výkonové vstupy a zem. Výběr použitých součástek byl proveden s ohledem na doporučení výrobce uvedeného v katalogovém listu H-můstku DRV-8432 [21]. Řídící vstupy H-můstku v módu full bridge jsou PWM_A, PWM_B, PWM_C, PWM_D, RESET_AB a RESET_CD. Na PWM vstupy jsou přivedeny signály PWM generované mikrokontrolérem vyvedené z pinů PD3, PD2, PD1 a PD0, které se zpracovávají v H-můstku a jsou vyvedeny na výkonové výstupy OUT_A, OUT_B, OUT_C, OUT_D. Signály RESET_AB a RESET_CD jsou aktivní v logické 0 a jsou přivedeny z pinů PD5 a PD4 mikrokontroléru. Aby byl H-můstek v provozu, musí být tyto piny nastaveny na logickou 1. H-můstek obsahuje ochranný systém, a to FAULT podmínku, která při zkratu, podpětí nebo u příliš velkého proudu procházejícího obvodem jej okamžitě vypne. Hodnota proudu při kterém dojde k vypnutí je nastavena pomocí odporu o velikosti 24KΩ, přes který je uzeměný pin OC_ADJ, a k vypnutí dojde při překročení 10,6A. Dalším ochraným prvkem je OTW podmínka, která vypne H-můstek při přehřátí. Obě podmínky jsou vyvedeny na výstupní piny a je možné je snímat mikrokontrolérem, do kterého vstupují pinem PD6 a PD7. Oba jsou, tak jako RESET, aktivní v logické 0. H-můstek je umístěn v DKD pouzdru, které má na své horní části kovovou plochu, na kterou lze připevnit hliníkový chladič.

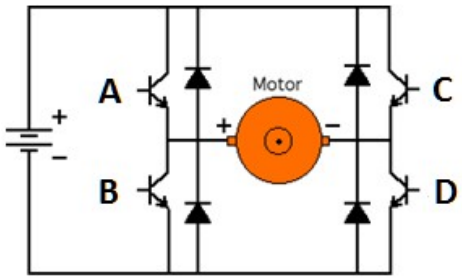
Výkonový výstup OUT_A H-můstku je vyveden přímo na svorkovnici, zatímco výstup OUT_B je veden do integrovaného obvodu ACS711 a z něj dále pokračuje na stejnou svorkovnici. Stejně je to řešeno u výstupu OUT_C a OUT_D. Integrovaný obvod ACS711 je snímač proudu, který se zapojuje sériově a je schopný měřit proudy do velikosti 12.5A. Je napájený napětím 3,3V a jeho výstupem je analogový signál, který zpracovává mikrokontrolér na pinu PA7 u prvního snímače a pinu PA6 u druhého snímače. Tento signál bylo nutné upravit jednoduchým odporovým děličem napětí, aby nepřekročil hodnotu 1V. Dalším výstupem z pohonové desky je signál PWM, vyvedený pomocí dvoupinového konektoru se zámkem PSH, sloužící k ovládání servomotoru řízení vyvedeného z pinu PC0 mikrokontroléru. Na druhý pin tohoto konektoru je přiveden pin PC4 pro účely případného budoucího rozšiřování.



Obr.č. 35: Zapojení snímačů proudu

5.3.1 H-můstek

Obecně se jako H-můstek označuje zařízení, které kombinuje speciální zapojení čtyř tranzistorů s antiparalelnim zapojením diod a umožňuje čtyřkvadrantové řízení motoru. Různými kombinacemi spínání tranzistorů je možné dosáhnout různých módů chodu motoru.



Obr.č. 36: Schématické zapojení H-můstku[5]

Horní levý spínač A	Spodní levý spínač B	Horní pravý spínač C	Spodní pravý spínač D	Motor
0	0	0	0	volně se otáčí
1	0	0	1	vpřed
0	1	1	0	vzad
0	1	0	1	brzda
1	0	1	0	brzda

Obr.č. 37: Vliv sepnutí tranzistorů na činnost motoru[20]

Řídicí elektronika zajišťuje, aby nenastalo současné sepnutí obou tranzistorů na levé nebo pravé straně. Podle způsobu řízení H-můstku se používá několik různých zapojení, které redukují počet potřebných ovládacích vodičů. Nejčastější zapojení je dvou nebo trojvodičové,

kde jeden vstup IN1 řídí levou polovinu můstku (inverzně spíná horní a spodní tranzistor, tak, že je vždy jeden sepnutý a druhý rozepnutí), druhý IN2 řídí pravou polovinu můstku a třetí vstup ENABLE vypíná celý H-můstek [20].

IN1	IN2	ENABLE	A	B	C	D	Motor
0	0	1	0	1	0	1	brzda
1	0	1	1	0	0	1	vpřed
0	1	1	0	1	1	0	vzad
1	1	1	1	0	1	0	brzda
x	x	0	0	0	0	0	volně se otáčí

Obr.č. 38: Spínání H-můstku se 3 vstupy[20]

Módy spínání [20]:

Sign-Magnitude 1 („směr velikost“):

Vstupy IN1 a IN2 = ~IN1 volíme směr otáčení a na vstup ENABLE je přiveden PWM signál, řídicí rychlost. Příslušné dva tranzistory (dle směru otáčení) spínají napájení. Při vypnutí jsou všechny tranzistory uzavřeny a motor se může volně otáčet.

IN1 = DIR	IN2 = ~ DIR	EN = PWM	A	B	C	D	Motor
0	1	0	0	0	0	0	volně se otáčí
0	1	1	1	0	0	1	vpřed
1	0	0	0	0	0	0	volně se otáčí
1	0	1	0	1	1	0	vzad

Obr.č. 39: Sign-Magnitude 1 [20]

Sign-Magnitude 2 („směr velikost“):

Jeden vstup IN1 určuje směr otáčení a na druhý IN2 je přiveden signál PWM, pro řízení rychlosti. Vstup ENABLE je trvale aktivní. Jedna strana můstku má trvale sepnutý jeden tranzistor, na druhé straně se střídavě spíná horní a dolní, podle PWM a motor zrychluje nebo brzdí.

IN1 = PWM	IN2 = DIR	ENABLE	A	B	C	D	Motor
0	0	1	0	1	0	1	brzda
1	0	1	1	0	0	1	vpřed
0	1	1	0	1	1	0	vzad
1	1	1	1	0	1	0	brzda

Obr.č. 40: Sign-Magnitude 2 [20]

Locked-antiphase („střídané řízení“):

Oba vstupy IN1 a IN2 = ~IN1 jsou připojeny na PWM signál a vstup ENABLE je trvale aktivní. Pokud je plnění PWM 50%, je výsledná střední hodnota napětí nulová a motor stojí. Pro plnění <50% se otáčí jedním směrem pro >50% se otáčí druhým směrem.

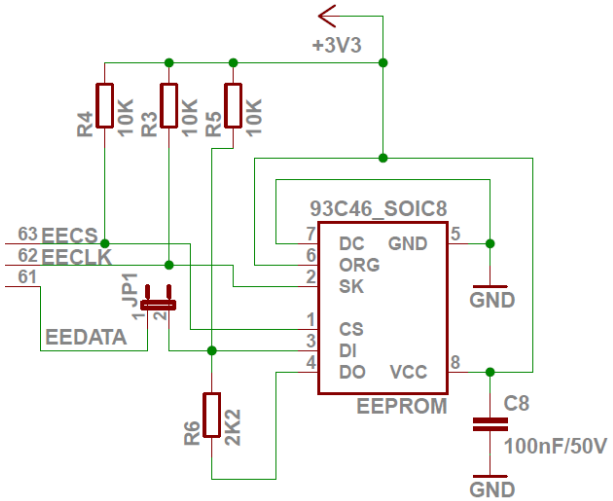
IN1 = PWM	IN2 = ~ PWM	ENABLE	A	B	C	D	Motor
0	1	1	1	0	0	1	vpřed
1	0	1	0	1	1	0	vzad

Obr.č. 41: Locked-antiphase [20]

5.4 Převodníková deska

Aby bylo možné využít maximální rychlost přenosu dat laserového dálkoměru SICK LMS 291, bylo nutné jej připojit pomocí sériové linky RS-422. Zároveň bylo nutné propojit pohonovou a senzorovou desku s miniaturním počítačem Raspberry Pi pomocí sériových linek RS-232. Toho bylo možné dosáhnout více způsoby, například využít všechny USB porty Raspberry Pi a převést je na sériové linky jednotivě. Vzhledem k tomu, že přenosová rychlost USB portu je více než dostatečná pro komunikaci mezi deskami a zároveň i laserovým dálkoměrem, bylo výhodnější využití právě jednoho USB portu a jeho rozvětvení na více linek.

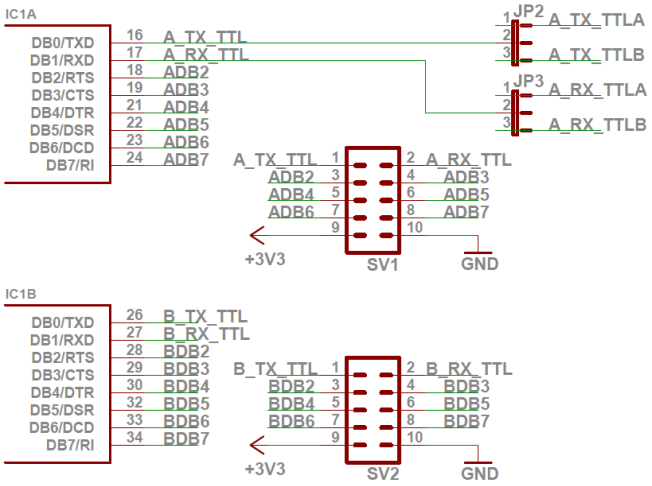
Jediným nutným vstupem do převodníkové desky je sériová linka USB realizována konektorem USB A ve variantě zásuvky a signály vedoucí po vodičích D+ a D- jsou připojeny na piny USBDP a USBDM integrovaného obvodu. Také zde bylo využito toho, že USB linka může napájet připojená zařízení a žádné další napětí není třeba do převodníkové desky dodávat i přesto, že integrovaný obvod FT4232HL je potřeba napájet napětím 3,3V a 1,8V. Napětí 3,3V se stabilizuje pomocí stabilizátoru LM2937 z linky USB dodávajících 5V a o jeho správné funkčnosti informuje zelená indikační led umístěná v blízkosti USB vstupu. Výstupní napětí stabilizátoru 3,3V je dále rozvětveno a jedna z těchto větví je přivedena na pin VREGIN. Tímto je využit interní stabilizátor napětí integrovaného obvodu FT4232HL, který stabilizuje napětí 3,3V na napětí 1,8V vystupující z pinu VREGOUT. Toto napětí pak vstupuje do tří pinů VCORE, které jsou uzemněny přes keramický kondenzátor pro potlačení šumu. Další z větví 3,3V napětí jsou přivedeny přes cívku a dva kondenzátory na piny VPLL a VPHY. Napětí na jednotlivé porty je potřeba dodat pomocí čtyř vstupů VCCIO, na které je přivedeno napětí 3,3V opět filtrované keramickými kondenzátory. Na piny XTOT a XTIN je přiveden externí krystal potřebný pro správnou funkci obvodu. Signály EECS, EECLK a EEDATA slouží pro připojení paměti EEPROM. Díky paměti EEPROM je možné nastavit integrovaný obvod FT4232HL do různých módů, jejichž popis je v kapitole 7.3. Signál EEDATA je navíc veden k paměti EEPROM přes rozpojený vodič vedoucí na doupinový konektor, který je možné propojit zkratovací propojkou (jumperem), aby bylo možné například špatně naprogramovanou EEPROM paměť odpojit.



Obr.č. 42: Zapojení paměti EEPROM

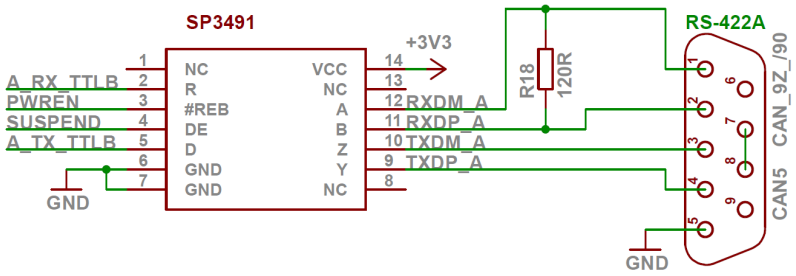
Integrovaný obvod FT4232HL převádí jednu sériovou linku USB na čtyři kompletní sériové linky RS-232, označované A, B, C, D pracující s napěťovou úrovní 3,3V. Každý výstupní port je vyveden na konektror ML10, na jednom konektoru je tedy vyvedeno osm signálů linky RS-232, napětí 3,3V a GND. Tyto konektory nejsou v našem případě využity a

slouží pro případné použití převodníkové desky k jinému učelu. Pro náš účel komunikace jednotlivých desek a laserového dálkoměru s řídící jednotkou využíváme jen signálů TXD a RXD. U portů B a C jsou tyto signály vedeny přímo na integrovaný obvod MAX3232CPWR, který převádí jejich napěťovou úroveň na hodnotu standartní linky RS-232, obdobně jako u senzorové a pohonové desky popsaných výše.



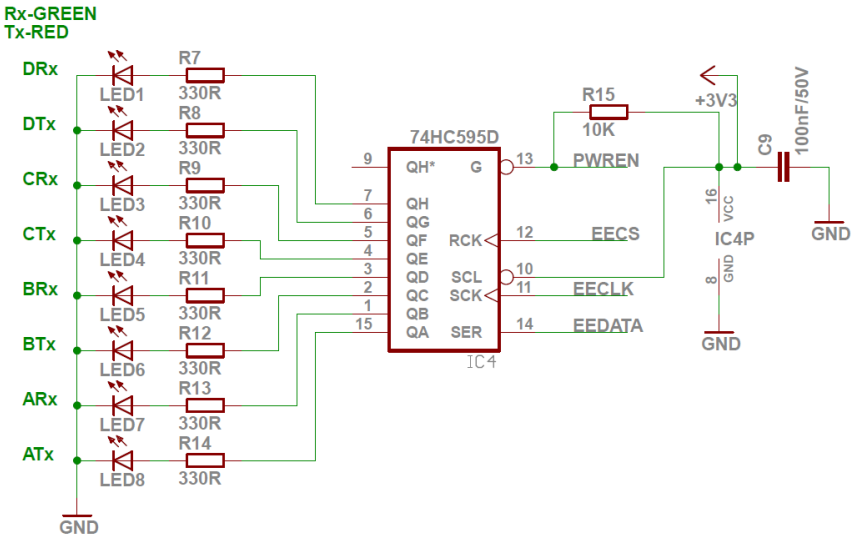
Obr.č. 43: Port A a B

U portů A a D jsou signály TXD a RXD přivedeny na třípinové konektory, kde jsou rozpojeny a pomocí zkratovacích propojek lze každý signál přemostit do dvou větví. Při spojení pinu 1 a 2 vede signál na integrovaný obvod MAX3232CPWR, a je upraven jako u portů B a C. Při spojení pinu 2 a 3 je signál veden do integrovaného obvodu SIPEX SP3491, který jej upravuje na dva signály, plus a mínus linky RS-422. Převodníková deska tedy převádí jednu linku USB na čtyři linky RS-232, tři linky RS-232 a jednu linku RS-422 nebo dvě linky RS-232 a dvě linky RS-422. Linky RS-232 jsou vyvedeny na devítipinový konektor CANNON D-SUB ve variantě vidlice a linky RS-422 na stejný konektor ve variantě zásuvka.



Obr.č. 44: Zapojení obodu SIPEX SP3491

O tom, který port v danou chvíli komunikuje informují indikační led. Pro každý port je použita dvojice led, jedna červená, indikující komunikaci TX signálu a druhá zelená, indikující komunikaci RX signálu. Celkem osm indikačních led je řízeno pomocí integrovaného obvodu 74HC595D který zpracovává signály EECS, EECLK a EEDATA obvodu FT4232HL.



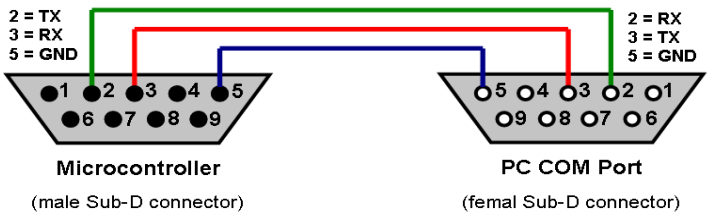
Obr.č. 45: Indikační led řízené obvodem 74HC595

5.4.1 Sériová linka RS-232

Jde o rozhraní pro přenos informací vytvořené pro komunikaci dvou zařízení. Původně byla podle specifikací maximální délka kabelového vedení linky 20m s maximální rychlostí 19200b/s při použití kabelů s kapacitou 2500pF. Postupně bylo dosaženo lepších výsledků díky využití kabelů s kapacitou pod 1000pF, maximální vzdálenost vzrostla až na 50m s maximální rychlostí na 115200 b/s.

Linka RS-232 je málo odolná vůči rušení, a proto se informace po vodičích přenáší větším napětím než je standartních 5V, nejčastěji se používá +10V pro logickou 0 a -10V pro logickou 1. Také se doporučuje používat stíněný kabel. Přenos dat probíhá asynchroně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizuje se sestupnou hranou startovního impulzu. Pro propojení se nejčastěji používají konektrory Cannon 25, Cannon 9 a RJ45.

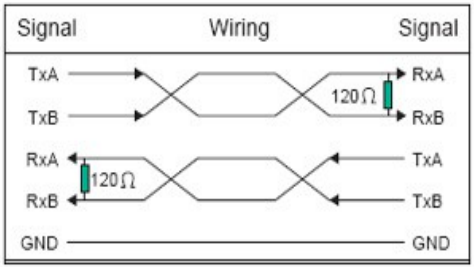
Sériová linka RS-232 obsahuje v plném zapojení celkem devět signálů: *DCD - Data Carrier Detect* - slouží pro detekování nosného kmitočtu, *RXD - Receive Data* - tok dat z modemu do terminálu, *TXD - Transmit Data* - tok dat z terminálu do modemu, *DTR - Data Terminal Ready* - signál oznamující modemu, že je terminál připraven komunikovat, *SGND - Signal Ground* - signálová zem, *DSR - Data Set Ready* - signál oznamující terminálu, že je modem připraven komunikovat, *RTS - Request to Send* - signál oznamující modemu, že je komunikační cesta volná, *CTS - Clear to Send* - signál oznamující terminálu, že je komunikační cesta volná, *RI - Ring Indicator - signál zvonění.* V minimální konfiguraci stačí pro propojení dvou zařízení tři vodiče, RXD, TXD a GND, ostatní signály se nevyužívají [16].



Obr.č. 46: Příklad minimálního zapojení RS-232 [17]

5.4.2 Sériová linka RS-422

Sériová linka RS-422 se používá zejména pro rozšíření maximální přenosové vzdálenosti linky RS-232, a to až na 1600m při použití vodičů s kapacitou do 65pF/m. Při rozšíření linky RS-232 v minimální konfiguraci se používá jeden pár vodičů pro signál RXD a druhý pár vodičů pro signál TXD. Vedení je realizováno nejlépe stíněnou kroucenou dvojlinkou a je ukončeno zakončovacími odpory o velikosti 120 Ω. Vodiče jsou buzeny v protifázi a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl, díky tomu se odstraní součtové rušení. Nemění se nic na způsobu komunikace a není nutný ani zásah do software [16].

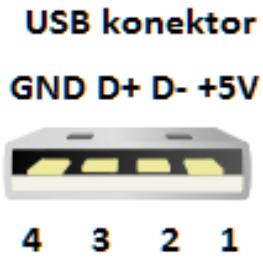


Obr.č. 47: Příklad zapojení linky RS-422 [18]

5.4.3 Sériová linka USB

Linka USB (Universal Serial Bus) je nejnovějším standardem pro sériový přenos dat. Dosahuje rychlostí až 1,5 Mbit/s – USB1.1, 480 Mbit/s – USB2.0, 5Gbit/s – USB3.0, umožňuje připojení až 127 zařízení na jediný kořenový rozbočovač, a zajišťuje 5V napájení pro připojení zařízení umožňující odběr až 0,5 A. Jednotlivé standardy jsou vzájemně kompatibilní, a lze připojovat zařízení s rozhraním USB1.1 k rozbočovači USB2.0 a naopak přenosová rychlost potom dosahuje rychlosti pomalejšího řadiče. Uvedené verze se od sebe liší, jak provedením kabelu, tak elektrickými parametry rozhraní připojeného zařízení.

Rozhraní USB2.0 využívá čtyřvodičového připojení, kde dva vodiče slouží pro napájení zařízení a dva tvoří datový pár. K propojení jednotlivých zařízení slouží řada různých konektorů, kdy nejznámějším je konektor A, který je zobrazen na Obr.č. 48 [16].

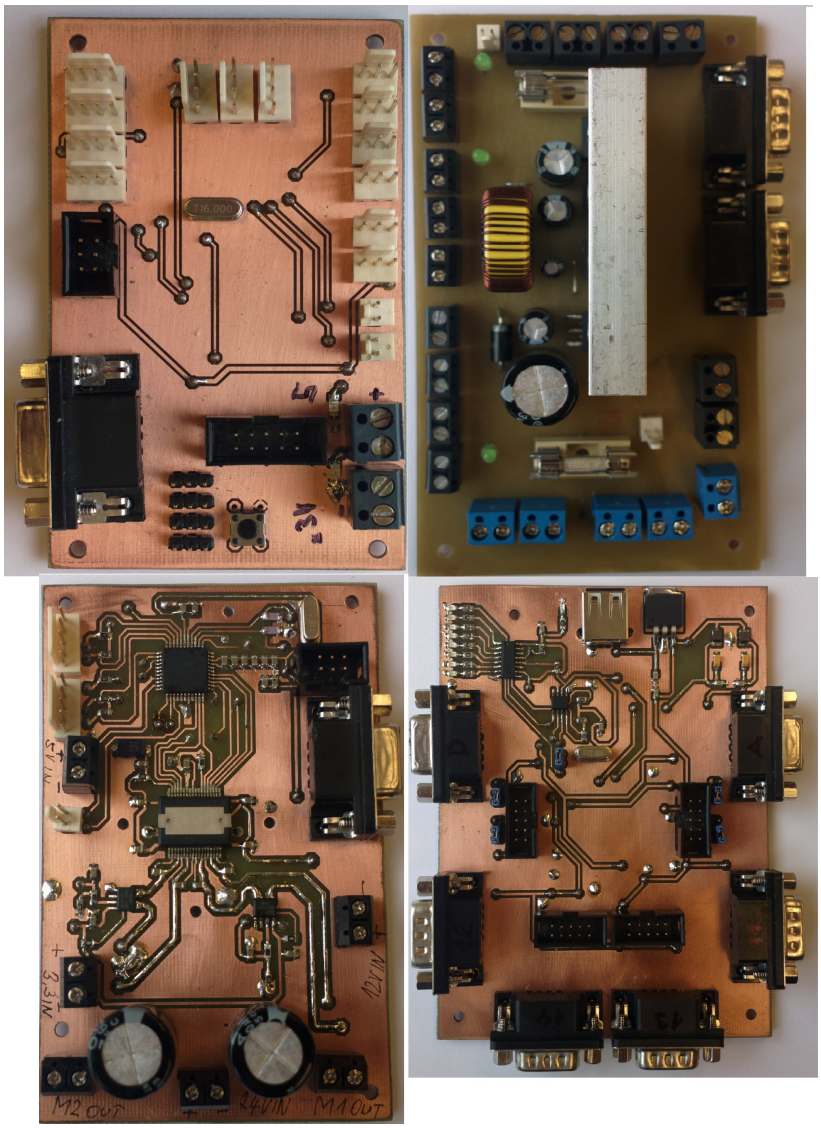


Obr.č. 48:Konektor USB A

5.5 Výroba DPS

Návrh všech schémat, následné rozmístění součástek na deskách a vytvoření předloh pro tisk bylo provedeno v programu Eagle 6.2.0. Předlohy byly v grafickém studiu CTP tisk vytisknuty na filmovou fólii použité pro osvícení oboustranného fotocitlivého kuprextitu (u

zdrojové desky byl použit pouze jednostranný fotokuprextit) pomocí led UV lampy. Následně byl osvícený kuprextit pomocí vývojky vyvolán a poté vyleptán v roztoku chloridu železitém. Každá takto vytvořená deska byla umyta, obroušena a nalakována lakem usnadňujícím pájení. Po navrtání potřebných děr do desek byla postupně každá osazena jednotlivými součástkami. Jejich rozmístění bylo provedeno s ohledem na doporučení výrobců uváděných v katalogových listech a také tak, aby bylo možné na součástky, které se více zahřívají připevnit chladič. Šířka vodivých cest desek byla volena podle tabulek proudové zatížitelnosti [27]. Vodivé cesty používané pro přenos velkých proudů byly navíc ještě pocínovány. Poté byly desky očištěny od přebývající kalafuny a zalakovány lakem odolávajícímu korozy měděné vrstvy kuprextitu. Po vyrobení požadované kabeláže, potřebné pro propojení jednotlivých desek, pohonů a snímačů byla provedena kontrola funkčnosti jednotlivých součástek. Poté byly desky připraveny na nahrání firmwaru a zprovoznění.



Obr.č. 49: Osazené desky plošných spojů

6 UMÍSTĚNÍ A UCHYCENÍ SNÍMAČŮ A ELEKTRONIKY

Umisťování snímačů a jejich uchycení bylo prováděno ve spolupráci se studentem Bc. Vojtěchem Havlíčkem z důvodů výše popsaných. Stejně tak uchycení a umístění elektroniky bylo nutné navrhovat s ohledem na obě diplomové práce, vzhledem k tomu že dvě elektronické desky, konkrétně zdrojová a senzorová a všechny snímače budou zůstávat na robotu neustále, kdežto desky pohonová a převodníková společně s řídící jednotkou, miniaturním počítačem Raspberry Pi, budou podle potřeby použití měněny za programovatelný automat. Z tohoto důvodu bylo navrženo řešení umístění a uchycení těchto prvků tak, aby byla jejich výměna co nejjednodušší. Zároveň jde o řešení, u kterého nebylo nutné vrtání do nerezové konstrukce robotu, případně byly využity díry již vyvrtané z předchozích úprav konstrukce. Díky tomu nedošlo k omezení pevnosti, tuhosti a nosnosti konstrukce.

6.1 Umístění a uchycení laserového dálkoměru SICK LMS 291

U původní konstrukce robotu byl laserový dálkoměr umístěn v přední části konstukce kostry robotu a byl přichycen pomocí hliníkové desky, jak již bylo popsáno v kapitole 3.2.6. Toto řešení bylo výhodné, dálkoměr byl v optimální pozici pro skenování a výsledky neovlivňovala žádná z částí kostry. Nevýhodou bylo, že dálkoměr zabral celou přední část kostry, v prostoru pod ním byl umístěn pouze servomotor řízení. Proto, aby bylo pod dálkoměrem více místa, bylo rozhodnuto vyrobit novou uchycovací desku, která je o 30mm delší, má tedy rozměry 270x155mm, jinak stejnou jako byla původní. Jediným rozdílem je odlehčovací otvor za zády dálkoměru o průměru 10mm, ten však nemá žádnou jinou funkci. Deska je vyrobena z materiálu *Corian* o tloušťce 12mm. Jedná se o pevný materiál označovaný jako „umělý kámen“ který má vynikající vlastnosti. Lze jej jednoduše obrábět, podobně jako dřevo nebo plast, lze jej ohýbat za tepla nebo do něj vyřezávat závity. Výrobní výkres této desky je umístěn v přílohách. Díky takto upravené desce vznikl pod dálkoměrem prostor pro případné další elektronické desky pro rozšiřování funkcí robota nebo jiné komponenty. V našem případě je v tomto prostoru umístěna 6V baterie k napájení servomotoru řízení. K umístění baterie bylo nutné vyrobit dno, které by pasovalo do této části konstrukce. To je vyrobeno z plexi skla o tlouštce 8mm, do kterého jsou vyřezány 4 závitové díry M3 tak, aby jej bylo možné přichytit ke kontrukci.

6.2 Umístění a uchycení ultrazvukových snímačů

Ultrazvukové snímače jsou umístěny na nosné konstrukci, vyrobené opět z materiálu *Corian*, o tloušťce 6mm. Konstrukce má tvar natáhlého velkého písmene H, kdy na každé straně je zevnitř zapuštěn ultrazvukový snímač do předvrtaných děr a je upevněn pomocí dvou šroubků M2 a distančních sloupků. Část této konstrukce je navíc na každé straně ohnuta tak, aby snímač směřoval s ohledem na jeho vyzařovací úhel 55°, ne přímo před robota, ale mírně na pravou, respektive na levou stranu. Přesný úhel tohoto ohnutí byl zvolen experimentálně tak, aby nedocházelo k detekci předního kola při jeho maximálním natočení. Díky tomu je snímána oblast nejenom před robotem, ale i přední část vpravo, respektive přední část vlevo. K upevnění této konstrukce je využito dvou děr v přední části rámu kostry robota, které původně sloužily pouze pro gumové nárazníky. Díky tomu že nárazníky měly dostatečně dlouhý uchycovací šroub, lze jimi celou konstrukci připevnit a nárazníky jsou jako bezpečnostní prvek zachovány. Výrobní výkres této konstrukce je umístěn v přílohách.

Obr.č. 50: Model konstrukce uchycení ultrazvukových snímačů

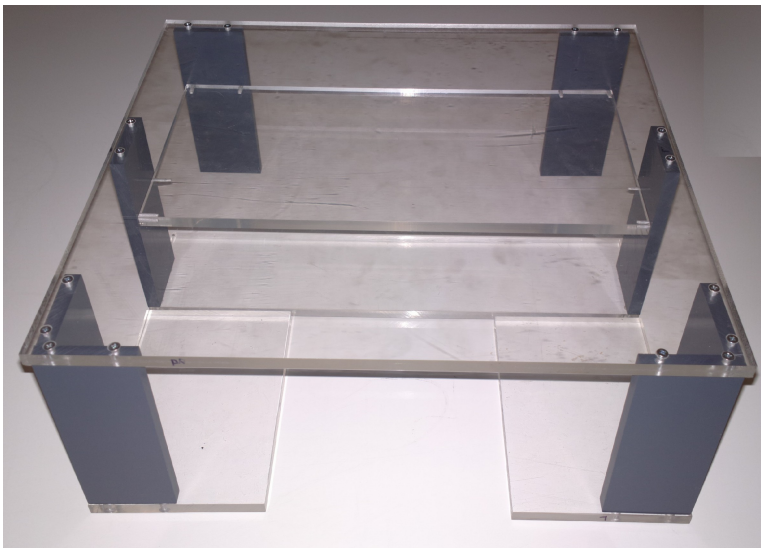
6.3 Umístění a uchycení snímače MinIMU-9

Inerciální senzorová jednotka je umístěna ve středu robota na mezipatře z toho důvodu, aby byla co možná nejdále od magnetických a kovových částí robota. Připevněna je pomocí montážní díry šroubem M2 do vyřezané závitové díry v plexisklovém mezipatře, přesně v jeho středu v příčném pohledu a na jeho předním okraji v podélném pohledu.

6.4 Umístění a uchycení elektroniky

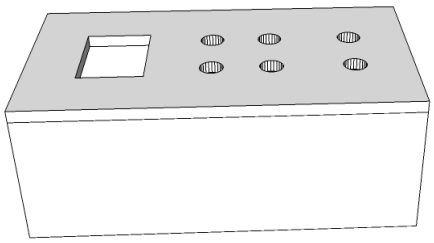
Veškerá elektronika, tedy vyrobené desky a řídící jednotka, případně programovatelný automat je umístěna v zadní části kostry, která je rozdělana na další tři části, a to zadní část se stejnosměrnými pohony, prostřední část a přední část, která je v polovině rozdělena kovovou hřídelkou ložiskového kloubu. Z každé strany této hřídelky je umístěna jedna 12V baterie, která drží díky tomu, že je tato část kostry vyrobena z nerezových profilů tvaru L. Nebylo tedy nutné dávat pod baterie dno podobně jako u 6V baterie v přední části robotu. Dno držící opět díky L profilu kostry, však bylo umístěno hned těsně vedle každé z těchto dvou baterií, vyrobené opět z plexi skla o tloušťce 8mm. Vznikl tak prostor o rozměrech 100x150 mm na každé straně pro případné umístění budoucích rozšiřujících komponent. Výhodou tohoto řešení je, že tyto dna pevně drží 12V baterie, které jsou k nim z jedné strany pevně přitisklé a z druhé strany se opírají o hřídelku a nemůže tak docházet k jejich pohybu. Prostřední část je vybavena také dnem z plexi skla o tloušťce 8mm. V zadní části jsou umístěny pohony a není tam třeba žádného dna. Prostor byl ještě rozšířen nad celou zadní částí celé kostry robotu. Vzniklo tak patro, které je vyrobeno opět z plexi skla o rozměrech 350x330mm a tloušťce 8mm a k jeho připevnění slouží osm kusů distančních sloupků, šest o rozměru 115x50x9mm a dva umístěné v zadní části, kde není plexisklové dno, o rozměrech 123x50x9mm. Sloupky jsou vyrobeny z plastového materiálu, který je také velmi dobře obrobitelný. Každý slopek má z vrchní i spodní (dva zadní sloupky jen z vrchní) strany vyřezány závitové díry M3, díky kterým je lze připevnit k plexisklovým dnům i k patru. Ty jsou v příslušných místech provrtány průchozími děrami průměru 3mm a zahloubeny. Celkové sešroubování plastových sloupků a částí z plexiskel došlo k dostatečně pevnému upevnění celé plastové konstrukce ke kovové kostře jen díky vzájemnému uložení s přesahem jednotlivých dílů. Nebylo tedy nutné žádné další upevňování ke konstrukci robotu. Díky vytvořenému patru vznikl veliký prostor hlavně pro programovatelný automat, který nabývá po přidání všech rozšiřujících karet větších rozměrů. Programovatelný automat je na tomto patře připevněn pomocí DIN lišty. Mezi prostor nad pohony a nad střední částí robotu je umístěna ještě jedna plexisklová deska. Vzniklo tak mezipatro mezi dnem a vrchním patrem konstrukce. Další možný montážní prostor je tímto rozšířen o plochu o rozměrech 329x160mm. Mezipatro je umístěno ve výšce 70mm nad dnem. Do tohoto plexiskla jsou z boku vyřezány závitové díry M3 přesně v místech dvou zadních a dvou středních distančních sloupků. Sloupky jsou v těchto místech provrtány průchozími děrami. Veškeré elektronické desky a miniaturní počítač Raspberry Pi jsou umístěny právě na tomto mezipatře. Senzorová a převodníková deska z vrchní strany a Raspberry Pi, pohonová a zdrojová deska se spodní strany. Elektronické desky jsou na

mezipatře rozmístěny tak, aby bylo možné bez problému propojit všechny využívané i nevyužívané konektory. V mezipatře jsou ještě vyvrtané tři díry o průměru 15mm, sloužící jako průchody kabeláže. Díky tomuto mezipatru je veškerá elektronika jednoduše přístupná, nezabírá moc místa a použitá kabeláž nemusí být přísíš dlouhá a navíc je elektronika chráněná z vrchní i spodní strany. Na Obr.č.51 je vidět zhotovená prázdná konstukce z plastu a plexiskel ještě před osazením senzorů a elektroniky a před vložením do konstukce robotu.



Obr.č. 51: Plastová konstrukce pro uchycení elektroniky

Na vrchní stranu vrchního patra byla pomocí šroubů M3 umístěna krabička z tvrzeného polystytrénu o rozměrech 130x70x47mm, držící dvoupólový vypínač a obsahující 6 jednotlivých konektorů pro nabíjení baterií. Příslušná kabeláž je svedena ke svorkovnicím zdrojové desky dírou o průměru 8mm vyvrtané v plexisklovém patře.



Obr.č. 52: Model krabičky pro vypínač a nabíjecí konektory

6.5 Umístění a uchycení optických snímačů

Čtyři optické snímače jsou umístěny na čtyřech distančních sloupcích (dvou zadních a dvou středních), každý na jednom sloupku, ve výšce 70mm nad dnem robota. K jejich uchycení je využito děr sloužících právě pro uchycení mezipatra a díky tomu nebylo nutné vytvářet další díry. Zároveň taky nebylo nutné žádné vrtání do kovové konstrukce robotu a nedošlo tak k celkovému oslabení konstrukce. Do každého distančního sloupku nesoucího optický snímač byla vyvrtána průchozí díra o průměru 6mm, sloužící pro přívodní kabeláž.

Pátý snímač je umístěn v přední části robotu a snímá prostor přímo před robotem. K jeho uchycení je využita konstrukce z materiálu *Corian* nesoucí i ultrazvukové snímače. Optický snímač je k této konstrukci přišroubován šrouby M3 do dvou neprůchozích závitových děr.

7 NÁVRH FIRMWARU

Pro programování firmware senzorové desky a pohonové desky bylo využito programátoru UniProg - USB od firmy PKDesign umožňující programovat pomocí příslušného software mikrokontroléry mimo jiné i dvouvodičovým rozhraním PDI. Samotný návrh a tvorba firmware proběhla v jazyku C pomocí software firmy Atmel – Atmel Studio 6 který zahrnuje nadstavbu ASF (Atmel Software Framework). ASF je nástroj pro vývoj nových aplikací, zahrnující velké množství příkladů použití s dokumentací k různým periferím.

7.1 Firmware pohonové desky

Mikrokontrolér ke své činnosti využívá jako zdroj hodinové frekvence externí 16MHz oscilátor, jehož kmitočet je pomocí PLL zdvojnásoben na námi použitých 32MHz.

Pro řízení otáček a směru stejnosměrných pohonů je využito signálů PWM, generovaných pomocí periférie Timer/Counter, s frekvencí 32kHz. Timer/Counter obsahuje nadstavbu AWEX [26], používanou právě pro řízení různých typů motorů. Jeho vstupem je PWM signál generovaný periferií Timer/Counter, který je rozdělen na dvě identické větve, z nichž je jedna invertovaná. Takto upravený signál PWM je připojen pomocí jednoho registru na H-můstek, u kterého je využito spínání pomocí „střídaného řízení“.

Pro řízení pohonů bylo navíc potřeba zajistit, aby při zatáčení přední nápravy nedocházelo k otáčení obou hnacích kol stejnou rychlostí, ale aby se jejich rychlost poměrově měnila v závislosti na úhlu natočení přední nápravy. K řešení tohoto problému slouží elektronický diferenciál, pro jehož výpočet bylo ve středu zadní nápravy zavedeno imaginární kolo, jehož rychlost se zadává pomocí střídy. Tato hodnota střídy s_s je vypočítaná tak, aby při maximálním natočení předního středního imaginárního kola, popsaného v kapitole 3.2.2, které je $\varphi_3 = 26°$, hodnota vypočítaných stříd pravého nebo levého kola s_R , s_L nepřesáhla hodnotu 1. Při střídě imaginárního kola $s_s = 0{,}8$ a maximálním natočení přední naprávy, dosáhne střída rychlejšího kola hodnoty 0,9951. Jednotlivé hodnoty stříd pro pohony se počítají podle vzorců [5]:

$$s_L = \omega_S \cdot \left(r - \frac{D_Z}{2}\right) \quad ; \quad s_R = \omega_S \cdot \left(r + \frac{D_Z}{2}\right)$$

kde s_L a s_R jsou střídy levého a pravého pohonu,

ω_S je úhlová rychlost zadního imaginárního kola vypočítaná $\omega_S = \frac{s_s}{r}$,

r je poloměr otáčení vypočítaný jako $r = \frac{L}{tg(\varphi_3)}$, L je vzdálenost náprav,

a D_Z je vzájemná vzdálenost zadních kol.

Pro ovládání servomotoru řízení je využit opět signál PWM, tentokrát s frekvencí 50Hz. Natočení servomotoru je dáno šířkou kladného impulzu, tj. střídou. Při šířce tohoto impulzu 1,5ms je natočení nulové, při 0,6ms je natočení +90° a při 2,4ms je natočení -90°. Do registru CCx, který udává střídu, byly napočítány hodnoty podle délky impulzů a z nich pak závislost úhlu natočení servomotoru na změně této hodnoty. Při změně v CCx o 5, dojde k natočení servomotoru o 1°. Při maximálním možném natočení 26° je tak hodnota $CCx_{max} = 880$ a $CCx_{min} = 620$ [5].

Pro zpracování kvadraturních signálů z inkrementálních snímačů je využita funkce kvadraturního dekodéru Xmegy, podrobně popsaném v [26]. Jejich hodnoty jsou po zpracováním tímto dekodérem počítány a výsledky, tj. vzdálenosti které ujelo pravé nebo levé kolem jsou zaznamenávány pro případné použití řídící jednotkou.

Pro komunikaci slouží linka RS-232, jejíž zapojení je popsané v kapitole 5.3. K jejímu zprovoznění byl použit USARTC0 na pinech PC2 a PC3. Pomocí ASF Wizard byly přidány všechny potřebné služby (USART service), kde se provedlo nastavení příslušných pinů a použitých typů USARTu. Pro úspěšné navázání komunikace mezi jednotlivými moduly je mimo jiné nutné, aby vysílač a přijímač měli stejnou komunikační rychlost, paritu a stop bity.

7.2 Firmware senzorové desky

Senzorová deska je obsluhována jednoduchým kooperativním operačním systémem (scheduler) postaveném na principu časové fronty úloh, které mají být v daném čase vykonány. Pro implementaci tohoto systému jsou využity datové struktury, inicializační funkce, funkce přerušení, funkce pro přidávání a odebírání úloh z fronty, funkce zaručující provedení funkce, která má být spuštěna.

Na začátku řízení se inicializuje časovač, který v pravidelných intervalech 1ms, pomocí přerušení, obsluhuje celý systém. Fronta úloh má definovaný rozsah a je tvořena polem ukazatelů na funkce, v našem případě je jím pouze časový údaj. Po vykonání funkce je tato funkce odstraněna z fronty úloh.

Pomocí knihoven ASF byla implementována obsluha I2C sběrnice a zpracování dat analogových vstupů. Data jsou odesílána buď v pravidelných periodách nebo na vyžádání a po jejich zpracování je vytvořen tkz. datagram.

Komunikace je vyřešena stejně jako u pohonové desky, pouze s tím rozdílem, že byl použit USARTD1 na pinech PD6 a PD7. Komunikace je použita pro odesílání datagramů s daty ze senzorů, a pro přijímání příkazů z řídící jednotky, pro jejichž zpracování je použit syntaktický analyzátor, který je zařazuje do fronty úloh.

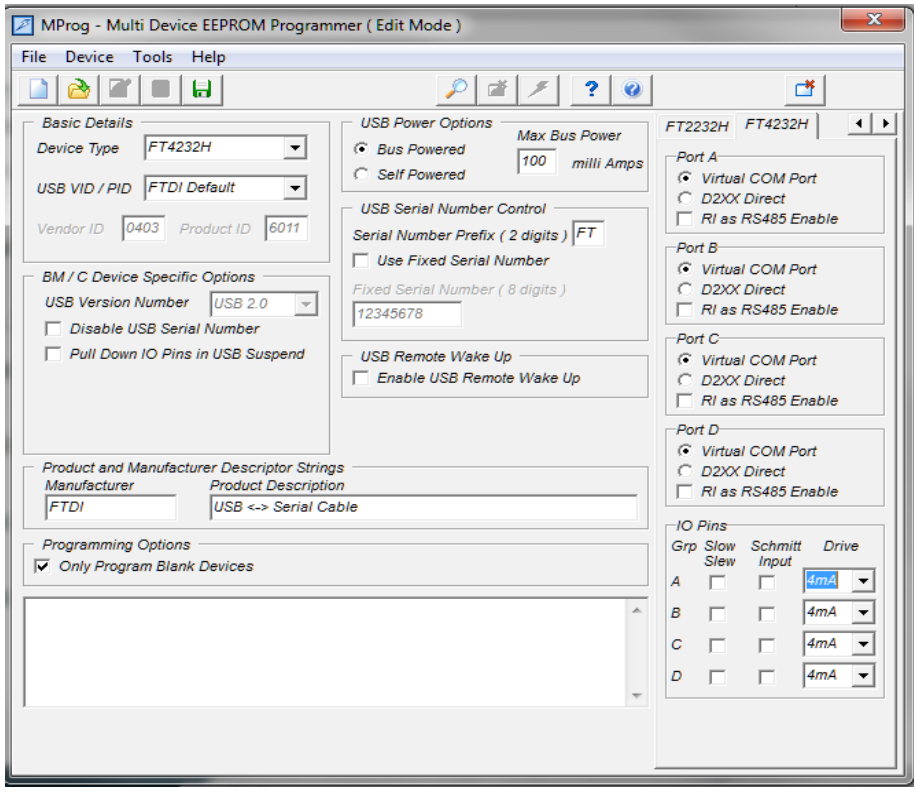
Příkazy, které je možné posílat přes RS-232 :

sask.....Nastavení režimu „na vyžádání“ (data jsou vyčítána až po zaslání požadavku)
scont.....Nastavení kontinuálního režimu (data ze senzorů jsou načítána neustále)
sper.....Nastavení periody kontinuálního měření [ms] (pro testovací účely)
rall.....Žádost o zaslání dat ze všech senzorů
ro.....Žádost o zaslání dat ze všech IR senzorů vzdálenosti
ru.....Žádost o zaslání dat ze všech ultrazvukových senzorů vzdálenosti
rmin.....Žádost o zaslání dat z inerciální senzorové jednotky MinIMU-9 v2
ro1.....Žádost o zaslání dat z 1. IR senzoru vzdálenosti
ro2.....Žádost o zaslání dat z 2. IR senzoru vzdálenosti
ro3.....Žádost o zaslání dat z 3. IR senzoru vzdálenosti
ro4.....Žádost o zaslání dat z 4. IR senzoru vzdálenosti
ro5.....Žádost o zaslání dat z 5. IR senzoru vzdálenosti
ru1.....Žádost o zaslání dat z 1. ultrazvukového senzoru vzdálenosti
ru2.....Žádost o zaslání dat z 2. ultrazvukového senzoru vzdálenosti
sdef.....Nastavení výchozích hodnot
saccr.....Nastavení rozsahu akcelerometru
smagr....Nastavení rozsahu kompasu
sgyrr.....Nastavení rozsahu gyroskopu

Výchozí hodnoty parametrů (např. povolené rozsahy) jsou uložené v paměti EEPROM mikrokontroléru a lze je upravovat podle potřeby. Firmware senzorové desky byl navrhován společně se studentem Bc. Vojtěchem Havlíčkem.

7.3 Firmware převodníkové desky

Integrovaný obvod FT4232HL umístěný na převodníkové desce lze pomocí připojené paměti EEPROM nastavit do různých módů pomocí programu MPROG. Pokud by paměť EEPROM na desce nebyla zapojena, bude obvod FT4232HL vytvářet z jednoho portu USB čtyři asynchronní sériové linky. Toto je přesně to řešení, jaké je pro naše použití potřeba. Obvod FT4232HL tedy nebylo potřeba žádním způsobem nastavovat a je funkční ihned po přivedení napájení. Pro případ budoucího využívání desky jiným, než navrženým způsobem je možné paměť EEPROM zapnout pomocí zkratovací propojky, nastavit obvod FT4232HL podle aktuálních požadavků a využívat kompletně vyvedené porty na konektorech ML10. Typické aplikce jsou například převody z jednoho portu USB na 4xUART (RS-232, RS422 nebo RS485), 2xJTAG a 2xUART, 1xSPI a 1xJTAG a 2xUART, 2xI2C a 2xUART a další možnosti uvedené v [22].

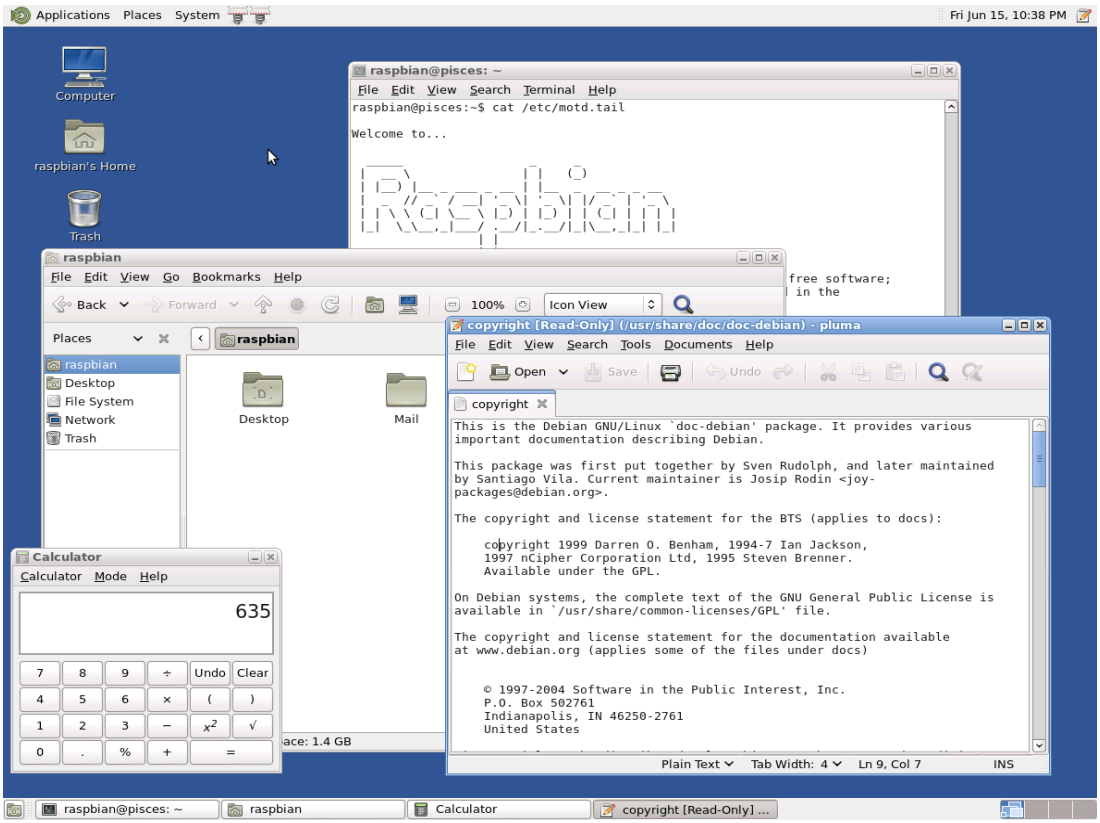


Obr.č. 53: Jednoduché prostředí programu MPROG

7.4 Raspberry Pi

Na paměťovou SD kartu o velikosti 16GB, použitou u miniaturního počítače Raspberry Pi byl nahrán operační systém Raspbian „wheezy“, ve verzi 2013-02-09. Jde o upravený operační systém Debian s prostředím podobným systému Windows, který je optimalizován pro hardware počítače Raspberry Pi. V tomto operačním systému lze spustit jednoduchý terminálový program vytvořený pomocí jazyka C a zkompilovaný pomocí GCC Compiler programu a otestovat tak funkčnost všech částí robotu, jako jsou základní pohyby

vpřed, vzad a zatáčení, komunikaci se senzorovou deskou pro získání dat ze senzorů a komunikaci s laserovým dálkoměrem.



Obr.č. 54: Prostředí Raspbian [23]

8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh a realizace elektroniky pro zpracování dat ze senzorů a návrh a realizace elektroniky pro řízení stejnosměrných motorů čtyřkolového mobilního robotu, který bude v budoucnu používán na mapování a lokalizaci prostředí. Mechanická konstrukce včetně osazených pohonů byla vytvořena v předchozích letech v rámcí závěrečných prací studentů Bc. Šimona Vrátila a Ing. Michala Deďa.

V první části práce bylo nutné seznámit se s různými konstrukcemi mobilních robotů. Z celé řady více či méně propracovaných čtyřkolových robotů jsem v práci uvedl tři typy, které mají podobné konstrukce podvozků a jejich řízení a použití jako námi upravovaný robot. Seznámení se s těmito konstrukcemi a pochopení principů jejich činnosti bylo přínosné pro další postup této diplomové práce.

V další části jsem se seznámil s robotem z laboratoře A1/731a. Ten obsahoval dva inkrementální snímače na pohonech robotu a jeden laserový snímač vzdálenosti. Tyto snímače byly zachovány i pro naše řešení. Samotná kovová konstrukce byla důmyslně řešena a nebylo třeba ji nijak upravovat. Bylo však nutné upravit uchycení laserového dálkoměru, který byl uchycen na hliníkové desce. Tato deska byla nahrazena za podobnou, pomocí které je celý snímač umístěn o 30mm výše. Díky tomu pod ním vznikl prostor pro uložení periferií.

V další části jsem shrnul vlastnosti miniaturního počítače Raspberry Pi, který slouží jako řídící jednotka robotu. Zde bylo nutné zjistit, zda je tento počítač pro řízení robotu vhodný, zejména z důvodu dostatečného počtu vstupních a výstupních portů, kterými lze k počítači připojovat periferie. Tento problém byl vyřešen návrhem a realizací převodníkové desky, která převádí jedinou linku USB na čtyři samostatné sériové linky. Tato deska byla vytvořena spíše proto, aby bylo možné připojit laserový dálkoměr pomocí sériové linky RS-422, díky které dokáže dálkoměr komunikovat větší rychlostí. Tento převodník by musel pro účel komunikace s dálkoměrem v nějaké formě vzniknout za jakýchkoliv okolností a proto bylo vhodné jej rozšířit a navrhrhnout tak, aby zvýšil počet sériovích linek, kterými se dají připojovat periferie k počítači Raspberry Pi.

Pro účely mapování byl robot rozšířen o dva ultrazvukové a pět optických snímačů vzdálenosti a jednu jednotku zahrnující akcelerometr, gyroskop a kompas. Data z těchto snímačů zpracovává senzorová deska pomocí mikrokontroléru Xmega, na jejímž návrhu jsem spolupracoval se studentem Bc. Vojtěchem Havlíčkem, který používal stejnou kostru robota a stejné snímače pro řešení své diplomové práce. Ve stejné spolupráci probíhala i výroba plastové kontrukce pro uchycení společných částí robotu a konkrétní rozmístění všech prvků. Stejně, tak bylo nutné vymyslet rozvod napájení ze dvou 12V olověných akumulátorů k jednotlivým částem robotu. K tomu jsme společně navrhli zdrojovou desku. Při jejím návrhu jsme řešili problém s napájením servomotoru řízení, pro které bylo obtížné vytvořit vhodné zapojení. Tento problém jsme vyřešili přidáním dalšího 6V olověného akumulátoru určeného pouze pro napájení právě servomotoru řízení.

Pro řízení motorů jsem vytvořil pohonovou desku, která zahrnuje jeden duální H-můstek řízený PWM signály, které generuje další mikrokontrolér Xmega. Tato deska stejně tak generuje signál PWM pro servomotor řízení a zpracovává informace z obou inkrementálních snímačů. Komunikace pohonové desky a senzorové desky s řídící jednotkou je řešena pomocí linky RS-232 právě s využitím převodníkové desky.

Firmware senzorové a pohonové desky byl vytvořen pomocí programu AVR Studio 6.0 s využitím nadstavby Atmel Software Framework, která zahrnuje ukázkové příklady všeho druhu ze kterých se dá více méně vycházet. Při návrhu firmware pro senzorovou desku byla například řešena otázka I2C sběrnice a USART komunikace a u pohonové desky například generování PWM signálů, řešení elektronického diferenciálu, dekódování signálů z

inkrementálních snímačů a další. Pomocí řídící jednotky byla funkčnost celého zapojení otestována.

Celou práci jsem řešil s ohledem na její budoucí rozšiřitelnot. Při návrhu elektroniky jsem počítal s možným přidáním dalších komponent, které lze připojit různými způsoby, například pomocí sériových linek RS-232, RS-422, USB nebo pomocí I2C sběrnic či anologových vstupů. Robota lze díky tomu rozšířit například přidáním videokamery nebo konstrukce umožňující otáčení laserového dálkoměru.

Robota, ať už celého, nebo jednotlivé moduly lze v součastnosti využít jako pomůcku do vyučování nebo pro prezentaci ústavu.

Díky diplomové práci jsem se dozvěděl spoustu nových informací o elektronice, mechanice, informatice a v neposlední řadě jsem se seznámil s klady i zápory týmové spolupráce. Celou práci hodnotím jako pro mě velmi přínosnou.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1]KELEMENOVÁ, Tatiana, Michal KELEMEN a Michal FABIAN. Inspekční pyrotechnický robot
– nasazuje život za nás. Dostupné z: http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2248-inspekcni-pyrotechnicky-robot-nasazuje-zivot-za-nas.html,

[2]http://robot.vsb.cz. [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/hercules,

[3]RUDA, Aleš. ARbot. Http://www.arbot.cz [online]. 2008. vyd. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: http://www.arbot.cz/2008/10/default.aspx,

[4]VRÁTIL, Š. Návrh a konstrukce autonomního robotu Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 49s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.,

[5]DEĎO, M. Řízení čtyřkolového mobilního robotu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.,

[6]All science fair projects. Ackermann geometry [online]. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: http://www.all-sciencefairprojects.com/science_fair_projects_encyclopedia/Ackermann_steering_geometry,

[7]MicoMouseInfo.com [online]. 2001 [cit. 2013-03-30]. DC Motors. Dostupné z WWW: <http://www.micromouseinfo.com/introduction/dcmotors.html>,

[8]http://www.odbornecasopisy.cz [online]. 2011 [cit. 2013-03-30]. Odbornecasopisy. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26250>,

[9]www.sick.com. SICK [online]. [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=344&List=1&Category=Produktfinder&Selections=,

[10]pc-android. Http://www.pc-android.cz [online]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: http://www.pc-android.cz/raspberry-pi/raspberry-pi-model-b-512mb/,

[11]Raspberry Pi. Raspberry Pi [online]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: http://www.raspberrypi.org/,

[12]Robot Electronics. www.robot-electronics.co.uk [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.shtml,

[13]HW. www.hw.cz [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeprom-24lc256,

[14]Sharp. www.sharpsme.com [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.sharpsme.com/optoelectronics/sensors/distance-measuring-sensors/GP2Y0A02YK,

[15]Pololu. www.pololu.com/ [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.pololu.com/catalog/product/1268,

[16]HW. www.hw.cz [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html,

[17]Picprojects. www.picprojects.net [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://www.picprojects.net/rs232_communication/,

[18]Root. www.root.cz [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://www.root.cz/clanky/sbernice-rs-422-rs-423-a-rs-485/,

[19]Atmel. www.atmel.com [online]. [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: http://www.atmel.com/devices/atxmega16a4.aspx?tab=parameters,

[20]Eurobot. WWW.EUROBOT.CZ. [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: www.eurobot.cz/Workshop2006/Rizeni_stejnosmerneho_motoru.pdf,

[21]Texas Instruments. www.ti.com [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8432.pdf,

[22]Ftdichip. www.ftdichip.com [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT4232H.htm,

[23]Raspbian. www.raspbian.org [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.raspbian.org/RaspbianMate,

[24]Raspberry Pi. [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.raspi.cz,

[25]Atmel. www.atmel.com [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: www.atmel.com/dyn/resources/prod_ documents/doc8077.pdf,

[26]BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. Mikroprocesorová technika: [práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega A4]. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011, ii, [150] s. ISBN 978-80-7300-406-4,

[27]http://www.micro.feld.cvut.cz. [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.micro.feld.cvut.cz/home/zahlava/ppn/prednasky/vlastnosti_DPS.pdf.

PŘÍLOHY

A....CD s elektronickou verzí práce
B.... B1 - popis zapojení zdrojové desky
B2 - popis zapojení senzorové desky
B3 - popis zapojení pohonové desky
B4 - popis zapojení převodníkové desky
C.....C1 - schéma zdrojové desky
C2 - schéma senzorové desky
C3 - schéma pohonové desky
C4 - schéma převodníkové desky
D.....D1 - výrobní výkres desky pro uchycení laserového dálkoměru
D2 - výrobní výkres konstrukce pro uchycení snímačů
E.....Fotografie kompletně osazeného a zapojeného robota