

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

ŘÍZENÍ 4 KOLOVÉHO ROBOTU PROGRAMOVATELNÝM AUTOMATEM

FOUR WHEELED MOBILE ROBOT PLC CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. VOJTĚCH HAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ MARADA, PHD.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vojtěch Havlíček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Řízení 4 kolového robotu programovatelným automatem

v anglickém jazyce:

Four wheeled mobile robot PLC control

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je realizovat řízení 4 kolového mobilního robotu který je umístěn v laboratoři A1/731a pomocí programovatelného automatu firmy Phoenix Contact.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s konstrukcemi 4 kolových mobilních robotů na internetu.
2. Seznamte se s konstrukcí 4 kolového mobilního robotu v laboratoři A1/731a.
3. Seznamte se s programovatelným automatem Phoenix Contact ILC350 a použitými vstupně výstupními kartami.
4. Proveďte návrh a realizaci elektroniky pro získávání informací ze senzorů.
5. Funkčnost realizovaného řešení demonstруйте.

Seznam odborné literatury:

- [1] Švarc, I.; Šeda, M.; Vítečková, M. Automatické řízení. Brno: CERM, 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [2] Noskiewič, Petr. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex, 1999.
- [3] Firemní materiály k programovatelným automatům fy Phoenix Contact.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout řízení čtyřkolového mobilního robotu z laboratoře A/731a pomocí PLC. Pro toto řešení musí být navržena a vyrobena elektronika, která bude provádět sběr a zpracování dat ze senzorů. Tato data budou zasílána do PLC, které bude podle těchto dat řídit robot. Konečné řešení bude prakticky demonstrováno.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to implement the PLC control on existing four wheeled mobile robot from the laboratory A1/731a. For this solution has to be designed and made electronic equipment which will be gathering and processing the data from sensors. This data will be sent to the PLC which will be controlling the robot according to this data. The final solution will be practically demonstrated.

KLÍČOVÁ SLOVA

ILC 150, ATxmega16A4, čtyřkolový robot, SRF08, LSM303DLHC, L3GD20

KEYWORDS

ILC 150, Atxmega16A4, 4 wheel robot, SRF08, LSM303DLHC, L3GD20

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, dle pokynů vedoucího diplomové práce. Všechny podklady, z kterých jsem čerpal, jsou řádně uvedeny v seznamu literatury.

V Brně dne 23.5.2013

.....

podpis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVLÍČEK, V.; *Řízení 4 kolového robotu programovatelným automatem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013, 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Maradovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při řešení a tvorbě diplomové práce. Také bych rád poděkoval Bc. Jiřímu Zatloukalovi za dobrou spolupráci na společné části diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit moji vděčnost firmě Texas Instruments, která poskytla vzorky pro realizaci mé diplomové práce.

Obsah:

	Zadání závěrečné práce.....	3
	Abstrakt.....	5
	Prohlášení o originalitě.....	7
	Seznam obrázků a tabulek.....	11
1	Úvod.....	13
2	Rozbor problému.....	15
3	Konstrukce čtyřkolových robotů.....	17
3.1	Čtyřkolové podvozky.....	17
3.1.1	Diferenciální podvozek.....	17
3.1.2	Diferenciální všesměrové podvozky.....	17
3.1.3	Synchronní podvozek.....	19
3.1.4	Ackermannův podvozek.....	19
3.1.5	Souhrn nepoužívanějších konceptů podvozků.....	20
3.1.6	Speciální outdoorové podvozky.....	20
3.2	Druhy kol.....	21
3.2.1	Klasické kolo.....	21
3.2.2	Všesměrová kola.....	21
3.2.3	Weinsteinovo kolo.....	22
3.3	Elektrická část.....	22
3.3.1	Pohonový subsystém robotu.....	22
3.3.2	Senzorický subsystém robotu.....	23
3.3.3	Řídicí subsystém robotu.....	23
4	Seznámení s konstrukcí upravovaného robotu.....	25
4.1	Mechanická část.....	25
4.1.1	Kostra robotu.....	25
4.1.2	Mechanismus řízení.....	26
4.1.3	Uchycení laserového dálkoměru SICK LMS 291.....	26
4.1.4	Uchycení pohonových motorů.....	27
4.1.5	Uchycení inkrementálních snímačů HEDS-5500-A11.....	27
4.2	Elektrická část.....	27
4.2.1	Pohony kol.....	27
4.2.2	Servomotor řízení Hitec HS-5745MG.....	28
4.2.3	Laserový dálkoměr SICK LMS 291.....	28
4.2.4	Inkrementální snímač HEDS – 5500 – A11.....	29
4.2.5	Akumulátory.....	29
5	Návrh PLC a rozšiřujících karet.....	31
5.1	Seznámení s PLC ILC 350 ETH.....	31
5.1.1	Základní parametry programovatelného automatu ILC 350.....	31
5.2	Seznámení s PLC ILC 150 ETH.....	32
5.3	Volba rozšiřujících modulů programovatelného automatu řady ILC.....	33
5.3.1	Modul pro snímání dat z inkrementálního enkodéru.....	33
5.3.2	Modul pro sériovou komunikaci RS232.....	34
5.3.3	Modul pro ovládání servomotoru řízení.....	35
5.3.4	Servozesilovač IB IL DC AR 48/10A.....	36
5.4	Volba řešení.....	37
6	Senzorický subsystém.....	39
6.1	Infračervený senzor vzdálenosti GP2Y0A21YK0F.....	39
6.1.1	Princip funkce infračerveného senzoru.....	39
6.1.2	Zapojení senzoru.....	39
6.1.3	Přehled základních parametrů infračerveného senzoru vzdálenosti.....	40
6.2	Ultrazvukový senzor vzdálenosti SRF08.....	40

6.2.1	Základní parametry senzoru.....	41
6.2.2	Zapojení senzoru SRF08.....	41
6.2.3	Komunikace se senzorem SRF08.....	42
6.3	Inerciální sensorová jednotka MinIMU-9 v2.....	43
6.3.1	Schéma zapojení sensorové jednotky MinIMU-9 v2.....	43
6.3.2	Základní parametry jednotky MinIMU-9 v2.....	44
6.4	Volba počtu a předběžného rozmístění jednotlivých senzorů.....	44
7	Návrh elektroniky.....	47
7.1	Obecné požadavky.....	47
7.2	Návrh zapojení.....	47
7.3	Zdrojová deska.....	48
7.3.1	Návrh schématu zdrojové desky.....	48
7.3.2	Návrh a výroba plošného spoje zdrojové desky.....	51
7.4	Sensorová deska.....	52
7.4.1	Schéma sensorové desky.....	52
7.4.2	Návrh a výroba plošného spoje sensorové desky.....	55
8	Úpravy konstrukční části.....	57
8.1	Úprava umístění laserového dálkoměru SICK LMS 291.....	57
8.2	Nosná konstrukce pro programovatelný automat.....	57
8.3	Díl pro upevnění ultrazvukových senzorů SRF08.....	58
8.4	Panel s vypínačem a nabíjecími konektory.....	58
9	Návrh firmwaru.....	59
9.1	Návrh firmwaru pro ATxmega16A4.....	59
9.1.1	Popis práce s Atmel Software Framework.....	59
9.1.2	Základní vlastnosti firmwaru sensorové desky.....	60
9.2	Firmware programovatelného automatu ILC 150.....	62
9.2.1	Elektronický diferenciál.....	62
9.2.2	Ovládání servomotoru řízení.....	62
9.2.3	Komunikace pomocí RS232.....	62
10	Závěr.....	65
	Seznam použité literatury.....	67
	Seznam příloh.....	71

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

- Obr. 3.1** Diferenciální čtyřkolový podvozek. [6]
- Obr. 3.2** Konstrukce čtyřkolového všesměrového mecanum-wheeled podvozku. [7]
- Obr. 3.3** Pohyby mecanum-wheeled podvozku. [7]
- Obr. 3.4** Druhý typ čtyřkolového všesměrového podvozku. [8]
- Obr. 3.5** Kinematický model čtyřkolového synchronního podvozku. [9]
- Obr. 3.6** Čtyřkolový Ackermannův podvozek. [10]
- Obr. 3.7** Nejpoužívanější koncepty podvozků. [13]
- Obr. 3.8** Podvozek s možností vychýlení předních kol. [11]
- Obr. 3.9** Robot Scarab se speciálním uchycením kol. [12]
- Obr. 3.10** a) Kolo Mecanum, b) Klasické všesměrové kolo. [7]
- Obr. 3.11** Podvozek s Weinsteinovy koly. [14]
- Obr. 3.12** Vývojový kit XMEGA-A1 Xplained [16]
- Obr. 3.13** Mini PC Raspberry Pi. [17]
- Obr. 4.1** Výchozí kostra robotu.
- Obr. 4.2** Kostra robotu při překonávání nerovnosti. [1]
- Obr. 4.3** Konstrukce Ackermannova řízení.
- Obr. 4.4** Součást pro uchycení zařízení SICK LMS 291 [2]
- Obr. 4.5** Náboj pro uchycení inkrementálního enkodéru. [2]
- Obr. 4.6** Laserový dálkoměr SICK LMS 291. [22]
- Obr. 4.7** Inkrementální enkodér typu HEDS 5500. [23]
- Obr. 5.1** Programovatelný automat ILC 350 ETH. [24]
- Obr. 5.2** Programovatelný automat ILC 150 ETH. [37]
- Obr. 5.3** Modul pro snímání dat z inkrementálních snímačů. [27]
- Obr. 5.4** Modul pro sériovou komunikaci RS232. [28]
- Obr. 5.5** Modul pro řízení servomotoru. [29]
- Obr. 5.6** Servosilovač IB IL DC AR 48/10 A. [26]
- Obr. 6.1** Infračervený senzor vzdálenosti GP2Y0A21YK0F. [30]
- Obr. 6.2.** Blokové schéma infračerveného senzoru GP2Y0A21YK0F. [30]
- Obr. 6.3** Výstupní charakteristika infračerveného senzoru vzdálenosti. [30]
- Obr. 6.4** Vyzařovací charakteristika senzoru SRF08. [31]
- Obr. 6.5** Schéma zapojení senzoru SRF08. [31]
- Obr. 6.6** Schéma vnitřního zapojení inerciální měřicí jednotky MinIMU-9 v2. [32]
- Obr. 6.7** Schéma zapojení senzorové jednotky MinIMI-9 v2. [33]
- Obr. 6.8** Předběžný návrh rozmístění senzorů.
- Obr. 7.1** Blokové schéma zapojení robotu.
- Obr. 7.2** Schéma zapojení vstupního obvodu 12 V akumulátorů.
- Obr. 7.3** Schéma zapojení stabilizátoru 7812 – STM.
- Obr. 7.4** Schéma zapojení spínaného stabilizátoru LM2576 – T.
- Obr. 7.5** Schéma zapojení signalizačních diod na zdrojové desce.
- Obr. 7.6** Předloha plošného pro výrobu zdrojové desky.
- Obr. 7.7** Vyrobená zdrojová deska.
- Obr. 7.8** Schéma napětového děliče pro vstup z IR senzoru.
- Obr. 7.9** Schéma napětového přizpůsobení I2C sběrnice dle [36].
- Obr. 7.10** Schéma I2C sběrnice na senzorové desce.
- Obr. 7.11** Schéma zapojení převodníku MAX3232CPWR.
- Obr. 7.12** Předloha pro výrobu senzorové desky.
- Obr. 7.13** Vyrobená senzorová deska.
- Obr. 8.1** Nosná konstrukce pro PLC a elektroniku.
- Obr. 8.2** Díl pro upevnění senzorů SRF08.
- Obr. 8.3** Panel s vypínačem a napájecími konektory.
- Obr. 9.1** Ukázka organizace procesních dat pro nastavení PWM modulu.

- Tab. 4.1** Základní parametry motoru GMN6MP026A. [20]
- Tab. 4.2** Základní parametry servomotoru Hitec HS-5745Mg. [21]
- Tab. 4.3** Základní parametry laserového dálkoměru SICK LMS 291. [22]
- Tab. 5.1** Základní parametry programovatelného automatu ILC 350 ETH. [24]
- Tab. 5.2** Základní parametry programovatelného automatu ILC 150 ETH. [37]
- Tab. 5.3** Základní parametry modulu pro snímání dat z inkrementálních snímačů. [27]
- Tab. 5.4** Základní parametry modulu pro sériovou komunikaci RS232. [28]
- Tab. 5.5** Základní parametry PWM modulu. [29]
- Tab. 5.6** Základní parametry servozesilovače IB IL DC AR 48/10A. [25]
- Tab. 5.7** Seznam jednotlivých komponent použitých v řídicí PLC jednotce.
- Tab. 6.1** Tabulka základních parametrů infračerveného senzoru vzdálenosti. [30]
- Tab. 6.2** Základní parametry senzoru SRF08. [31]
- Tab. 6.3** Registry senzoru SRF08. [31]
- Tab. 6.4** Základní parametry senzoru MinIMU-9 v2. [33]
- Tab. 9.1** Seznam dostupných příkazů.

1 ÚVOD

Oblast robotiky je v současné době velice rychle se rozvíjející oblast lidského zájmu, což je způsobeno tím, jak velké výhody tato technologie přináší do lidského života. Počínaje roboty které se nám pravidelně starají o čistotu našich podlah přes roboty které slouží k vyhledávání tržavin až po roboty, které jsou vysílány na mimozemské vědecké mise.

V současné době jsou dvě hlavní skupiny robotů – roboty poháněné koly a roboty kráčejíci. Kolové roboty jsou v současné době více rozšířené díky jejich lehčímu designu a levnější konstrukci. Kráčejíci roboty jsou obtížněji konstruovatelné, zvláště kvůli uchycení jednotlivých pohonových ramen, připojení jednotlivých pohonů ramen a horší synchronizovatelnosti pohybů. Kolové roboty také mají oproti druhé skupině nespornou výhodu v podstatně vyšší rychlosti pohybu.

V mé diplomové práci bude realizováno řízení čtyřkolového mobilního robotu z laboratoře A1/731a. S touto prací navazuji na bakalářskou práci Bc. Vrátila, který navrhnul konstrukci tohoto robotu. Hlavním prvkem tohoto zařízení bude laserový dálkoměr SICK LMS 291, který bude v budoucnosti zajišťovat mapování okolního terénu. Cílem této diplomové práce bude provést návrh a realizaci elektroniky zpracovávající data z navržených senzorů. Data ze senzorů by v budoucnu měla sloužit k autonomnímu řízení robotu. Dalším cílem je řízení robotu pomocí programovatelného automatu ILC 350 firmy Phoenix Contact. Řízení mobilních robotů programovatelným automatem není běžné, avšak v tomto případě bylo řízení automatem navrženo pro případnou účast tohoto řešení na soutěži firmy Phoenix Contact.

V první části práce se seznámíme s jednotlivými typy konstrukcí čtyřkolových mobilních robotů.

V druhé části bude rozebrána konstrukce robotu z laboratoře A1/731a. Zde budou rozebrány jednotlivé použité konstrukční prvky z kterých budeme vycházet. Společně s tímto se zde seznámíme s programovatelným automatem ILC 350 a jeho rozšiřujícími kartami, které budou pro řízení nezbytné.

V následující části bude proveden návrh senzorů, které budou sloužit k budoucí implementaci autonomního řízení. Také zde bude navrženo jakým způsobem a kde budou jednotlivé senzory upevněny.

Další část se zabývá návrhem a realizací elektroniky pro sběr a zpracování dat ze senzorů. Zde bude rozebrán návrh výkonové části, která bude sloužit jako zdroj pro senzorovou desku, programovatelný automat a další zařízení. Senzorová deska bude umožňovat připojení různých typů senzorů jako jsou optické senzory vzdálenosti, digitální ultrazvukové senzory vzdálenosti, akcelerometr, gyroskop atd.. Data ze senzorové desky budou posílány po sběrnici RS232. Zpracování dat a obsluhu komunikace bude zajišťovat 8 bitový mikropočítač firmy Atmel Atxmega16A4. Elektronická část byla za účelem univerzálnosti částečně vytvářena společně s Bc. Jiřím Zatloukalem, který tento robot také využíval k tvorbě své diplomové práce.

V poslední části práce bude rozebrán návrh a funkcionalita firmwaru. Firmware bude navržen jak pro senzorovou desku, respektive pro mikropočítač, tak pro programovatelný automat ILC 350. Firmware senzorové desky bude obsluhovat sběr dat ze senzorů, které budou připojeny na analogové vstupy a I2C sběrnici. Dále bude obsluhovat komunikaci po sběrnici RS232 a nastavení jednotlivých parametrů firmwaru desky. Firmware PLC bude na základě obdržených dat ze senzorové desky ovládat řídicí a pohonové jednotky robotu.

2 ROZBOR PROBLÉMU

Zadání diplomové práce obsahuje následující body ke splnění:

- **Seznamte se s konstrukcemi 4 kolových robotů na internetu.**

S konstrukcemi 4 kolových robotů jsme se podrobně seznámili.

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

S konstrukcí robotu jsme se seznámili skrze práci Bc. Vrátila, který návrh mechanické části robotu provedl jako bakalářskou práci. S dalšími úpravami jsme se seznámili v práci Bc. Ded'a, který na robotu také provedl určité mechanické úpravy.

- **Seznamte se s programovatelným automatem Phoenix Contact ILC350 a použitými vstupně výstupními kartami.**

S programovatelným automatem a použitými vstupně výstupními kartami se seznámíme skrze firemní literaturu firmy Phoenix Contact.

- **Proved'te návrh a realizaci elektroniky pro získávání informací ze senzorů.**

Návrh schémat elektroniky bude probíhat v částečné spolupráci s Bc. Jiřím Zatloukalem, který bude tuto část práce využívat ke své diplomové práci.

- **Funkčnost realizovaného řešení demonstруйте.**

Funkčnost ověříme otestováním všech funkcí robotu pomocí pevně naprogramovaných úkonů.

3 KONSTRUKCE ČTYŘKOLOVÝCH ROBOTŮ

Jednotlivé konstrukce čtyřkolových robotů se nejvíce liší v upevnění jednotlivých kol a typu pohonů. Roboty mohou být zařazeny do 2 základních skupin, roboty určené pro jízdu na rovné podložce a roboty terénní. U robotů, které jsou určeny k jízdě po rovné podložce nejsou zásadní rozdíly v samotné konstrukci. U robotů terénních je rozdílnost jednotlivých řešení znatelná zvláště kvůli různorodosti typu kol a způsobu kompenzace nerovností.

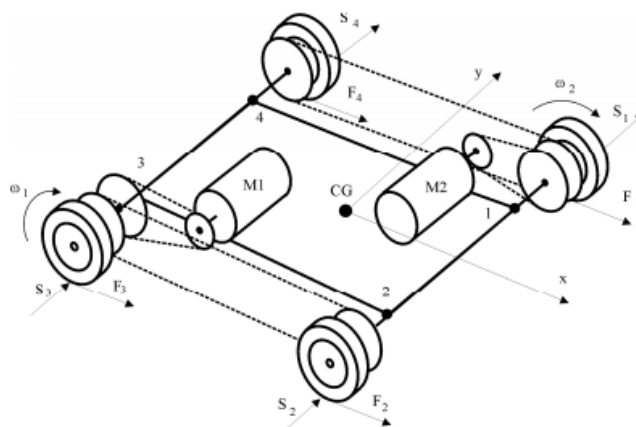
3.1 Čtyřkolové podvozky

Konstrukce podvozků čtyřkolových mobilních robotů jsou velice různorodé a často jsou jednotlivé varianty konstruovány pro specifické použití se speciálními požadavky. V následující části budou rozebrány základní typy podvozků společně s některými speciálními typy.

3.1.1 Diferenciální podvozek

Roboty využívající diferenciální podvozek jsou v robotice velice rozšířené. Tato skupina podvozků se dále dělí na 2 skupiny a to na podvozky pásové a podvozky kolové, kterými se budeme zabývat. Diferenciální se podvozek nazývá proto, že změna směru pohybu je závislá na rozdílu obvodových rychlostí mezi pravým a levým poháněným kolem.

Typický příklad konstrukce tohoto typu podvozku je zobrazen na Obr. 3.1, kde jsou umístěna 4 kola spojená řetězem, který je poháněn dvěma nezávislými motory. Přímočarý pohyb robotu je zajištěn tak, že se oba motory otáčejí stejnou rychlostí a stejným směrem, respektive obvodová rychlost kol na pravé a levé straně robotu je stejná. Zatačení robotu je dosaženo změnou rychlosti jednoho motoru vůči druhému.



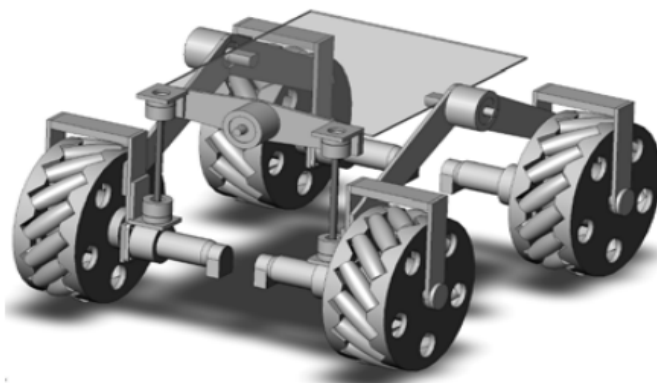
Obr. 3.1 Diferenciální čtyřkolový podvozek. [6]

Výhodou těchto podvozků je jednoduchá a robustní konstrukce, velice dobrá manévrovatelnost a dobrá průchodnost obtížným terénem. Nevýhodou tohoto typu podvozku je jeho vyšší energetická náročnost v závislosti na zvýšeném tření jednotlivých kol při zatačení a relativně složitý model jeho pohybu. [6]

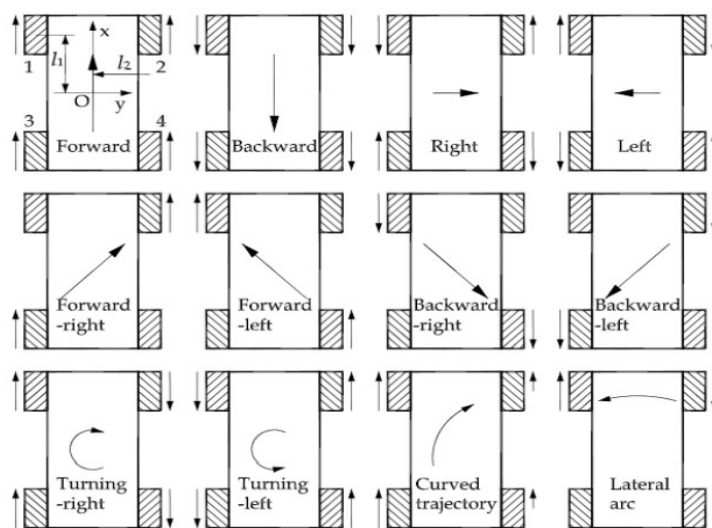
3.1.2 Diferenciální všesměrové podvozky

Dalším typem podvozku, který je blízkým příbuzným čtyřkolových diferenciálních podvozků je všesměrový diferenciální podvozek. Pojem všesměrový znamená, že je robot z aktuálního místa schopen pohybu v jakémkoliv směru. Tento podvozek disponuje lepší manévrovatelností než klasický diferenciální podvozek.

První skupinou všesměrových podvozků jsou Mecanum-wheeled podvozky, které jsou velice podobné klasickým diferenciálním podvozkům. Na rozdíl od klasických diferenciálních podvozků mají nezávisle poháněna všechna kola a jejich všesměrovost je zajištěna speciálními koly, tzv. Mecanum wheels. Konstrukce a princip těchto kol bude rozebrán v kapitole 3.2.2. Ukázka konstrukce tohoto robotu je zobrazena na Obr. 3.2, na Obr. 3.3 je zobrazeno, jakým způsobem se dosáhne všesměrového pohybu. [7]

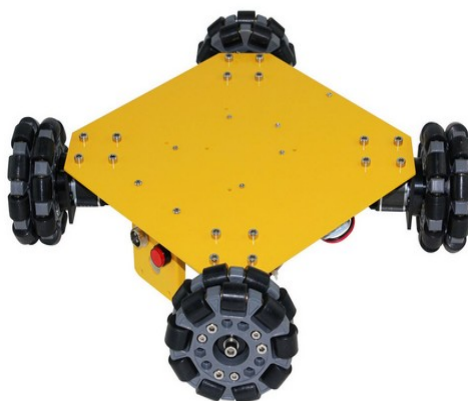


Obr. 3.2 Konstrukce čtyřkolového všesměrového mecanum-wheeled podvozku. [7]



Obr. 3.3 Pohyby mecanum-wheeled podvozku. [7]

Další alternativou všesměrového čtyřkolového diferenciálního podvozku je podvozek, který má kola umístěna dle Obr. 3.4. I zde jsou poháněna všechna kola zároveň, všesměrovost je zajištěna pomocí vzájemného umístění jednotlivých párů kol, kde jsou na sebe 2 páry kol navzájem kolmé. Pro tuto konstrukci se také používá speciálních kol, která jsou všesměrová. [7]

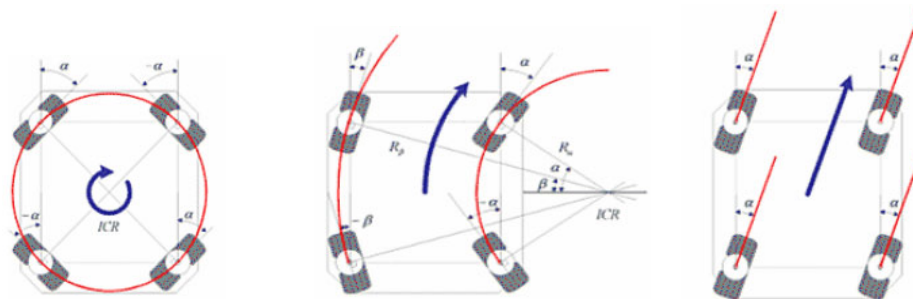


Obr. 3.4 Druhý typ čtyřkolového všesměrového podvozku. [8]

Výhody těchto podvozků jsou velice snadná manévrovatelnost bez nutnosti předchozího natočení platformy a relativně snadná konstrukce. Nevýhodou je nutnost pořízení čtyř motorů, což je oproti klasickému diferenciálnímu podvozku o dva motory více. Další nevýhodou je také nezbytnost nákupu speciálních kol, která jsou dražší a poruchovější než klasická kola. Jednou z posledních nevýhod je horší dostupnost tohoto robotu (překážky velikosti poloměru jednoho segmentu kola jsou problematické). [9]

3.1.3 Synchronní podvozek

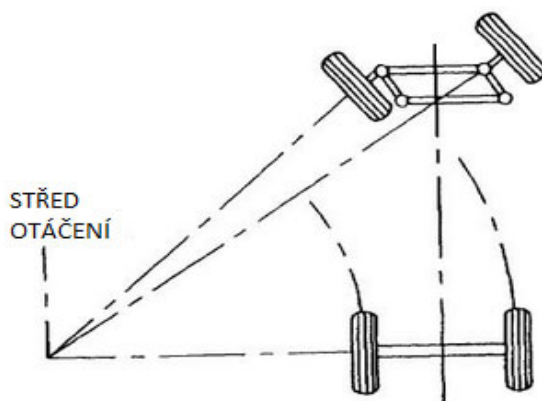
Tento typ podvozku má kola se dvěma stupni volnosti. Všechna kola jsou řízena a minimálně dvě kola musí být poháněna. Každé kolo obsluhují dva motory, jeden slouží jako pohon a druhý je řídící. Výhodou je velice dobré manévrování a velká stabilita. Nevýhodou je špatné překonávání nerovností povrchu a složitá konstrukce. [9]



Obr. 3.5 Kinematický model čtyřkolového synchronního podvozku. [9]

3.1.4 Ackermannův podvozek

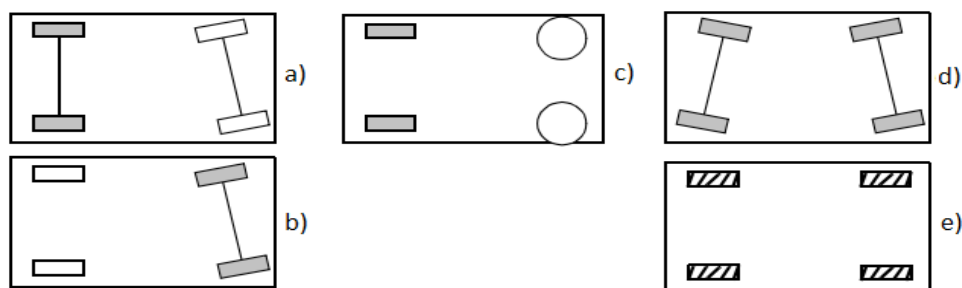
Ackermannův čtyřkolový podvozek vychází z automobilového modelu, kdy se podvozek skládá z dvou řízených kol a 2 poháněných kol, která jsou zpravidla vybavena mechanickým nebo elektronickým diferenciálem. Poháněná kola jsou zpravidla v zadní části robotu, řízená se nachází v přední části. Přední řízená kola bývají nejčastěji řízena jedním pohonem, který zároveň natáčí oběma koly. Pro Ackermannovo řízení je typické, že se přední řízená kola nenatáčí stejně, ale vnitřní kolo se natáčí více pro dosažení stejného středu otáčení s vnějším kolem, aby nedocházelo ke tření, viz Obr. 3.6. Ackermannovo řízení se používá především ve venkovních podmínkách, kde je zapotřebí větší nosnost a rychlost pohybu. Další výhodou Ackermannova řízení je snížená energetická náročnost, jelikož nedochází ke tření, jako u základního diferenciálního konceptu podvozku. Nevýhodou je horší manévrovatelnost a plánování trasy, kdy se není možno pohybovat všemi směry, ale jsme omezeni maximálním natočením předních řídících kol. [9]



Obr. 3.6 Čtyřkolový Ackermannův podvozek. [10]

3.1.5 Souhrn nejpoužívanějších konceptů podvozků

Pro čtyřkolové podvozky se nejčastěji používají konstrukce na Obr. 3.7 [13]



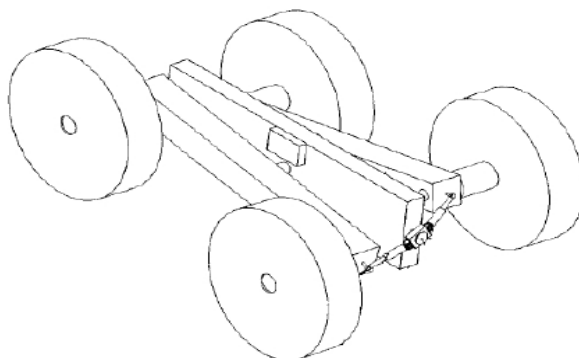
Obr. 3.7 Nejpoužívanější koncepty podvozků. [13]

a) Dvě hnaná kola v zadní části a dvě řídicí kola v přední části, b) Dvě hnaná řízená kola v přední části a dvě volná kola v zadní části, c) Dvě diferenciálně řízená kola v přední části a dvě všesměrová kola v zadní části, d) Čtyři hnaná řízená kola, e) Čtyři hnaná všesměrová kola.

3.1.6 Speciální outdoorové podvozky

Speciální outdoorové podvozky se musí především postarat o kompenzaci nerovností povrchu. Tato vlastnost je nejčastěji dosažena speciálním uchycením jednotlivých kol.

Na Obr. 3.8 je znázorněn podvozek umožňující vychýlení předních kol, který umožňuje lepší kontakt kol s terénem. Podobný systém uchycení, kdy pření kola nesvírají stejný úhel, je možné konstruovat více způsoby.



Obr. 3.8 Podvozek s možností vychýlení předních kol. [11]

Jedním z dalších speciálních podvozků disponuje robot Scarab, který je určen pro mimozemské mise. Kola robotu jsou uchyceny na ramenech, které se pohybují v závislosti na typu a sklonu terénu a zajišťují tak horizontální orientaci těla robotu.



Obr. 3.9 Robot Scarab se speciálním uchycením kol. [12]

3.2 Druhy kol

Kola, které se používají u čtyřkolových robotů, jsou jednou ze stěžejních částí konstrukce. Jejich typ, parametry a vlastnosti určují průchodnost robotu v terénu a jeho další vlastnosti, jako je například možnost všesměrového řízení, či schopnost pohybu po sypkém sypkém atd. Z těchto důvodů je vhodné tuto část konstrukce korektně navrhnout.

3.2.1 Klasické kolo

Základním a nejrozšířenějším typem je klasické kolo. Mezi jeho největší výhody patří jednoduchá konstrukce, snadná dostupnost, nízká cena, velká robustnost a relativně dobrá schopnost pohybu ve venkovních podmínkách.

Mezi nejdůležitější parametry patří jeho průměr, který určuje, jak velkou překážku je robot s klasickým podvozkem schopný překonat. Zjednodušeně řečeno by se dalo říci, že čím větší je průměr kola, tím větší je průchodnost terénem.

Dalším důležitým parametrem je tloušťka kola, která významně ovlivňuje stabilitu robotu. V úvahu se musí brát i způsob řízení. Pokud bude robot řízen diferenciálním způsobem, bude nutné, aby kola nebyly příliš široké z důvodu zvýšeného tření při zatáčení smykem.

Jedním z dalších neméně důležitých parametrů je typ kontaktní plochy kola. Tento typ je závislý na terénu v kterém se bude robot pohybovat. Může se jednat o pneumatiku, pro pohyb v klasickém terénu, o kolo s obvodem potaženým gumou, či o kolo kovové s tvarovými prvky na obvodu, které zajišťují lepší pohyb v sypkém terénu. Nejčastěji se v mobilní kolové robotice používají pneumatiky. U pneumatik se volí různý druh dezénu v závislosti na typu povrchu a také jejich tlak. Pro tvrdé povrchy se použije vyšší tlak, aby nedocházelo k velkým ztrátám skrze valivý odpor. Pro měkké povrchy, jako jsou např. sníh, sypké hmoty, bláto, se používá tlak nižší pro lepší záběr. [13]

3.2.2 Všeměrová kola

Všeměrová kola jsou charakteristická pro všesměrové, diferenciálně řízené roboty. Umožňují zatáčení s nulovým poloměrem otáčení i přímou jízdu. Jejich konstrukce se skládá z jednoho náboje, který má po obvodu upevněny další valivé elementy. Elementy bývají ve tvaru válečků nebo soudků. Osy elementů mohou svírat s osou otáčení kola úhel 45° , pak se jedná o kola Ilon (jinak také označována jako kola Mecanum) nebo mohou být na osu otáčení kolmé. Kola Mecanum se používají

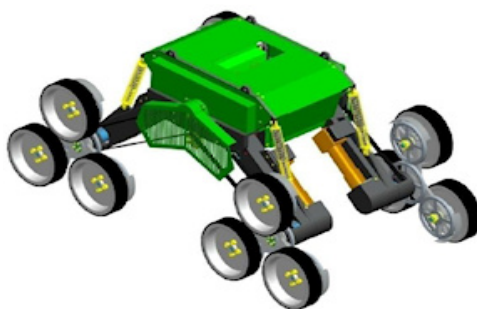
především u konstrukce všesměrových čtyřkolových diferenciálních podvozků, kde jejich konstrukce umožňuje všesměrový pohyb, viz Obr. 3.7. [13]



Obr. 3.10 a) Kolo Mecanum, b) Klasické všesměrové kolo. [7]

3.2.3 Weinsteinovo kolo

Weinsteinovo kolo bylo navrženo pro lepší pohyb v členitém terénu. Dokáže překonávat překážky, jako jsou například schody o průměru kola nebo další podobné překážky. Konstrukce Weinsteinova kola se skládá z tří klasických kol, které jsou připevněny na trojramenné konzole, která je sama připevněna k tělu podvozku, viz Obr. 3.11 Tato konstrukce kol byla testována na některých vojenských transportních vozidlech. Tento typ kol není příliš rozšířený.



Obr. 3.11 Podvozek s Weinsteinovy koly. [14]

3.3 Elektrická část

Další částí čtyřkolových mobilních robotů je část elektrická, do které spadají subsystemy jako je senzorický subsystem, pohonový subsystem a řídicí subsystem. Tyto subsystemy nejsou nijak charakteristické pro čtyřkolové roboty, proto budou rozebrány jen velice stručně.

3.3.1 Pohonový subsystem robotu

Pohony mobilního robotu náleží do pohybového subsystemu. V oblasti mobilní kolové robotiky se nejčastěji používají rotační elektromotory. Z těchto typů převládají stejnosměrné komutátorové motory, které jsou výhodné kvůli jejich dobrému poměru výkon/hmotnost. V současné době se rozšiřují i střídavé a bezkomutátorové stejnosměrné motory. Pro menší roboty se často využívají krokové motory, které jsou levné, mají snadné ovládní a není zapotřebí převodovky. Pro tento účel se používají i modelářské servomotory, jež disponují vestavěnou převodovkou, snadným ovládním a polohovým řízením. [15]

3.3.2 Senzorický subsystém robotu

Senzorický systém slouží jako pomyslné oči robotu, proto je to jeden ze stěžejních subsystémů. Dělí se na interní senzorický systém, který měří parametry robotu a na externí senzorický systém, který měří parametry okolního prostředí.

Interní senzorický systém umožňuje například měření stavu akumulátoru, měření celkového proudového odběru, monitorování komunikace, kontrola teploty kritických částí robotu. Mezi interní senzorický systém se řadí i senzory, které se používají pro navigační účely. Mezi tyto senzory patří snímače polohy pohonů a rychlosti pohonů. Externí senzory slouží k získávání dat o okolním prostředí robotu. Tyto senzory se dělí na dvě skupiny a to na pasivní, které vyhodnocují záření z okolí a aktivní, které vyzařují a vyhodnocují odražené záření. Nejčastěji se jedná o senzory, které jsou prvkem navigace robotu, jako jsou různé taktilní (dotykové) senzory, ultrazvukové snímače vzdálenosti, infračervené snímače vzdálenosti, laserové dálkoměry.

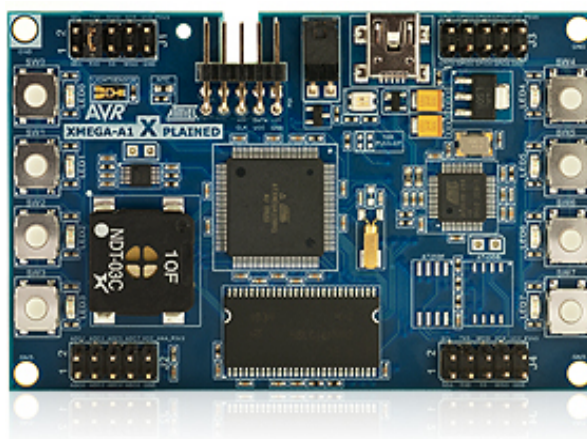
Při návrhu je nutné brát na zřetel v jakém prostředí se bude robot pohybovat a jaké budou požadavky na tento subsystém. Senzorická část se dělí na pomyslné dvě skupiny, kdy první skupina zahrnuje samotné senzory a jejich obslužná zařízení a ve druhé skupině se nachází komunikační rozhraní senzorů.

K realizaci komunikačního rozhraní v rámci robotu se nejčastěji používají kabely, ke komunikaci s nadřazeným systémem je vhodné použití bezdrátového řešení. Komunikační rozhraní je obvykle tvořeno obvody rozhraní a komunikačními sběrnicemi, které jsou tvořeny pomocí různých přenosových medií. Při volbě komunikačního rozhraní je vhodné zvolit takové rozhraní, které umožní připojení co největšího počtu prvků bez nutnosti přidavných zařízení. V úvahu se musí brát obousměrný datový tok, počet zařízení na sběrnici a možné rušení.

Návrh a volba senzorického systému úzce souvisí se správnou volbou řídicího systému. Tento systém musí disponovat dostatečným výpočetním výkonem pro zpracování dat ze senzorického subsystému a musí být schopen komunikovat přes zvolená komunikační rozhraní. [15]

3.3.3 Řídicí subsystém robotu

Řídicí subsystém mobilního robotu tvoří „mozek“ zařízení. Hardwarová část musí umožňovat kvantitativní a kvalitativní zpracování a analyzování všech dat ze senzorického systému, společně s řízením akčních členů v reálném čase. Při návrhu je nutné vyhodnotit všechny aspekty, které budou na řídicí systém působit a které bude muset zpracovávat. Jedná se o velice širokou oblast, která musí být dobře analyzována, aby nedošlo k nekorektnímu chování robotu v důsledku špatného návrhu řídicího systému. Zjednodušeně řečeno je návrh řídicího systému klíčovým úkonem při návrhu robotu.



Obr. 3.12 Vývojový kit XMEGA-A1 Xplained [16]

V současné době existuje velké množství řídicích systémů, které je možné k tomuto účelu použít. Obecně se dá říci, že k řízení robotů se používají elektronické výpočetní systémy. První skupinou jsou vývojové kity známých výrobců, jako jsou firmy Atmel, STM a Freescale, viz Obr. 3.12. Centrální prvek těchto kitů je tvořen mikropočítačem dané firmy, který disponuje prvky jako je AD převodník, DA převodník, PWM generátor, flash paměť, vstupně výstupní porty, sběrnice UART, CAN, I2C, Ethernet, ZigBee a další speciální periferie, které umožňují ovládání většinu elektronických prvků nacházejících se na robotu.

Dalším typem řídicího systému jsou mini PC. Jsou to zařízení, která jsou obdobná klasickým PC, jsou však podstatně menší, většinou bez možnosti dalšího rozšíření či upgradu. Mezi tyto zařízení patří zařízení RaspBerry Pi, BeagleBone Black nebo BeagleBoard-xM. Centrálním prvkem těchto zařízení je většinou výkonný procesor ARM, jenž běží v závislosti na výkonu daného hardwarového řešení obvykle na kmitočtu od 700 MHz (Rasperry) až po 1 GHz (BeagleBoard). Tyto hardwarové platformy obvykle obsahují HDMI, SDRAM, USB, HDMI, audio výstupy, SD/MMC/SDIO sloty pro karty, Ethernet a další periferie. [18][19]



Obr. 3.13 Mini PC Rasperry Pi. [17]

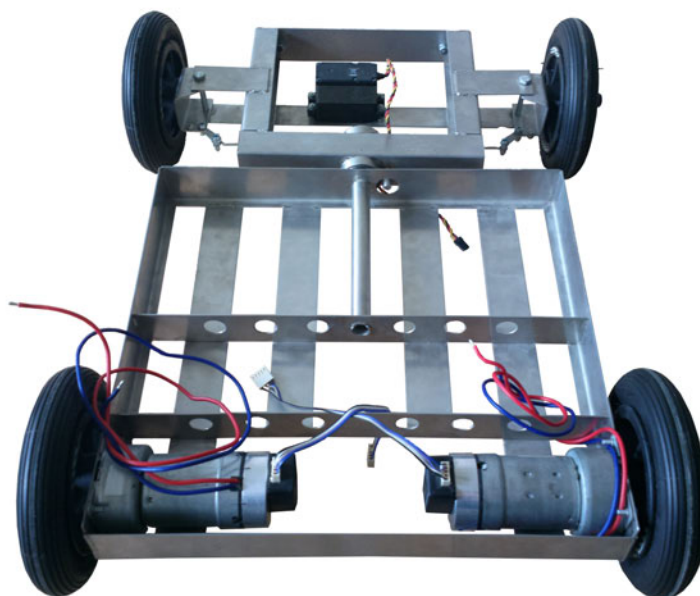
Pro řízení mobilních robotů se dá použít i velká škála ostatních řídicích systémů, jako jsou industriální počítače, PLC, atd. V neposlední řadě prototypová elektronika, kterou si uživatel sám navrhne pro dané řešení. Hlavním prvkem této elektroniky bývá mikropočítač odpovídající řady a výkonu.

4 SEZNÁMENÍ S KONSTRUKCÍ UPRAVOVANÉHO ROBOTU

Tato práce vychází z již vyhotovené části mobilního čtyřkolového robotu, kterou se zabýval Bc. Vrátil ve své bakalářské práci a jisté další úpravy provedl Bc. Ded' o ve své diplomové práci. V této části bude provedeno seznámení s výchozím konceptem robotu.

4.1 Mechanická část

Robot byl tvořen za účelem mapování prostředí pomocí laserového dálkoměru SICK LMS 291. Díky tomuto požadavku byl další návrh přizpůsoben tomuto faktu.

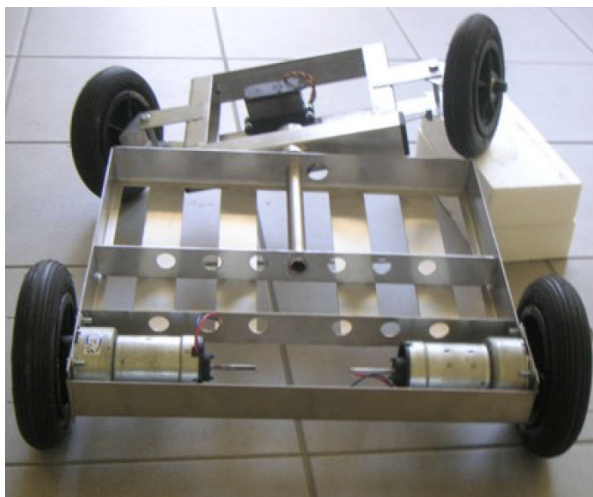


Obr. 4.1 *Výchozí kostra robotu.*

4.1.1 Kostra robotu

Kostra robotu byla navržena Bc. Šimonem Vrátilem. Koncepte robotu byla určena k pohybu v mírném terénu s čtyřkolovým podvozkem. Při pohybu v terénu se robot musí vypořádat s členitým povrchem, kdy je nutné zajistit lepší styk kol s povrchem. Z tohoto požadavku vyplývá nutnost speciálního podvozku, kdy jsou kola buď odpružena nebo se jejich zavěšení jinak přizpůsobí terénu, jako je např. znázorněno na Obr. 3.8.

Kostra je tvořena dvěma základními částmi. První část, na které jsou umístěny řídicí kola, je v přední části robotu. Tato část je s druhou částí spojena pomocí hřídele uloženého v radiálním ložisku, které umožňuje změnu naklonění přední části vůči zadní části, což výrazně zlepšuje kontakt s povrchem, viz Obr. 4.2. Při tomto způsobu vzájemného upevnění přední a zadní části by mohlo v extrémním případě dojít k pootočení přední části o úhel větší než je maximální požadovaný úhel. Kvůli tomuto riziku byl na přední část přivařen čep, který v maximálním pootočení přední části zabráňuje dalšímu pootočení. Zadní část robotu byla primárně určena k upevnění zadních hnacích kol, k umístění akumulátorů, řídicí elektroniky a umístění laserového dálkového snímače SICK LMS 291. Tato koncepce byla mírně pozměněna panem Bc. Ded'em, kdy se pro umístění laserového dálkoměru využila přední část konstrukce robotu.



Obr. 4.2 Kostra robotu při překonávání nerovnosti. [1]

Kostra robotu je vytvořena z nerezového profilovaného plechu, který zajišťuje vysokou nosnost konstrukce, tvarovou stálost a odolnost vůči okolním povětrnostním podmínkám.

4.1.2 Mechanismus řízení

Podvozek robotu byl konstruován jako čtyřkolový s Ackermannovým řízením. Pohon řízení je zajištěn pomocí servomotoru Hi-Tec HS-5745MG, který zprostředkovává požadovaný kroučící moment redukční trojúhelníkové součástí, která je zobrazena na Obr. 4.3. Tato součást spolu s táhly zajišťuje nestejněmorné natočení řídicích kol, kdy se vnitřní kolo natáčí více než kolo vnější. Tímto způsobem se zmenšuje tření mezi řídicím kolem a podložkou.

Konstrukce Ackermannova řízení, která je popsána v části 3.1.4, vychází, zjednodušeně řečeno, z poměru vzdálenosti uchycení závěsů kol a vzdáleností mezi přední a zadní nápravou. Mezi základní parametry řízení patří maximální natočení kol, které je v našem případě $32,79^\circ$. Dalším důležitým parametrem je minimální poloměr zatáčení, který je roven hodnotě 613,2 mm. [2]



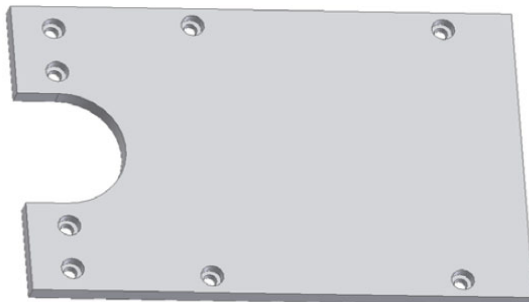
Obr. 4.3 Konstrukce Ackermannova řízení.

4.1.3 Uchycení laserového dálkoměru SICK LMS 291

Laserový dálkoměr SICK LMS 291 je upevněn ke kostře robotu pomocí speciální konstrukce, která je zobrazena na Obr. 4.4. Tato součást musí poskytovat dostatečnou tuhost, aby při pohybu robotu nebylo ovlivněno měření.

Samotná součást je zhotovena z plechu ze slitiny hliníku o tloušťce 10 mm. V plechu jsou umístěny díry se zahloubením pro šrouby s válcovou imbusovou hlavou, které slouží k uchycení

konstrukce ke kostře robotu a současně k uchycení zařízení SICK. V plechu je vyrobena drážka, která bude umístěna na místo, kde se nachází spojovací hřídel a čep, který zajišťuje konstrukci proti přetočení přední a zadní části.



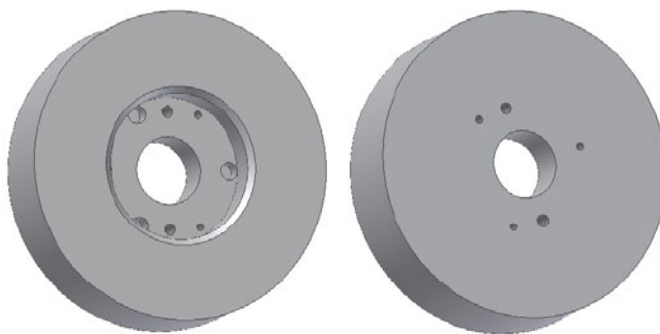
Obr. 4.4 Součást pro uchycení zařízení SICK LMS 291 [2]

4.1.4 Uchycení pohonových motorů

O pohyb robotu se starají dva stejnosměrné motory GMN6MP026A. Tyto motory jsou připevněny k zadní části kostry robotu. K jejich montáži je použito čtyř šroubů s maticemi, které vedou skrze přírubu motoru a zároveň skrze přichystané otvory v nerezové kostře robotu. Jejich umístění je zřetelné na Obr. 4.1.

4.1.5 Uchycení inkrementálních snímačů HEDS-5500-A11

Pro snímání počtu otáček motorů jsou použity dva inkrementální dvojkanálové snímače otáček HEDS-5500-A11. Pro jejich montáž na motory musely být připraveny speciální soustružené hliníkové náboje, které umožňovaly připevnění náboje k motoru a zároveň připevnění inkrementálního snímače do tohoto náboje. Pro připevnění enkodéru k náboji může být použito tři šroubů M 1,6 nebo dvou šroubů M 2,5.



Obr. 4.5 Náboj pro uchycení inkrementálního enkodéru. [2]

4.2 Elektrická část

V této části budou rozebrány všechny použité elektrické a elektronické prvky, které jsou na robotu umístěny.

4.2.1 Pohony kol

Pro pohony hnacích kol se používají dva stejnosměrné motory GMN6MP026A. Kola robotu jsou umístěny přímo na výstupních hřídelích motorů. Jejich parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Základní parametry motoru GMN6MP026A. [20]

Napájecí napětí [V]	22
Výkon [W]	67,7
Otáčky za minutu [min^{-1}]	110
Délka výstupní hřídele [mm]	30
Průměr výstupního hřídele [mm]	8

4.2.2 Servomotor řízení Hitec HS-5745MG

Servomotor Hitec HS-5745MG je použit k ovládání natočení předních řídicích kol. Jeho zapojení je klasické třívodičové, kde červený kabel představuje zem, červený napájení a žlutý řídicí signál. Základní parametry servomotoru pro napětí 6 V jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Základní parametry servomotoru Hitec HS-5745Mg. [21]

Napájecí napětí [V]	4,8 – 6
Maximální proud [mA]	4800
Proud při běhu bez zatížení [mA]	840
Klidový proud – standby [mA]	3
Statický krouticí moment [kg.cm]	18
Rychlost pohybu [$\text{s}/60^\circ$]	0,15

4.2.3 Laserový dálkoměr SICK LMS 291

Tento laserový dálkoměr je hlavním prvkem senzorického subsystému robotu. Hlavním budoucím úkolem tohoto robotu je jeho nasazení v oblasti mapování terénu, které bude zajišťovat laserový dálkoměr SICK LMS 291 (dále jen SICK).

Toto zařízení funguje na principu laserového měření vzdálenosti. Princip laserového měření vzdálenosti je takový, že zařízení vysílá laserový paprsek, tento paprsek se při nárazu na objekt odrazí a zařízení ho opět přijme. Z času mezi odesláním a přijetím paprsku určí vzdálenost objektu. Princip funkce zařízení SICK je navíc vylepšen použitým rotujícím zrcadlem, které laserový paprsek horizontálně posílá v rozmezí $0 - 180^\circ$. Tyto data jsou poté posílány jedním datovým paketem skrze sběrnici RS422 nebo RS232. Základní parametry jsou uvedeny v Tab. 4.3.

Tab. 4.3 Základní parametry laserového dálkoměru SICK LMS 291. [22]

Maximální dosah [m]	80
Zorné pole[$^\circ$]	100/ 180
Úhlové rozlišení [$^\circ$]	0,25 / 0,5 / 1
Doba odezvy [ms]	13 – 53
Frekvence skenování [Hz]	75
Rozlišení [mm]	10
Datové rozhraní [-]	RS 232, RS 422
Přenosová rychlost [kBaud]	9,6 / 19,2 / 38,4 / 500
Napájecí napětí [V]	24 V +/- 15%
Příkon [W]	20
Hmotnost [kg]	4,5
Rozměry [mm]	156 x 155 x 210



Obr. 4.6 Laserový dálkoměr SICK LMS 291. [22]

4.2.4 Inkrementální snímač HEDS – 5500 – A11

Tento snímač se běžně používá ve zpětnovazebních systémech řízení rychlosti a polohy rotačního pohybu. Jeho typickou vlastností je nízká hmotnost, vysoká rozlišovací schopnost a malá velikost. Princip činnosti je na bázi optického clonění paprsku světla. K tomuto clonění slouží otočný optický disk, který je mechanicky připevněn k hřídeli měřeného motoru. Jakmile dojde k mírnému pootočení, optický disk začne pomalu zakrývat tok světla a mění se výstupní signál. Jakmile se disk ještě o trochu pootočí, dojde k úplnému zakrytí a tím je dosaženo nulové amplitudy. Tento signál je převeden ze spojitého na diskretní a data o pohybu motoru jsou odesílána formou pulzů dále ke zpracování.

Tento dvoukanálový inkrementální enkodér je napájen 5 V, generuje 500 pulzů za otáčku a je přizpůsoben pro montáž na hřídel o průměru 4 mm.



Obr. 4.7 Inkrementální enkodér typu HEDS 5500. [23]

4.2.5 Akumulátory

Pro napájení robotu jsou použity dva olověné 12 V akumulátory o kapacitě 7,2 Ah. Napájení některých součástí vyžaduje vyšší napětí a proto jsou tyto akumulátory zapojeny sériově, aby došlo ke zvýšení napětí na dvojnásobnou hodnotu, respektive se výsledné napětí rovná součtu napětí na akumulátorech.

U olověných akumulátorů musíme uvažovat jistou nestálost napětí v závislosti na životním cyklu akumulátoru, zdali je akumulátor plně nabitý, či je vybitý. Toto je velice důležitý fakt, jelikož toto kolísání se v závislosti na sériovém zapojení projeví dvojnásob.

5 NÁVRH PLC A ROZŠÍŘUJÍCÍCH KARET

Použití programovatelného automatu k těmto účelům není běžné a ani příliš vhodné z hlediska větší spotřeby a hmotnosti programovatelného automatu, avšak jeho použití bylo zvoleno kvůli demonstraci možnosti jeho použití a následné prezentaci tohoto řešení na soutěži pořádané firmou Phoenix Contact.

Při návrhu typu PLC uvažujeme tři možnosti. První možností je řízení pomocí PLC ILC 350 ETH, ke kterému budou pomocí interní sběrnice (INTERBUS) připojeny jednotlivé karty. Druhou možností je použití stejného typu PLC, avšak některé karty by byly připojeny pomocí komunikační sběrnice PROFINET. Toto řešení by přicházelo v úvahu, pokud by rozšiřující karty zabíraly velké množství místa a nebylo by možné PLC umístit jako kompaktní blok. Poslední možností je volba typu PLC ILC 150, které má podstatně menší rozměry než ILC 350 ETH, přičemž výkon PLC není nijak markantně nižší.

5.1 Seznámení s PLC ILC 350 ETH

Jednou z variant pro řízení čtyřkolového mobilního robota je programovatelný automat Phoenix Contact ILC 350 ETH. Tento automat je určen pro širokou škálu aplikací, a to především pro středně rozsáhlé aplikace. Toto PLC disponuje výkonným procesorem a integrovaným ethernetovým rozhraním, které umožňuje propojení s dalšími automaty, či prvky které jsou schopny komunikovat pomocí TCP/IP protokolu. Automat ILC 350 ETH (Obr 5.1) je koncipován jako modulární automat, tudíž je velice dobře přizpůsobitelný danému řešení.



Obr. 5.1 Programovatelný automat ILC 350 ETH. [24]

5.1.1 Základní parametry programovatelného automatu ILC 350

Základní parametry programovatelného automatu ILC 350 ETH jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5.1 Základní parametry programovatelného automatu ILC 350 ETH. [24]

Mechanická konstrukce	
Výška	140,5 mm
Šířka	182 mm
Hloubka	71,5 mm
Hmotnost	440 g
Druh ochrany	IP20
Vibrace (provozní)	5 g, dle IEC 60068-2-6
Šok	25 g, kritérium 1, dle IEC 60068-2-27
Napájení	
Typický proudový odběr	250 mA (při běhu naprázdno)
Napájecí napětí	24 V DC
Rozmezí napájecího napětí	20,4 V DC až 30 V DC
INTERBUS-Master	
Počet přímo připojitelných modulů	Max. 63 (brát v úvahu proudový odběr)
Počet připojených zařízení	Max. 512
Počet vstupů / výstupů	Max. 8192
Systém zpracování IEC - 61131	
Programovací nástroj	PC WORX
Rychlost zpracování	0,5 ms (příkazy Mix 1 K) 9 μs (příkazy Bit 1 K)
Programová paměť	Typicky 1 MB
Datová paměť	2 MB
Remanentní datová paměť	64 kB (NVRAM)
Počet úloh	16
Hodiny reálného času	Integrované (zálohovány akumulátorem)

5.2 Seznámení s PLC ILC 150 ETH

Programovatelný automat ILC 150 ETH je jedním ze zástupců nejnižší řady modulárních inline PLC od firmy Phoenix Contact. Tento typ PLC též disponuje rozhraním Ethernet, pomocí kterého může být programováno a měněny některé jeho parametry.

**Obr. 5.2** Programovatelný automat ILC 150 ETH. [37]

Tab. 5.2 Základní parametry programovatelného automatu ILC 150 ETH. [37]

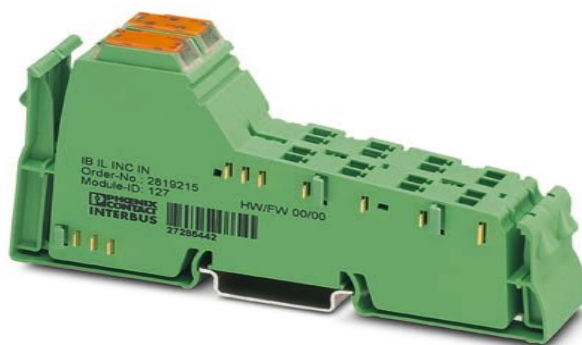
Mechanická konstrukce	
Výška	119,8 mm
Šířka	80
Hloubka	71,5 mm
Hmotnost	285 g
Druh ochrany	IP20
Vibrace (provozní)	5 g
Šok	25 g, kritérium 1, dle IEC 60068-2-27
Napájení	
Typický proudový odběr	210 mA (při běhu naprázdno)
Napájecí napětí	24 V DC
Rozmezí napájecího napětí	19,2 V DC až 30 V DC
INTERBUS-Master	
Počet přímo připojitelných modulů	Max. 63 (brát v úvahu proudový odběr)
Počet připojených zařízení	Max. 128
Počet vstupů / výstupů	Max. 4096
Systém zpracování IEC - 61131	
Programovací nástroj	PC WORX
Rychlost zpracování	1,5 ms (příkazy Mix 1 K) 90 μs (příkazy Bit 1 K)
Programová paměť	Typicky 256 kB
Datová paměť	256 kB
Remanentní datová paměť	8 kB (NVRAM)
Počet úloh	8
Hodiny reálného času	Integrované (zálohovány akumulátorem)

5.3 Volba rozšiřujících modulů programovatelného automatu řady ILC

Pro naši aplikaci je zapotřebí použití dalších rozšiřujících karet, které nám umožní implementaci obsluhy pro inkrementální enkodéry, komunikaci po sběrnici RS232, ovládání krokového motoru řízení a pro řízení pohonových motorů. Potřebné rozšiřující moduly budou rozebrány v následujících kapitolách.

5.3.1 Modul pro snímání dat z inkrementálního enkodéru

Modul IB IL INC-IN je určen k určování pozice v systémech s inkrementálními enkodéry (symetrickými nebo asymetrickými). Modul určuje pozici nebo úhel natočení z inkrementálních enkodérů s obdélníkovým průběhem signálu. Kromě vstupů pro připojení enkodéru disponuje modul třemi digitálními vstupy.



Obr. 5.3 Modul pro snímání dat z inkrementálních snímačů. [27]

Při zpracování dat jsou pomocí čítače zaznamenávány kladné hodnoty signálu, které jsou v závislosti na fázi signálu A a B přičítány nebo odečítány. Pro určení použitelné hodnoty pozice je nutné nastavit výchozí bod na ose otáčení. Modul vyžaduje referenční signál pro toto nastavení výchozí pozice. Signál může být přijat skrze komunikační sběrnici či skrze jeden ze tří digitálních vstupů. Modul je také dále schopen, v rámci zvýšení spolehlivosti, detekovat přerušování vstupní kabeláže. Pro tuto detekci je nutno použít speciální režim. [27]

Tab. 5.3 Základní parametry modulu pro snímání dat z inkrementálních snímačů. [27]

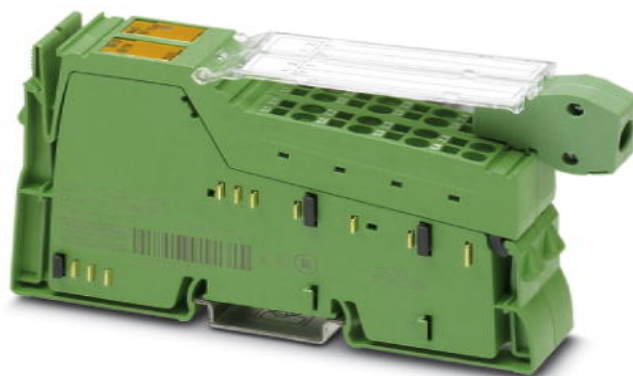
Mechanická konstrukce	
Výška	119,8 mm
Šířka	24,4 mm
Hloubka	71,5 mm
Hmotnost	120 g
Napájení	
Typický proudový odběr	70 mA
Periferní napětí	500 V AC
Vstupy enkodérů	
Počet vstupů	1
Vstupní frekvence (5 V)	0 Hz až 300 kHz
Vstupní frekvence (24 V)	0 Hz až 300 kHz
Typ vstupu	Symetrický a asymetrický

5.3.2 Modul pro sériovou komunikaci RS232

Modul IB IL RS 232-PRO umožňuje komunikaci po sériové lince V.24 RS232. Modul podporuje komunikaci s řízením toku dat, bez řízení toku dat a nastavení dalších parametrů týkajících se sériové komunikace. Parametrizace a výměna dat se na rozdíl od verze IB IL RS 232 provádí výhradně po procesních datech, což umožňuje vyšší rychlost zpracování dat a menší zatížení systému.

Tab. 5.4 Základní parametry modulu pro sériovou komunikaci RS232. [28]

Mechanická konstrukce	
Výška	136 mm
Šířka	24,4 mm
Hloubka	71,5 mm
Hmotnost	135 g
Rozhraní RS232	
Rychlost	110 Bit/s až 38400 Bit/s
Vstupní vyrovnávací paměť	4 kByte
Výstupní vyrovnávací paměť	1 kByte
Datové bity	7 nebo 8
Závěrné bity	1 nebo 2
Parita	Even, Odd nebo No Parity
Druh přenosu	Transparentní režim, režim koncového přístroje, režim střídavé vyrovnávací paměti, 3964R, XON/XOFF, protokol MOVILINK
Napájení, maximální napětí	
Povolené maximální vstupní napětí	-30 V až 30 V
Typická proudová spotřeba	155 mA
Vstupní impedance	5 kΩ

**Obr. 5.4** Modul pro sériovou komunikaci RS232. [28]

5.3.3 Modul pro ovládání servomotoru řízení

Modul IB IL PWM/2 je určen pro pulzně šířkovou a frekvenční modulaci nebo pro ovládání krokových motorů s pulzním či směrovým rozhraním. Modul umožňuje řízení skrze dva výstupy, kdy první je určen pro napětí 5 V a druhý je určen pro napětí 24 V. Tyto kanály umožňují na sobě nezávislý chod. Výstupy jsou chráněny proti zkratu a přetížení.



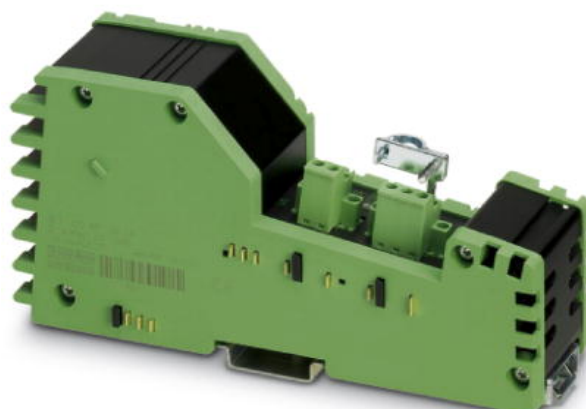
Obr. 5.5 Modul pro řízení servomotoru. [29]

Tab. 5.5 Základní parametry PWM modulu. [29]

Mechanická konstrukce	
Výška	119,8 mm
Šířka	24,4 mm
Hloubka	71,5 mm
Hmotnost	90 g
Výstupy	
Počet	2
Výstupní napětí	5 V DC
Výstupní proud	10 mA (5 V); 500 mA (24 V)

5.3.4 Servozesilovač IB IL DC AR 48/10A

Servozesilovač IB IL DC AR 48/10A je rozšiřující modul pro modulové programovatelné automaty firmy Phoenix Contact. Tento rozšiřující modul se používá k řízení stejnosměrných motorů do výkonu 450 W. Modul je schopen řídit motory s napájecím napětím od 12 V DC do 48 V DC s maximálním proudovým odběrem 10 A.



Obr.5.6 Servozesilovač IB IL DC AR 48/10 A. [26]

Servozesilovač využívá k řízení stejnosměrných motorů dva zpětnovazební regulační obvody, z nichž jeden slouží k regulaci proudu a druhý je určen k regulaci rychlosti. Nastavení jednotlivých parametrů zesilovače je prováděno skrze PCP komunikaci.

Skrze PCP komunikaci je možno zvolit potřebný regulační režim a všechny další potřebné parametry servozesilovače jako jsou například velikosti konstant regulátorů, maximální, nominální

parametry regulace, režimy výstupní části. Dále také zprostředkovává možnost získávání některých hodnot, jako je teplota, nastavený mód, protékající proud, napětí a další. Při stavbě programu musíme zvážit správnou architekturu programu z důvodu, že je možno číst a zadávat pouze jeden parametr. [25]

Tab. 5.6 Základní parametry servozesilovače IB IL DC AR 48/10A. [25]

Mechanická konstrukce	
Výška	166 mm
Šířka	48,6 mm
Hloubka	85 mm
Hmotnost	460 g
Volný pád dle IEC 60068-2-32	1 m
Napájení výkonové části	
Napájecí proud	0 A až 10 A
Napájecí napětí	12 V DC až 48 V DC $\pm$ 15%
Výstup na motor	
Rozsah jmenovitého proudu	Max. 10 A
Způsob připojení	Třípólový konektor COMBICON
Počet připojených zařízení	1

5.4 Volba řešení

Při volbě použitého řešení bylo vycházeno z tří řešení, které byly zmíněny na začátku kapitoly 5. V prvním z nich bylo použití PLC ILC 350 ETH, ke kterému byly připojeny všechny karty skrze inline sběrnici. Při sestavení modulu ze všech rozšiřujících karet a daného PLC měl modul větší rozměry, než které by bylo možné na robot umístit. Maximální dovolený rozměr byl překročen o 32 mm.

V druhém zmíněném řešení bylo uvažováno použití sběrnice PROFINET, díky které by některé karty mohly být připojeny na jiném místě robotu k jednotce PROFINET. Poté by byla řídicí jednotka propojena s jednotkou PROFINET a bylo by umožněno řízení pomocí tohoto řešení. Avšak toto řešení bereme jako poslední možnost, jelikož by to zkomplikovalo koncepci zapojení a rozmístění jednotlivých prvků robotu.

Poslední možností bylo použití PLC ILC 150 ETH a následné připojení všech rozšiřujících karet k této řídicí jednotce. Vzhledem k tomu, že rozměry řídicí jednotky ILC 150 ETH jsou v požadovaném směru menší až o 102 mm a v prvním řešení byl zjištěn přesah pouze o 32 mm, je toto řešení po rozměrové stránce ideální. PLC s rozšiřujícími kartami by bylo použito jako kompaktní blok umístěný na konstrukci robotu kolmo ke směru jízdy. Avšak musíme brát v úvahu i parametry výkonu. PLC ILC 150 ETH je podstatně pomalejší než výkonnější varianta ILC 350 ETH, disponuje menší kapacitou paměti a je k němu možné připojit menší množství zařízení, což by nebyl problém. Řešení našeho problému je poměrně málo rozsáhle a má malé požadavky na výkon.

Důsledkem výše zmíněných faktů volím pro finální řídicí modul PLC ILC 150 ETH společně s rozšiřujícími kartami uvedenými v Tab. 5.7.

Tab. 5.7 *Seznam jednotlivých komponent použitých v řídicí PLC jednotce.*

Zařízení	Počet kusů	Použití
ILC 150 ETH	1	Hlavní modul
IB IL INC-IN	2	Čtení dat z inkrementálních snímačů
IB IL RS 232-PRO	2	Komunikační rozhraní RS232
IB IL PWM/2	1	Ovládání servomotoru řízení
IB IL DC AR 48/10A	2	Řízení pohonových motorů

6 SENZORICKÝ SUBSYSTEM

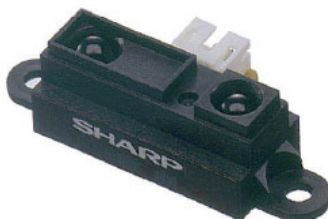
V této části jsou rozebrány námi navržené senzory, které byly použity pro konstrukci robotu. Senzory byly voleny pro použití robotu ve vnitřních prostorech na relativně rovném terénu. Senzory se v této práci, dle typu použití, dělí na dvě skupiny. První skupina je určena k navigaci robotu a druhá skupina je určena k mapování okolního prostředí. První skupina je tvořena infračerveným senzorem vzdálenosti GP2Y0A21YK0F, ultrazvukovým senzorem vzdálenosti SRF08, inkrementálním enkodérem HEDS-5500 A11 a platformou Pololu MinIMU-9 v2, která v sobě integruje gyroskop, akcelerometr a kompas. Druhá skupina je aktuálně tvořena pouze jedním laserovým dálkoměrem SICK LMS 291.

Tato kapitola neobsahuje popis již umístěných senzorů, mezi něž se řadí laserový dálkoměr SICK LMS 291 (popsaný v kapitole 4.2.3) a inkrementální enkodér HEDS-5500 A11 (popsán v kapitole 4.2.4).

6.1 Infračervený senzor vzdálenosti GP2Y0A21YK0F

Senzor GP2Y0A21YK0F byl vybrán díky jeho příznivé ceně, vhodnému rozsahu měření, velice směrové charakteristice měření a malým rozměrům. Tyto vlastnosti byly klíčové při jeho volbě.

Tento senzor funguje na principu technologie infračervené detekce překážek. Je složen ze tří základních částí a těmi jsou detektor infračerveného záření, dioda vyzářující infračervený paprsek a obvod zpracovávající obdržený signál. Výstup tohoto zařízení je analogový, kdy napěťová úroveň odpovídá vzdálenosti překážky od detektoru. [30]



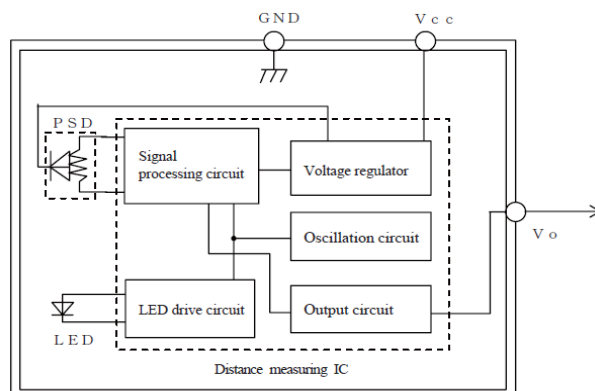
Obr. 6.1 *Infračervený senzor vzdálenosti GP2Y0A21YK0F. [30]*

6.1.1 Princip funkce infračerveného senzoru

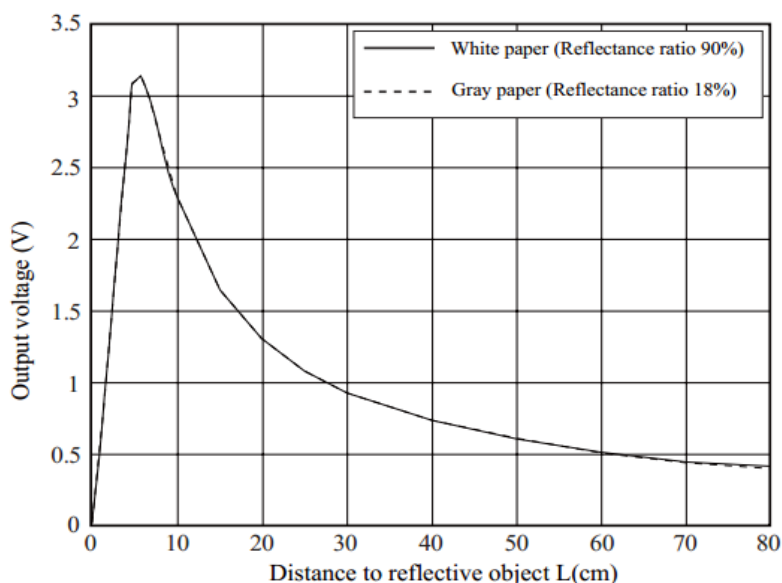
Blokové schéma senzoru je zobrazeno na Obr. 6.2. Stručný popis funkce senzoru lze popsat následovně. Do senzoru může být přiváděno napětí -0,3 V DC až 7 V DC. Napětí vstupuje do regulačního obvodu, který stabilizuje napětí pro snímací i vysílací část na hodnotu 4,5 V DC až 5,5 V DC. Obvod řídící IR diodu (LED drive circuit) je pomocí vnitřní časové reference (oscillation circuit) synchronizován s obvodem zpracovávajícím obdržený signál (signal processing unit). Tento obvod vyhodnotí vzdálenost překážky v závislosti na rozdílnosti času vyslání a přijmutí IR paprsku a tento signál dále zašle do výstupního obvodu, kde je signál přizpůsoben napěťovému rozsahu výstupu, který je zobrazen na Obr. 6.3. [30]

6.1.2 Zapojení senzoru

Pro zapojení infračerveného senzoru vzdálenosti je použit třívodičový kabel, kde je v jednom z kabelů napájecí napětí, druhý kabel je zem a třetí kabel je určen pro vedení signálu (analogové hodnoty) o naměřené vzdálenosti.



Obr. 6.2. Blokové schéma infračerveného senzoru GP2Y0A21YK0F. [30]



Obr. 6.3 Výstupní charakteristika infračerveného senzoru vzdálenosti. [30]

6.1.3 Přehled základních parametrů infračerveného senzoru vzdálenosti

Tab. 6.1 Tabulka základních parametrů infračerveného senzoru vzdálenosti. [30]

Napájecí napětí	4,5 V DC až 5,5 V DC
Typický proudový odběr	30 mA
Rozsah měřitelné vzdálenosti	10 cm až 80 cm
Typ výstupu	Analogový (maximálně 3,3 V)
Rozměry	29,5 mm x 13 mm x 13,5 mm

6.2 Ultrazvukový senzor vzdálenosti SRF08

Ultrazvukový senzor vzdálenosti SRF08 byl vybrán kvůli výborné měřicí charakteristice, jelikož je schopen měřit vzdálenosti od 3 cm do 6 m. Další jeho výhodou v oblasti navigace robotu je fakt, že měření vzdáleností je více všesměrové než u infračervených senzorů vzdálenosti, což je pro naši aplikaci v kombinaci s IR senzory velice výhodné. Mezi další výhodu se řadí fakt, že měření není závislé na barvě či jiných optických vlastnostech překážky.

Mezi nevýhody patří především velká teplotní závislost rychlosti zvuku ve vzduchu, větší všesměrovost neumožňuje jednomu zařízení přesnější určení překážky a také fakt, že detekce je závislá na tvaru a odrazivosti překážky. Jeden z velice důležitých faktorů, které musíme brát v úvahu,

je správná volba frekvence měření v závislosti na rychlosti zvuku. Pokud špatně zvolíme frekvenci, na příliš nízkou hodnotu, je možné, že bude senzor detekovat odražené vlny z předchozího měření, což bude mít za následek špatné určení vzdálenosti překážky.

Senzor SRF08 je tvořen dvěma senzory. První je ultrazvukový snímač vzdálenosti a druhý je snímač intenzity světla. Zpracování dat z těchto dvou senzorů je realizováno MCU PIC16F872. Komunikační rozhraní s nadřazeným prvkem je skrze sběrnici I2C. [31]

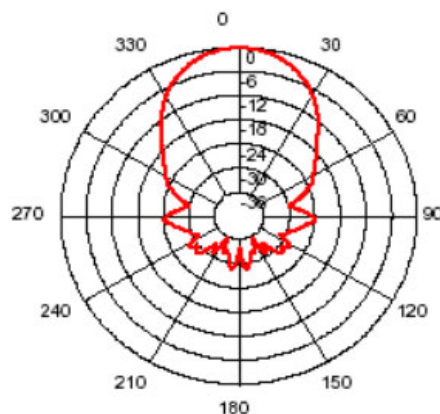
V naší aplikaci použijeme pouze ultrazvukový snímač vzdálenosti, jelikož snímač intenzity osvětlení není pro navigaci robotu zapotřebí. Při potřebě budoucího využití tohoto senzoru bude pouze nutné změnit firmware elektroniky, která bude zpracovávat data ze senzorů.

6.2.1 Základní parametry senzoru

Tab. 6.2 Základní parametry senzoru SRF08. [31]

Napájecí napětí	5 V
Typický proudový odběr	15 mA
Frekvence ultrazvuku	40 kHz
Rozsah měření	3 cm až 6 m (znázornění oblasti měření na Obr. 6.4)
Komunikační rozhraní	I2C (TWI)
Rozměry	43 mm x 20 mm x 17 mm

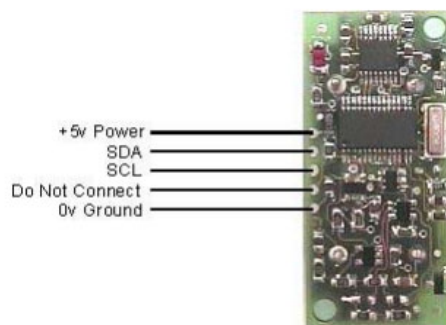
Mezi základní parametry senzoru se také řadí je vyzařovací, respektive měřicí charakteristika. To je oblast, kde je senzor schopen měřit vzdálenost překážek, tato oblast je zobrazena na Obr. 6.5.



Obr. 6.4 Vyzařovací charakteristika senzoru SRF08. [31]

6.2.2 Zapojení senzoru SRF08

Na Obr. 6.6 je zobrazeno zapojení senzoru. Pin 1 (číslováno z vrchní strany) je určen k přívodu napájecího napětí. Pin 2 a 3 jsou určeny pro sběrnici I2C, pro signály SDA a SCL. Je nutné brát na zřetel, že I2C sběrnice vyžaduje připojení pull-up rezistorů, které se připojují jak na signál SDA, tak na signál SCL. Tyto rezistory nejsou součástí senzorů a proto je nutné navrhnout jejich externí zapojení. Pin 4 je určen k programování integrovaného MCU, čili při normálním použití nezapojovat a na pin 5 je vyvedena zem.



Obr. 6.5 Schéma zapojení senzoru SRF08. [31]

6.2.3 Komunikace se senzorem SRF08

O zpracování dat a následné odeslání po sběrnici I2C se stará MCU PIC16F872. V rámci I2C má senzor 7 bitovou adresu, kterou je možno změnit. Při změně je k dispozici 16 programovatelných variant adres v rozsahu E0 až FE. Pro nastavení a komunikaci se senzorem se používá 36 vnitřních registrů senzoru, které jsou uvedeny v Tab. 6.2.

Tab. 6.3 Registry senzoru SRF08. [31]

Číslo registru	Čtení registru	Zápis do registru
0	Verze softwaru	Příkazový registr
1	Konfigurační hodnoty senzoru intenzity světla	Maximální analogové zesílení
2	1. echo – vyšší byte	Rozsah měření
3	1. echo – nižší byte	Nepoužito
-----	-----	-----
34	17. echo – vyšší byte	Nepoužito
35	17. echo – nižší byte	Nepoužito

➤ Zápis do registrů

Jak je z Tab. 6.2. vidět, k nastavení senzoru SRF08 se používají pouze první 3 registry, do kterých je umožněn zápis. První registr je určen k zadávání příkazů do senzoru, těchto příkazů je celkem 9, jedná se například o změnu adresy, zahájení měření, změna módu měření pro výpis hodnot v jiných jednotkách atd. V našem případě bude postačovat znalost příkazu pro změnu adresy a zahájení měření. Další příkazy jsou zobrazeny v [31, str. 4].

➤ Čtení z registrů

Čtení je umožněno ze všech registrů. Detaily ohledně dostupných dat jsou zobrazeny v Tab. 6.2.

Další parametry, které je možné nastavit, jsou maximální zesílení a rozsah měření.

Volba rozsahu se provádí zápisem do registru 2. Pro nastavení rozsahu platí vztah:

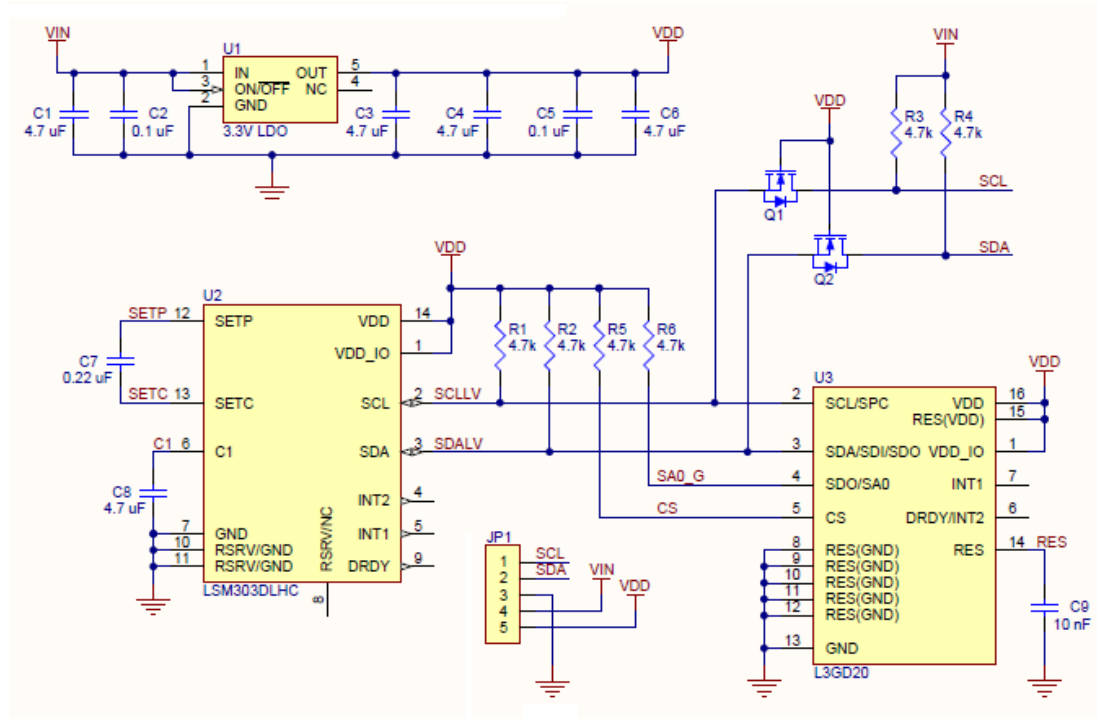
$$\text{Rozsah} = (\text{Hodnota registru 2} * 43) + 43 \quad [\text{mm}] \quad [31] \quad (6.1)$$

Po zapnutí senzoru je rozsah měření nastaven na hodnotu 11 m (registr 2 má hodnotu 0xFF). V závislosti na rychlosti zvuku trvá toto měření 65ms, pokud chceme upravit tuto frekvenci, musíme změnit hodnotu v registru 2. Při změně této hodnoty je také nutné změnit hodnotu maximálního zesílení, aby nedocházelo k přijímání odrazů od vzdálenějších překážek z minulých měření. Nastavení

těchto dvou parametrů je velice specifické a ve velké míře závisí na typu detekovaných předmětů, jejich vzdálenosti a fyzikálních podmínkách. [31]

6.3 Inerciální sensorová jednotka MinIMU-9 v2

Inerciální sensorová jednotka MinIMU-9 v2 se skládá z tří nezávislých senzorů. Prvním senzorem je tříosý gyroskop L3GD20, druhým senzorem je integrovaný obvod LSM303DLHC, který umožňuje měřit zrychlení a magnetické pole Země. Tato jednotka byla vyrobena pro amatérské účely, jelikož jednotlivé senzory jsou velice malé a práce s nimi by byla v amatérských podmínkách velice obtížná.



Obr. 6.6 Schéma vnitřního zapojení inerciální měřicí jednotky MinIMU-9 v2. [32]

Jak je vidět na Obr. 6.7, zařízení MinIMU-9 v2 se skládá ze dvou sensorických integrovaných obvodů, ze stabilizátoru napětí a napěťového přizpůsobení na sběrnici I2C. Napájení jednotky může být prováděno napětím v rozmezí od 2,5 V DC do 5,5 V DC. Toto napětí je dále stabilizováno vestavěným stabilizátorem napětí na 3,3 V při maximálním odběru 150 mA. Toto napětí je dostupné pro externí zařízení na vývodu VDD. Jednotlivé senzory jsou připojeny k interní I2C sběrnici, která pracuje na napěťové úrovni rovné 3,3 V. Pro komunikaci s externím prvkem se tu nacházejí dva mosfety, které umožňují napěťové přizpůsobení výstupnímu signálu. Toto řešení je navrženo například při použití MCU řady Atmega, kdy je napětí na I2C sběrnici rovno 5 V, což by bez napěťového přizpůsobení mohlo tyto senzory zničit. Díky tomuto rozvržení je možné pomocí I2C adresace individuálně přistupovat k jednotlivým senzorům.

Toto zařízení bylo použito pro možnost vyhodnocení sklonu terénu, akcelerace a též pro určení orientace robotu v systému světových stran.

6.3.1 Schéma zapojení sensorové jednotky MinIMU-9 v2

MinIMU-9 v2



Obr. 6.7 Schéma zapojení senzorové jednotky MinIMU-9 v2. [33]

Piny 1 – SCL a pin 2 – SDA (počítáno z vrchní strany jednotky) jsou určeny pro signály I2C sběrnice, na pin 3 – GND je vyvedena zem zařízení, pin 4 - VIN je určen pro zapojení vstupního napětí a na pinu 5 - VDD je vyvedeno napětí z integrovaného stabilizátoru (3,3 V při maximálně 150 mA). Pokud používáme zařízení pracující v rozsahu 2,5 V až 3,3 V, tak pin 5 – VDD slouží jako přívod napětí (2,5V až 3,3 V). Při tomto zapojení se nesmí zapojit napětí VIN a VDD zároveň! [32]

6.3.2 Základní parametry jednotky MinIMU-9 v2

Tab. 6.4 Základní parametry senzoru MinIMU-9 v2. [33]

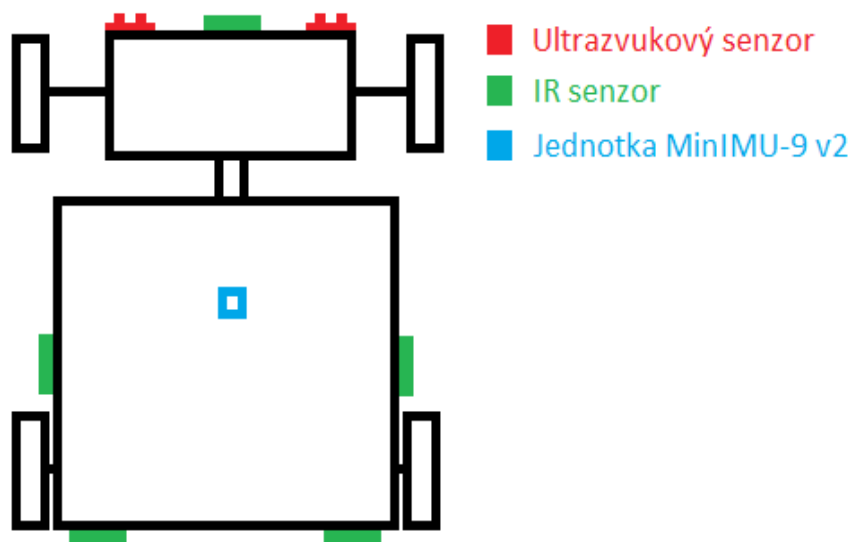
Napájecí napětí	2,5 V DC až 5,5 V DC
Typický proudový odběr	10 mA
Výstupní napětí VDD	3,3 V (150 mA)
Typy datového výstupu	
Gyroskop	16 bit (každá osa)
Akcelerometr	12 bit (každá osa) left-justified
Kompas	12 bit (každá osa) right-justified
Citlivost zařízení	
Gyroskop	± 250 °/s, ± 500 °/s nebo ± 2000 °/s
Akcelerometr	± 2 g, ± 4 g, ± 8 g nebo ± 16 g
Kompas	$\pm 1,3$ gauss až $\pm 8,1$ Gs

Další detaily ohledně jednotlivých senzorů jsou uvedeny v manuálech [34, 35].

6.4 Volba počtu a předběžného rozmístění jednotlivých senzorů

Volbu umístění senzorů jsme prováděli společně s Bc. Jiřím Zatloukalem, jelikož bylo žádoucí, aby se tato část pro jednotlivé práce nemusela měnit.

Při návrhu jsme vycházeli z dostupných finančních prostředků, měřících charakteristik senzorů a funkčních požadavků na provoz robotu. Po úvaze všech aspektů jsme navrhli předběžné rozmístění senzorů tak, jak je zobrazeno na Obr. 6.9. V přední části robotu jsou umístěny dva ultrazvukové senzory SRF08, které jsou díky své vyšší všesměrovosti ideálním řešením pro snímání překážek ve směru jízdy. Na levé i pravé straně robotu jsme umístili jeden IR senzor, který bude snímat vzdálenost překážek, které budou po stranách robotu. Poslední dva IR senzory byly umístěny do zadní části vozu, kde budou plnit svou funkci při případném couvání. Posledním senzorem umístěným na robot bude inerciální senzorová jednotka MinIMU-9 v2.



Obr. 6.8 *Předběžný návrh rozmístění senzorů.*

7 NÁVRH ELEKTRONIKY

Jedním z hlavních cílů práce bylo navrhnout elektroniku, která bude zpracovávat data ze senzorů. Návrh schémat byl proveden ve spolupráci s Bc. Jiřím Zatloukalem, jelikož tato část byla našim diplomovým pracím společná. Tvorba a návrh plošného spoje byla provedena mnou. K návrhu elektroniky byl využit program od firmy CadSoft Eagle 6.2.0.

7.1 Obecné požadavky

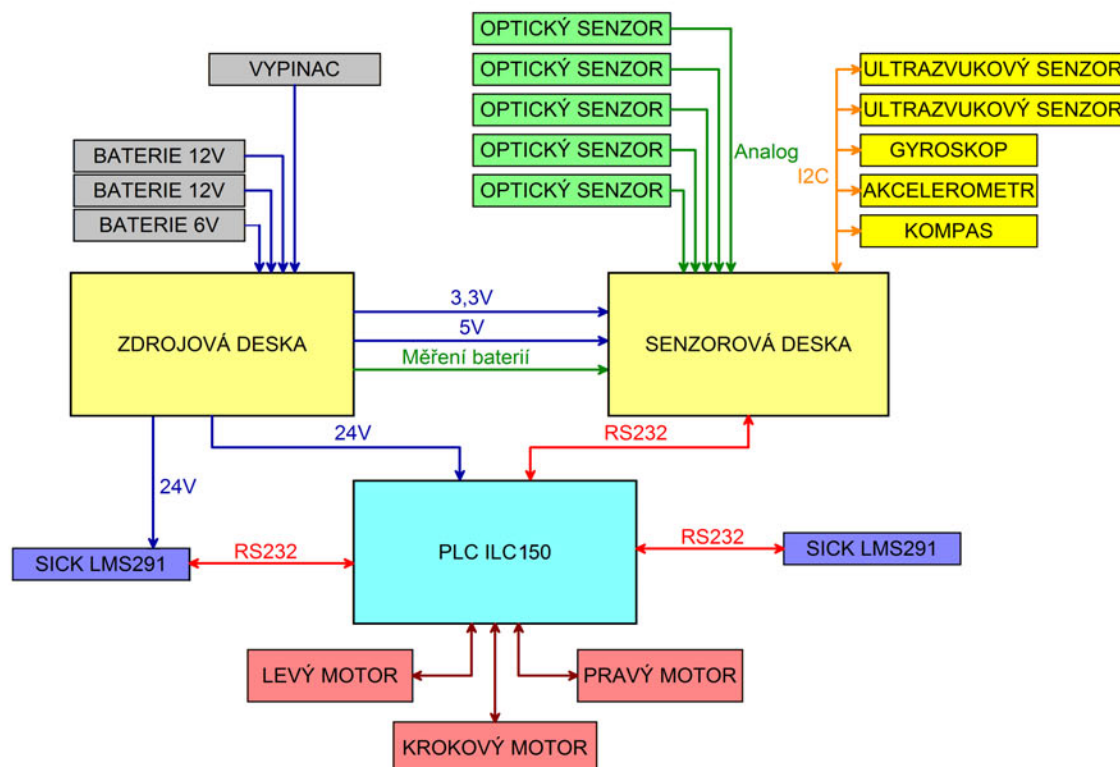
Jedním z hlavních požadavků na elektroniku bylo její možné použití pro obě varianty řízení robotu, tzn. řízení pomocí PLC nebo řízení pomocí platformy Raspberry Pi, kterou navrhoval Bc. Jiří Zatloukal. Z těchto důvodů jsme se přiklonili k modulárnímu konceptu elektroniky, kdy byla elektronika rozdělena na dva základní moduly a to na sensorový modul a zdrojový modul.

Základním požadavkem na sensorový modul byla schopnost vyčítání dat ze všech senzorů, které budou použity k navigaci robotu. Dalšími požadavky na sensorovou desku byly možnosti měření stavu akumulátorů robotu a komunikace s řídicími prvky v obou verzích řešení (řízení s PLC, řízení s Raspberry Pi).

Zdrojová deska by měla být dostatečně dimenzována pro poskytování stejnosměrného napětí všem periferiím robotu v obou případech řešení. Dále by měla obsahovat možnost připojení měření akumulátorů, pojistkový obvod a v neposlední řadě vstupy ze všech akumulátorů a jejich vypnutí.

7.2 Návrh zapojení

Z požadavků uvedených v kapitole 7.1 jsem navrhl jednoduché blokové schéma mého řešení řízení robotu, které je zobrazeno na Obr. 7.1.



Obr. 7.1 Blokové schéma zapojení robotu.

Jak je vidět z Obr. 7.1, do zdrojové desky vstupuje napětí z dvou 12 V akumulátorů, které budou zapojeny sériově pro dosažení požadovaného napětí, a jednoho 6 V akumulátoru. Tyto akumulátory je možné vypnout pomocí vypínače, který bude připojen ke zdrojové desce pomocí kabelů a vyveden na dostupné místo. Zdrojová deska bude v mém případě napájet senzorovou desku napětím 3,3 V a 5V. Toto napětí je nutné k napájení některých senzorů a mikropočítače ATxmega16A4, který byl zvolen jako hlavní řídicí prvek senzorové desky. Dále zdrojová deska napájí PLC a SICK napětím 24 V. Ze zdrojové desky je do senzorové desky vyvedeno měření akumulátorů.

Senzorová deska je napájena 3,3 V a 5V. Obsahuje rozhraní I2C pro připojení ultrazvukových senzorů SRF08 a inerciální senzorové jednotky MinIMU-9 v2, která je tvořena gyroskopem, kompasem a akcelerometrem. Další možností je připojení analogových signálů do senzorové desky. Ty jsou přivedeny z optických snímačů a z měření napětí na akumulátorech. Jedním z dalších a posledních rozhraní je rozhraní RS232, které je určeno k zasílání dat do nadřazeného zařízení, v mém případě do PLC.

Posledním hlavním blokem ve schématu zapojení je PLC, které je napájeno 24 V. Do PLC je pomocí komunikačního rozhraní RS232 připojeno zařízení SICK a senzorová deska, která skrze toto rozhraní zasílá zpracovaná data ze senzorů. Posledními prvky, které jsou k PLC připojeny, jsou pohonové motory s inkrementálními enkodéry a krokový motor řízení.

7.3 Zdrojová deska

Zdrojová deska byla navržena pro oba typy řízení (PLC, Raspberry). Zdrojová deska bude obsahovat vstupy pro dva 12 V akumulátory a jeden 6 V akumulátor. Výstupní napětí, poskytovaná zdrojovou deskou, budou hodnoty 24 V, 12 V, 6 V, 5 V a 3,3 V. Dále zde budou výstupy pro nabíjení akumulátorů, vstup vypínače, výstupy pro měření napětí na akumulátorech, pojistky, a signalizační LED diody.

7.3.1 Návrh schématu zdrojové desky

➤ Návrh napěťových vstupů

Do zdrojové desky je přiváděno napětí 12 V z dvou olověných akumulátorů, bude tedy nutné dvou konektorů ARK 300/2. Poslední typ napěťového vstupu je vstup 6 V z olověného akumulátoru. K připojení tohoto napětí byl použit jeden konektor ARK 300/2.

➤ Návrh napěťových výstupů

Prvním krokem, který bylo nutné provést, bylo zvolení počtu jednotlivých vstupů a výstupů. Při volbě počtu výstupů byl brán zřetel na možnost napájení obou řešení řízení robotu s možností připojení dalších zařízení, které by mohly být k robotu připojeny.

Napětí 24 V slouží k napájení zařízení SICK. V budoucnu se uvažuje o zapojení dvou těchto laserových dálkoměrů a proto zde budou umístěny dva výstupy na napájení zařízení SICK s devítipinovými konektory CANON. Napětí 24 V se také používá pro napájení PLC a pohonové desky Bc. Jiřího Zatloukala. Budou zde tedy umístěny dva konektory typu ARK 300/2. Tento typ konektorů je použit u všech dalších výkonových vstupů a výstupů.

Napětí 12 V je určeno pouze k napájení pohonové desky, proto byl počet konektorů ARK 300/2 zvolen roven dvěma.

Napětí 6 V je použito pouze k napájení servomotoru řízení, zde byl použit jeden konektor ARK 300/2.

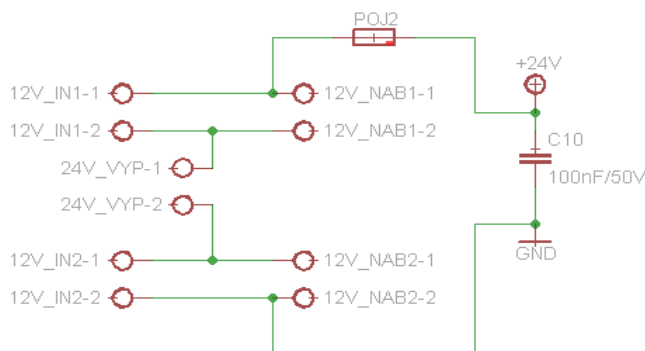
Napětím 5 V je napájena řídicí jednotka Raspberry Pi, senzorová a pohonová deska. V budoucnu se uvažuje o možnosti použití krokových motorů k otáčení s určitými senzory, proto zde byl zvolen počet čtyř konektorů ARK 300/2.

Poslední napěťovou úrovní je 3,3 V. Toto napětí je použito k napájení senzorové a pohonové desky. Byly použity čtyři výstupy s konektory ARK 300/2.

➤ Ostatní typy konektorů

Zbývající konektory jsou určeny pro vypínač, nabíjení akumulátorů a měření napětí na akumulátorech.

Vypínač je dvoupólový a je určen ke spínání 6 V a 24 V větve. Pro připojení vypínače jsou použity konektory AKR 300/2. Schéma zapojení 24 V větve je zobrazeno na Obr. 7.2



Obr. 7.2 Schéma zapojení vstupního obvodu 12 V akumulátorů.

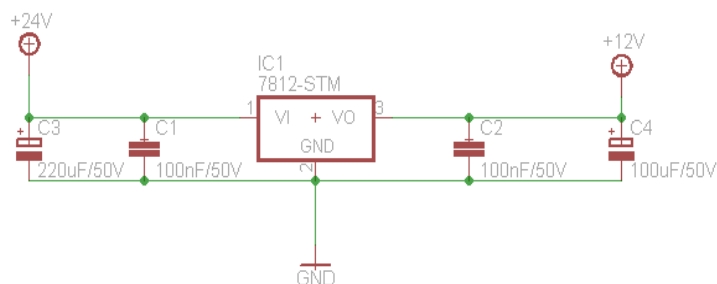
Zde je vidět jakým způsobem je realizováno připojení 12 V akumulátorů, vypínače a konektorů pro nabíjení. Také je zde umístěna pojistka, která jistí 24 V větev. Vstupy z baterií jsou označeny 12V_IN1 a 12V_IN2, tyto vstupy jsou poté propojeny pomocí vypínače, který je připojen na konektor s označením 24V_VYP. Nabíjení baterií je možné pouze s vypnutým vypínačem a to na konektorech 12V_NAB1 a 12V_NAB2.

Posledními použitými výstupními konektory jsou dva konektory PSH02-02P, které jsou použity k připojení měření napětí na akumulátorech.

➤ Obvody stabilizátorů

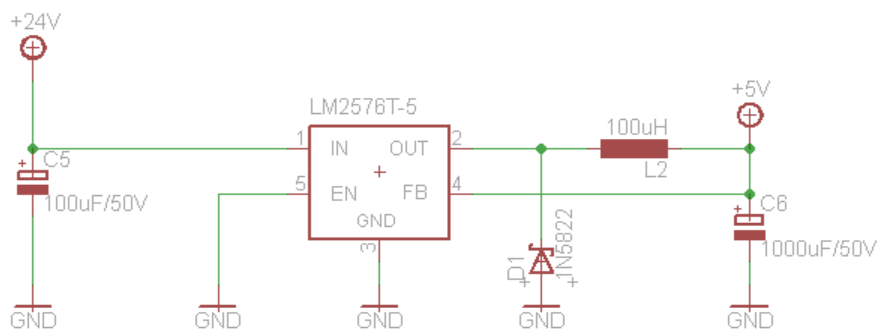
Pro vytvoření napájení bylo použito tři stabilizátorů. Při volbě těchto stabilizátorů byl brán v potaz proudový odběr, ztrátový výkon a potřebné poskytované napětí. Po uvažování všech těchto aspektů jsme se rozhodli pro tři typy stabilizátorů. Prvním z nich je 12 V lineární stabilizátor 7812 – STM, pro který je vstupní napětí rovno 24 V. Dalším stabilizátorem je spínaný 5 V stabilizátor LM2576T – 5, pro který je použito vstupní napětí 24 V. Posledním použitým stabilizátorem je stabilizátor LF 33CV, který je zapojen kaskádově a jeho vstupní napětí je rovno 5 V, které pro něj vytváří stabilizátor LM2576 – T.

Lineární stabilizátory byly použity v případech, kde není velký proudový odběr v kombinaci s velkým úbytkem napětí. V našem případě se jednalo o 12 V a 3,3 V větve, kdy 12 V napájení je použito pouze pro pohonovou desku, respektive pro napájení MOSFETů na h-můstku. Další lineární stabilizátor je 3,3 V stabilizátor LF33CV, který je určen pro napájení řídicích mikropočítačů a některých senzorů, které mají obecně velmi nízkou spotřebu a ztrátový výkon je zde minimální.



Obr. 7.3 Schéma zapojení stabilizátoru 7812 – STM.

Stabilizátor který měl poskytovat 5 V, měl relativně vysoký proudový odběr způsobený řídicí jednotkou Raspberry Pi. Při volbě jsme uvažovali použití kaskádového zapojení, čímž bychom snížili napěťový úbytek na stabilizátoru, ale ani v tomto případě by toto opatření nebylo dostatečné a vznikla by další komplikace, která by byla spojena s nutností pořízení výkonnějšího stabilizátoru pro 12 V. Tento poměrně velký úbytek na napětí a vysoký proudový odběr nám neumožnil jinou volbu než zvolit spínaný typ stabilizátorů, který je znám svou velkou účinností a malými tepelnými ztrátami. Při volbě tohoto typu stabilizátoru jsme vybírali mezi více výrobci a různými typy, kde dostupnost samotných stabilizátorů nebyla problémem, avšak potýkali jsme se s malou dostupností některých dalších potřebných komponentů. Z tohoto důvodu jsme vybrali dobře dostupný stabilizátor LM2576 – T.

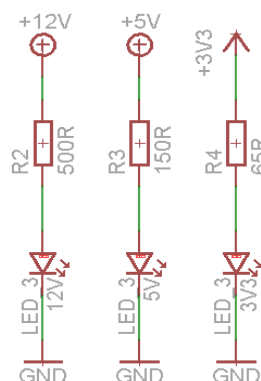


Obr. 7.4 Schéma zapojení spínaného stabilizátoru LM2576 – T.

➤ Popis ostatních prvků na zdrojové desce

Dalším prvkem, který se nachází na zdrojové desce jsou signalizační LED diody, které indikují přítomnost požadovaného napětí. Tyto diody jsou připojeny na 12 V, 5 V a 3,3 V větve. Pro zapojení diod bylo nutné provést výpočet předřadných odporů, které zajišťují odpovídající proud na diodě.

Signalizace napětí



Obr. 7.5 Schéma zapojení signalizačních diod na zdrojové desce.

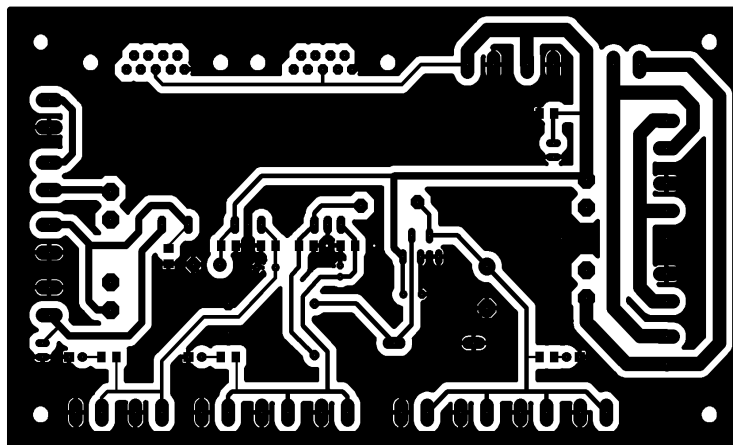
Posledním důležitým prvkem, který se nachází na zdrojové desce je dioda BYW80. Tato dioda je určena ke snížení napěťové úrovně 6 V akumulátoru. Napětí z akumulátoru je určeno pro napájení

servomotoru řízení. V případě, že by akumulátor dodával napětí o hodnotě 6 V, by nevznikl žádný problém. Ovšem olověné akumulátory jsou známy svou vlastností, že po nabití akumulátoru dochází ke zvýšení napětí nad uváděnou hodnotu (až 6,5 V). Toto navýšení napětí by již nebylo přijatelné pro napájení servomotoru a proto zde byla v sérii, v propustném směru, zapojena dioda pro snížení tohoto napětí. Napěťový úbytek na této diodě činí přibližně 0,85 V, což je pro naše účely dostačující. [38]

Kompletní schéma zdrojové desky je přiloženo v příloze E.

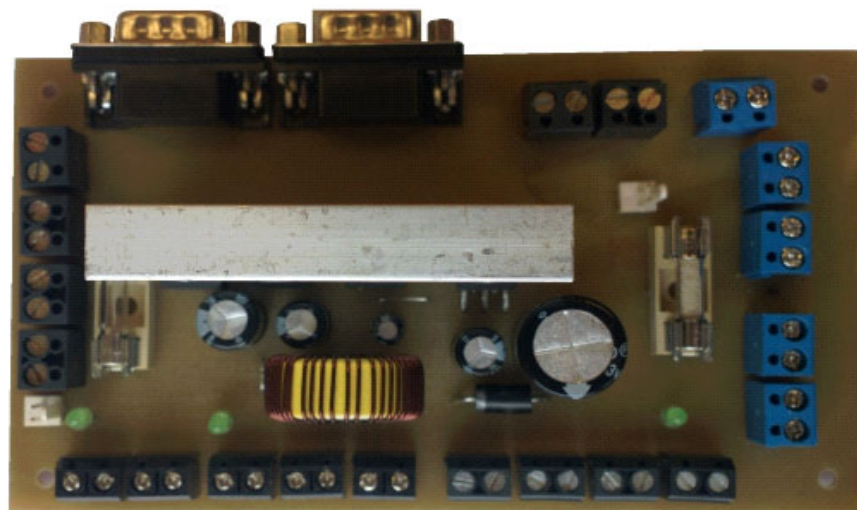
7.3.2 Návrh a výroba plošného spoje zdrojové desky

Návrh plošného spoje zdrojové desky byl přizpůsoben rozměrovým požadavkům montáže desky na kostru robotu. Dalším požadavkem bylo logické rozmístění jednotlivých prvků, zejména konektorů a stabilizátorů. Stabilizátory a dioda disponovali výkonovými pouzdry, které byly umístěny v jedné linii, aby k nim bylo možné připevnit pasivní chladič. Návrh zapojení zdrojové desky byl prováděn pro jednovrstvý plošný spoj, místa která nebylo možné propojit, byly spojeny metalickými propoji. Při návrhu plošného spoje jsem vycházel z obecně známých technologických a návrhových požadavků. Mezi základní patří například volba šířky cesty v závislosti na proudovém odběru, volba vhodného rastru pro rozmístění součástek, návrh co nejkratších cest, atd.



Obr. 7.6 Předloha plošného pro výrobu zdrojové desky.

Pro výrobu zdrojové desky byl použit fotocitlivý jednovrstvý cuprexit. Předlohy plošného spoje byly vyexportovány ze softwaru Eagle 6.2.0 a předány ke zhotovení firmě CTP tisk. Tato firma se mimo jiné zabývá osvitem filmů. Tato technologie je pro výrobu předloh pro plošné spoje vyráběné fotocestou ideální a to z důvodu minimální prostupnosti světla předlohou, což zajišťuje kvalitní vyleptání tenkých cest a není zapotřebí velké opatrnosti při volbě času osvitu desky. Poté je předloha přiložena k fotocitlivému cuprexitu a proveden osvit ultrafialovým světlem po dobu 6 minut. Poté byla deska vložena do vývojky a v oblasti, kde byla deska osvícena, byl smyt fotocitlivý lak. Dále byla deska vložena do lázně chloridu železitého a postupně vyleptána měď, kde nebyl fotocitlivý lak. V posledním kroku byly pomocí mikropáječky napájeny všechny součástky.



Obr. 7.7 Vyrobená zdrojová deska.

7.4 Senzorová deska

Senzorová deska je napájena napětím 3,3 V 5 V. Hlavním prvkem senzorové desky bude MCU ATxmega16A4 od firmy Atmel. Toto MCU bylo zvoleno především kvůli většímu rozlišení integrovaného AD převodníku. Řada MCU ATxmega disponuje integrovanými AD převodníky o rozlišení 10 bitů a řada ATxmega má toto rozlišení 12 bitů. Toto MCU je také modernější a výkonnější, může být napájeno napětím 2,7 V až 3,6 V při frekvenci 32 MHz. Dalšími podstatnými prvky senzorové desky jsou konektory, které zajišťují připojení většiny senzorů na robota. Pro připojení senzorů je zde použito analogových vstupů a I2C sběrnice, která musí obsluhovat jak 5 V zařízení, tak zařízení s napájením 3,3 V. Poté se na desce nachází konektory pro komunikaci (RS232) a programování MCU (PDI). Pro budoucí využití jsou zde vyvedeny 4 třípinové konektory pro krokové motory. Na desce se též nachází tlačítko reset pro restartování MCU a desetipinový konektor MLW10G, kde jsou k dispozici nepoužité piny MCU.

7.4.1 Schéma senzorové desky

➤ Návrh konektorů

Při návrhu počtu a typu konektorů senzorové desky jsme vycházeli z počtu připojených zařízení. Do senzorové desky je přivedeno napájecí napětí o hodnotě 3,3 V a 5 V, k tomuto účelu byly použity konektory ARK 300/2.

Pro připojení všech senzorů byly použity konektory PSH02 – 0xP, kde x označuje počet pinů konektoru. Tyto konektory jsou násuvné se zámkem, což je pro mobilní aplikaci výhodné, jelikož nehrozí uvolnění kabeláže. Konektory pro sběrnici I2C jsou typu PSH02 – 04P, na jednotlivých pinech konektorů se nachází signály SDA (pin PE0), SCL (pin PE1), napájení dle napěťové úrovně (3,3 V nebo 5 V) a zem. Těchto konektorů je dohromady 7, 4 pro připojení 5 V zařízení a 3 pro připojení 3,3 V zařízení. K senzorové desce jsou připojeny IR snímače vzdálenosti, ty jsou napájeny 5 V a jejich výstup je analogový signál. Z tohoto důvodu jsme pro jejich zapojení zvolili třípinové konektory PSH02 – 03P. Analogový signál je též přiveden ze zdrojové desky, respektive z baterií. Zde postačuje použití dvoupinového konektoru PSH02 – 02P, kde je na jednom pinu vyvedena zem a na druhém analogový signál.

Dále se na senzorové desce nachází programovací rozhraní PDI. Toto rozhraní využívá čtyř vodičů (VCC, GND, PDI_DATA, PDI_CLK), avšak v rámci sjednocení s běžným zapojením používaným firmou Atmel jsme zvolil šestipinový konektor MLW06, kde jsou dva piny nezapojeny. Posledním komunikačním rozhraním na senzorové desce je konektor pro RS232. Zde byl použit devítipinový konektor CANON. Ovládání komunikace na tomto konektoru obsluhuje USARTD1

(PD6, PD7).

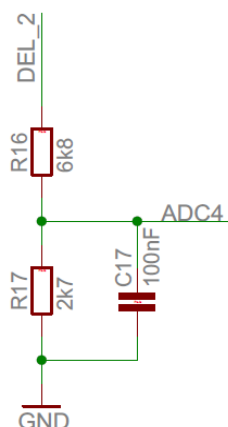
Senzorová deska též obsahuje čtyři třípinové konektory typu S1G pro připojení krokových motorů. Na jednotlivých pinech je k dispozici napájecí napětí 5 V, zem a PWM signál (piny PD0 až PD3) pro řízení krokových motorů. Posledním konektorem je konektor pro vyvedení nepoužitých pinů MCU. V rámci univerzálnosti a přehlednosti jsme návrh přizpůsobili tak, aby zůstaly nepoužity piny jednoho portu (PC0 až PC7) a také jsme zde vyvedli napájecí napětí a zem. Tyto výstupy nejsou žádným způsobem ošetřeny a je nutné mít toto na vědomí.

➤ Návrh zapojení MCU ATxmega16A4

Mikropočítač ATxmega16A4 byl zapojen dle zapojení, které je doporučené výrobcem. Napájení MCU je zajištěno pomocí napětí 3,3 V. Každý napájecí pin MCU by měl u sebe obsahovat filtrační kondenzátor o kapacitě 100 nF, který slouží i jako zdroj energie při skokových změnách odběru elektrické energie. Tyto kondenzátory by se měly nacházet za kondenzátorem o kapacitě 10 uF, který primárně slouží jako vyrovnávací zdroj elektrické energie při skokovém odběru. Ačkoli MCU obsahuje interní hodinový krystal, externí krystaly jsou podstatně přesnější a pro komunikaci přes sériovou linku je přesnost hodinového kmitočtu nezbytná. Proto zde byl použit externí 16 MHz krystal jako zdroj hodinového kmitočtu. Poslední periferií, nezbytnou k našemu použití MCU, je programovací rozhraní PDI. Schéma zapojení MCU je přiloženo v příloze F. [39]

➤ Návrh zapojení analogových vstupů

Při návrhu systému měření analogových vstupů jsme se rozhodli pro použití interního AD převodníku a interní napěťové reference. Tato volba nám zjednoduší návrh elektroniky, jelikož nebudeme muset navrhovat externí napěťovou referenci. V našem případě by ani externí napěťová reference nebyla příliš velkým přínosem, jelikož bychom stále museli pro většinu analogových vstupů používat děliče napětí (maximální úroveň externího referenčního napětí je $V_{cc} - 0,6$ V). Hodnotu interní napěťové reference jsme si zvolili rovnu 1 V, proto je nezbytné, aby analogové vstupy obsahovaly děliče napětí, které přizpůsobí napěťovou úroveň maximálně na 1 V. Pokud bychom rozdělili analogové vstupy dle napěťových úrovní, které je k nim možné připojit, pak má senzorová deska čtyři typy analogových vstupů. Prvním typem je vstup bez děliče napětí, zde je konektor přímo připojen na piny MCU. Do těchto pinů se nebude v naše případě nic připojovat, jsou to pouze univerzální analogové vstupy, které musí být při případném použití měření napětí vyšších než 1 V opatřeny napěťovými děliči. Druhým typem analogového vstupu je vstup s děličem, který je navržen pro připojení měření napětí na 6 V akumulátoru. Třetí typ analogového vstupu je obdobný jako typ druhý, pouze se jedná o měření napětí na 24 V akumulátoru. Při návrhu obou předešlých variant analogových vstupů bylo uvažováno nejvyšší možné napětí po nabití baterií. U vstupu z 24 V akumulátoru byl narůst tohoto napětí podstatně vyšší, jelikož jsou baterie zapojeny v sérii a tato výchylka napětí se tedy z jednotlivých baterií sčítá. Posledním, čtvrtým typem analogového vstupu je vstup pro IR senzory. Tento vstup také obsahuje napěťový dělič a jeho hodnota je přizpůsobena maximální hodnotě na analogovém výstupu z IR senzoru.

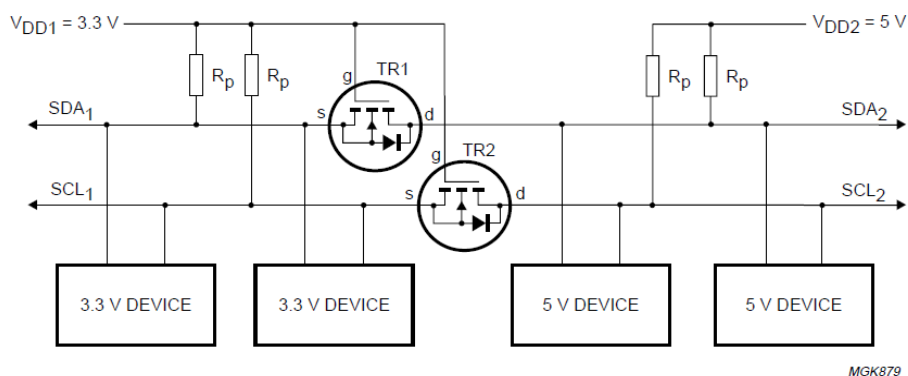


Obr. 7.8 Schéma napěťového děliče pro vstup z IR senzoru.

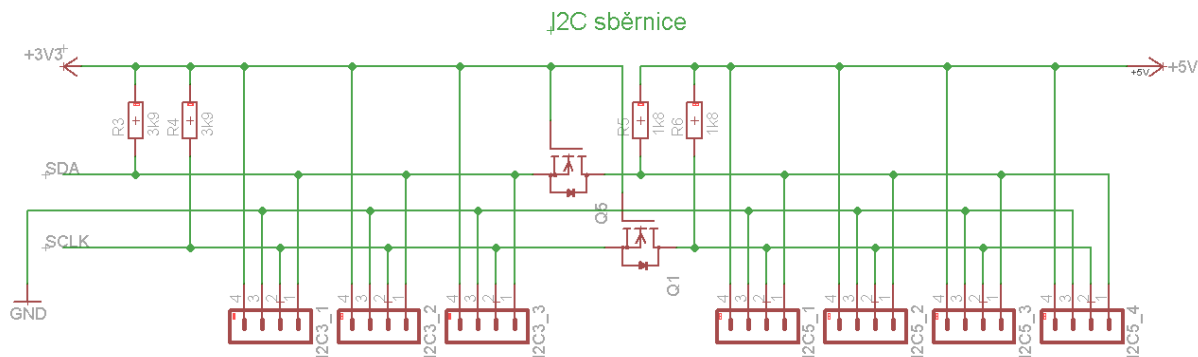
➤ Návrh I2C rozhraní

Robot obsahuje dva typy senzorů, které komunikují skrze I2C rozhraní. Prvním typem je ultrazvukový snímač vzdálenosti SRF08. Tento senzor je napájen napětím 5 V a také napětíová úroveň na sběrnici I2C je rovna 5 V. Druhý typ senzoru je inerciální senzorová jednotka MiniIMU-9 v2, která může být napájena napětím 2,5 V až 5 V. Ovšem v tomto případě nemá senzor danou pevnou napětíovou úroveň I2C sběrnice, jelikož má ve svém vnitřním zapojení implementovány dva MOSFETy, které slouží k napětíovému přizpůsobení mezi vnitřní a vnější I2C sběrnici (zařízení se přizpůsobí napětíové úrovni připojené I2C sběrnice) viz Obr. 6.7. Mikroprocesory řady ATxmega mají napětíovou úroveň sběrnice I2C rovnou napájecímu napětí a to je maximálně 3,6 V a v našem případě 3,3 V. Z tohoto je zřejmé, že bude nutné navrhnout napětíové přizpůsobení mezi I2C (TWI) piny MCU a I2C sběrnici na kterou budou připojeny ultrazvukové snímače vzdálenosti SRF08.

Napětíové přizpůsobení jsme realizovali dle [36] (Obr. 7.9) pomocí dvou MOSFETů BSS138 (Obr. 7.10), kde je linka SCL připojena na pin PE1 a linka SDA na pin PE0.



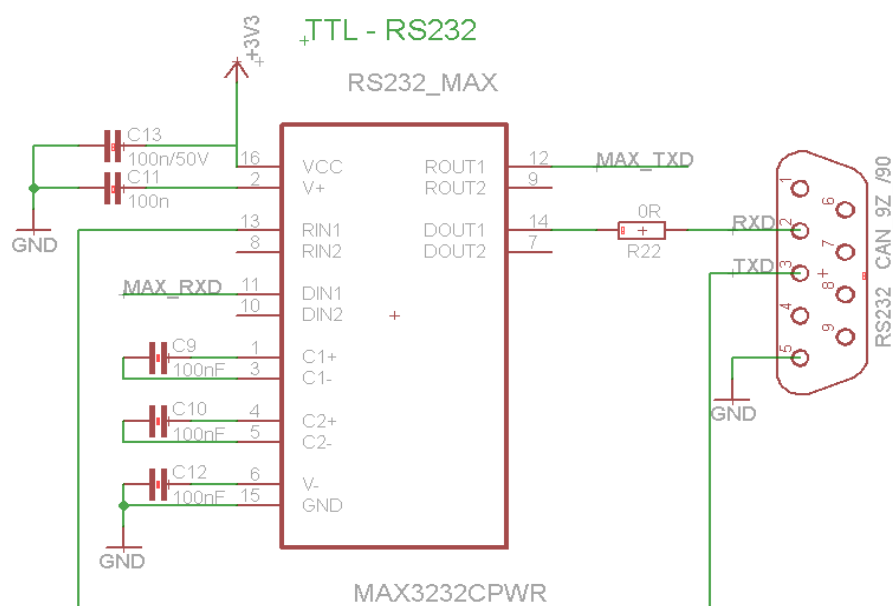
Obr. 7.9 Schéma napětíového přizpůsobení I2C sběrnice dle [36].



Obr. 7.10 Schéma I2C sběrnice na senzorové desce.

➤ Popis zapojení MAX3232CPWR

Převodník MAX3232CPWR od firmy Texas Instruments slouží k převodu napětíových úrovní z TTL na RS232 a naopak. Je napájen napětím od 3 V do 5,5 V. Obsahuje dvě nábojové pumpy, díky kterým je vytvořeno potřebné napětí na straně RS232. Pro správnou funkci nábojových pump je nutné připojení dvou kondenzátorů na piny 1, 3 a 4, 5. Tento obvod umožňuje připojení klasických keramických kondenzátorů o kapacitě 100 nF namísto speciálních tantalových kondenzátorů. Schéma zapojení je zobrazeno na Obr. 7.11. [40]

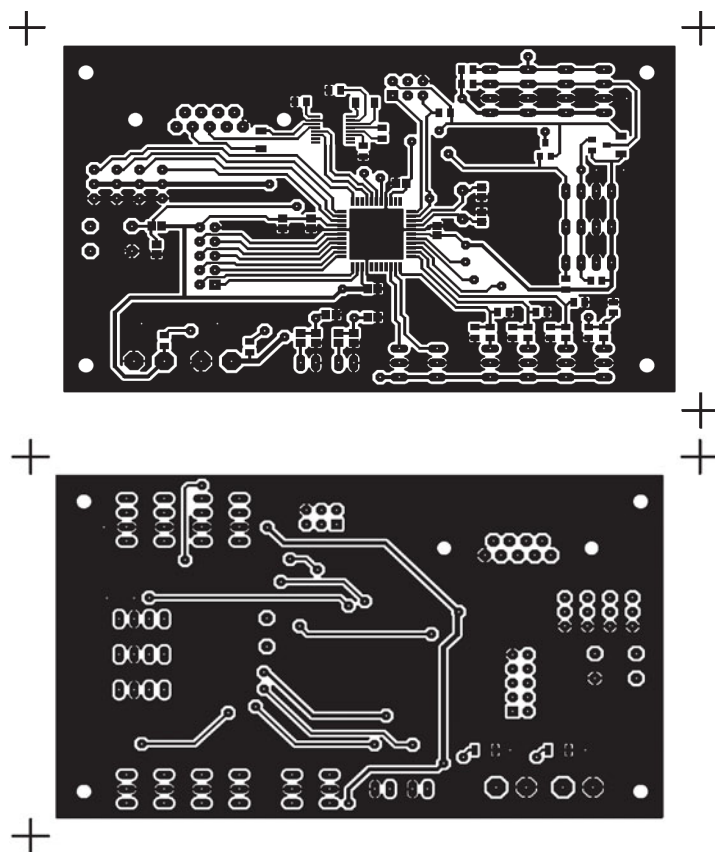


Obr. 7.11 Schéma zapojení převodníku MAX3232CPWR.

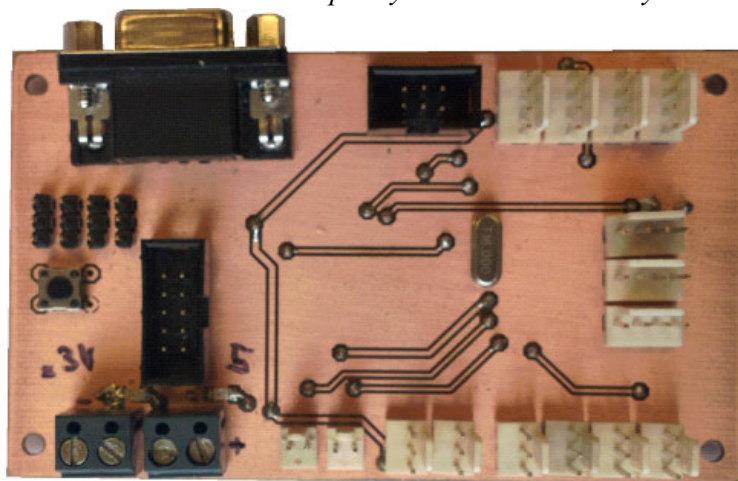
7.4.2 Návrh a výroba plošného spoje senzorové desky

Návrh plošného spoje vycházel z rozmístění jednotlivých pinů na MCU. Jednotlivé konektory a komunikační rozhraní byly umístěny tak, aby nedocházelo k přílišnému křížení cest a přitom nebyl problém s montáží.

Tvorba plošného spoje senzorové desky probíhal velice podobně, jako je popsáno v kapitole 7.2.3. Jediným větším rozdílem bylo použití oboustranného fotocitlivého cuprexitu, kvůli větší složitosti zapojení. Při tvorbě předloh byly na krajích umístěny tři středící značky, které byly poté použity k vzájemnému přesnému umístění obou předloh (TOP a BOTTOM). Pokud by toto vzájemné umístění nebylo přesné, vyvstal by problém při vrtání děr a pájení součástek. Návrh senzorové desky s umístěnými středícími kříži je zobrazeno na Obr. 7.12.



Obr. 7.12 Předloha pro výrobu senzorové desky.



Obr. 7.13 Vyrobená senzorová deska.

8 ÚPRAVY KONSTRUKČNÍ ČÁSTI

Úpravy konstrukční části robotu byly prováděny společně s Bc. Jiřím Zatloukalem za účelem univerzálnosti navrhované konstrukce.

Při úpravách jsme museli v zadní části robotu vytvořit konstrukci pro uchycení PLC, 24 V akumulátorů a elektroniky. V přední části se změny týkaly především uchycení zařízení SICK, které bylo umístěno o 3 cm výše, aby se do prostoru pod něj dal umístit 6 V akumulátor pro napájení servomotoru řízení. Dále bylo nutné uchytit 6 V baterii a vytvořit držák pro dva ultrazvukové senzory, který byl upevněn v přední části vozu.

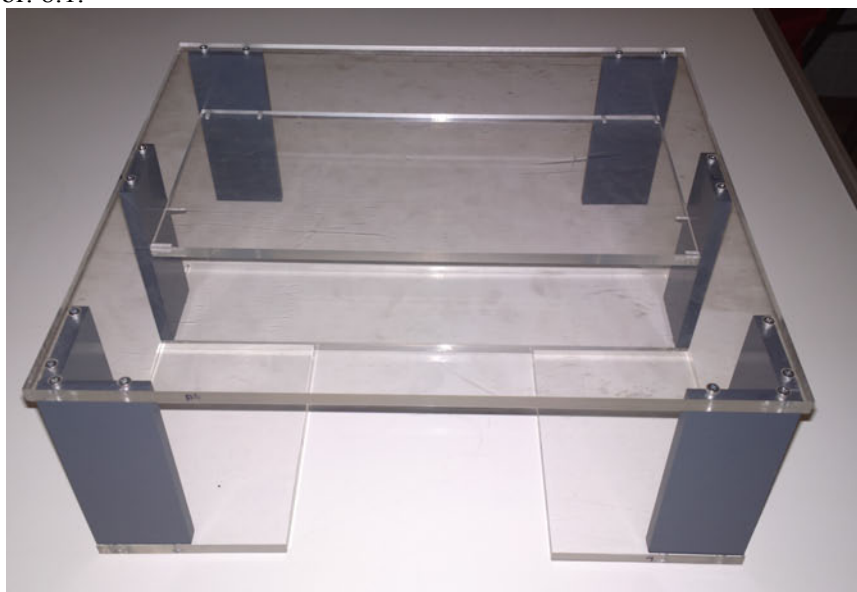
8.1 Úprava umístění laserového dálkoměru SICK LMS 291

Laserový dálkoměr je umístěn v přední části vozu, kde mapuje terén před robotem. Umístění tohoto zařízení bylo již v minulosti upraveno Bc. Michalem Deďem, ten přesunul SICK ze zadní části robotu do přední části, kde ho upevnil tak, aby zde byl prostor pro servomotor řízení. V našem případě jsme tuto nosnou konstrukci SICKu pozměnili a SICK je umístěn o 3 cm výše, což nám umožňuje umístění 6 V akumulátoru do oblasti před servomotorem řízení.

Původní nosná konstrukce byla vyrobena ze slitiny hliníku. Tento materiál jsme neměli k dispozici a proto jsme použili netradiční materiál s jménem Corian. Tento materiál je tvrdý, křehký, po zahřátí plastický. Jde velice dobře obrábět a pod teplem ohýbat do různých tvarů v závislosti na teplotě a síle materiálu. Součást byla vyrobena na čtyřosém obráběcím centru Cosmec Conquest 260. Výkres této části je v příloze C1.

8.2 Nosná konstrukce pro programovatelný automat

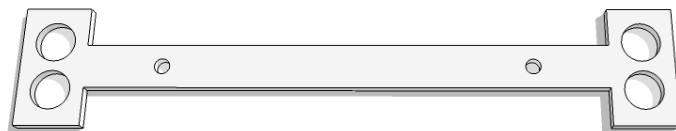
Pro umístění elektroniky a programovatelného automatu bylo nutné vytvořit nosnou konstrukci, která by toto umožňovala. Pro tuto konstrukci jsme jako hlavní materiál použili plexisklo v kombinaci s plastem. Při návrhu jsme kladli velký důraz na tuhost této konstrukce a k její montáži jsme využili kombinaci metrických šroubů M3 se zapuštěnou hlavou a lepidla Ponal. Výsledek je zobrazen na Obr. 8.1.



Obr. 8.1 Nosná konstrukce pro PLC a elektroniku.

8.3 Díl pro upevnění ultrazvukových senzorů SRF08

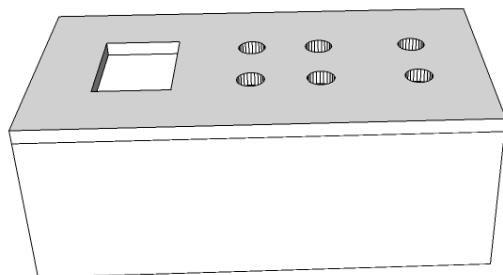
Ultrazvukové senzory SRF08 jsou určeny k montáži do přední části robotu. Po zvážení všech možností jsme se rozhodli, že bude držák obou senzorů vyroben z jednoho kusu corianu a bude připevněn pomocí šroubů, kterými jsou připevněny nárazníky. Toto řešení poskytuje velkou tuhost upevnění. Senzory se nacházejí až za nárazníky, z toho vyplývá, že při chybě nehrozí přímý náraz do senzorů a zároveň nejsou ovlivňovány koly, které jsou po jejich stranách.



Obr. 8.2 Díl pro upevnění senzorů SRF 08.

8.4 Panel s vypínačem a nabíjecími konektory

Posledním prvkem, který byl vyroben je panel s konektory pro nabíjení olověných akumulátorů a s vypínačem pro vypnutí robotu. Tento panel byl vyroben obráběním tvrzeného polystyrénu a dále slepen pomocí lepidla Ponal.



Obr. 8.3 Panel s vypínačem a nabíjecími konektory.

9 NÁVRH FIRMWAREU

Návrh firmwaru byl poslední krok, který byl na diplomové práci proveden. V mém případě se jedná o tvorbu firmwaru pro senzorovou desku, respektive pro MCU ATxmega16A4 a řídicí jednotku PLC ILC 350 ETH. Tyto dva firmwary by mezi sebou měly být schopny komunikovat a sdílet potřebná data.

Základní koncept je nastaven tak, že PLC si vyžaduje data ze senzorové desky, která je neustále načítá ze senzorů a v závislosti na typu požadavku tyto data odesílá zpět do PLC, kde jsou v závislosti na vstupních datech ze senzorové desky provedeny patřičné kroky jako zatočení, brzdění, couvání, popřípadě vyžádání dalších dat ze senzorové desky.

9.1 Návrh firmwaru pro ATxmega16A4

Pro programování MCU je využíváno programátoru AVR Dragon, který využívá programovací rozhraní PDI. Pro návrh a tvorbu programu je využíván volně šiřitelný software firmy Atmel – Atmel Studio 6.

Firma Atmel v posledních letech velice zlepšila své vývojové prostředí, jenž se dříve nazývalo AVR Studio, které bylo postaveno na programovacím prostředí Microsoft Visual Studia. Vývoj aplikací v tomto programu byl velice pozadu za konkurencí, která nabízela různé knihovní funkce atd. V současné době firma Atmel vyvinula nové vývojové prostředí s názvem Atmel Studio 6. Na tomto programu není na první pohled vidět příliš mnoho změn oproti verzi AVR Studio 5, avšak zásadní změnou je plná integrace ASF (Atmel Software Framework). ASF je velice mocný nástroj pro vývoj nových aplikací, jelikož poskytuje vysokou úroveň abstrakce, dobrou dokumentaci a velké množství příkladů použití jednotlivých periférií. To ve výsledku znamená, že vývoj aplikací je podstatně rychlejší a efektivnější.

9.1.1 Popis práce s Atmel Software Framework

Práce s ASF spočívá ve využívání integrovaných knihoven, které se vkládají do daného řešení. K přístupu ke knihovnám použijeme ASF wizard (ikona na panelu nástrojů). Knihovny se dělí do tří základních skupin, Drivers které jsou na nejnižší úrovni a obstarávají nastavení hardwaru, poté tu je skupina Services, která obsahuje funkce, jež využívají rozhraní skupiny Drivers. A poslední skupinou je skupina Components, v které jsou definována různá externí zařízení jako LCD displeje, různé senzory atd.

Pokud chceme například pracovat se sériovou linkou, tak v ASF Wizardu vyhledáme knihovnu USART ve skupině Services. Jakmile knihovnu najdeme, označíme ji a dáme Add to selection, poté potvrdíme a do projektu se nám automaticky vloží všechny potřebné moduly pro sériovou komunikaci. V tomto případě se především jedná o služby a ovladače System Clock Control a IOPORT. Pokud chceme tyto služby používat a neznáme přesný způsob, jakým se tyto služby používají, tak se na kartě v Solution Exploreru přepneme na ASF Explorer, kde jsou zobrazeny nápovědy ke všem použitým modulům.

V následující části si ukážeme příklad zprovoznění RS232 komunikace na pinech USARTD1 na uživatelsky vytvořené elektronice s externím krystalovým oscilátorem o frekvenci 16 MHz (naš případ). V prvním kroku přidáme všechny potřebné služby přes ASF Wizard (USART service). Další postup bude znázorněn v jednotlivých bodech.

Nastavení typu, frekvence a doby náběhu externího oscilátoru (modul `conf_board.h`).

```
#define BOARD_XOSC_HZ          16000000
#define BOARD_XOSC_TYPE        XOSC_TYPE_XTAL
#define BOARD_XOSC_STARTUP_US  1000
```

Nastavení frekvence na jednotlivých sběrnicích ATxmegey (`conf_clock.h`).

```
#define CONFIG_SYSCLK_SOURCE    SYSCLK_SRC_PLL
#define CONFIG_SYSCLK_PSADIV    SYSCLK_PSADIV_1
#define CONFIG_SYSCLK_PSBCDIV  SYSCLK_PSBCDIV_1_2
#define CONFIG_PLL0_MUL         (32000000UL / BOARD_XOSC_HZ)
#define CONFIG_PLL0_DIV         1
```

Nastavení parametrů sériové komunikace, jedná se pouze o zlepšení abstrakce (modul `conf_board.h`).

```
#define USART_SERIAL            &USARTD1
#define USART_SERIAL_BAUDRATE   115200
#define USART_SERIAL_CHAR_LENGTH USART_CHSIZE_8BIT_gc
#define USART_SERIAL_PARITY      USART_PMODE_DISABLED_gc
#define USART_SERIAL_STOP_BIT    false
```

Inicializace portů pro USARTD1 (modul `init.c`).

```
ioport_configure_pin(IOPORT_CREATE_PIN(PORTD,7), IOPORT_DIR_OUTPUT | IOPORT_INIT_HIGH);
ioport_configure_pin(IOPORT_CREATE_PIN(PORTD,6), IOPORT_DIR_INPUT);
```

Inicializace uživatelské elektroniky a dalších modulů, které byly přidány pomocí ASF Wizardu (modul `main.c`).

```
board_init();
sysclk_init();
```

Nastavení parametrů RS232 pomocí výše definovaných hodnot (modul `main.c`).

```
static usart_rs232_options_t USART_SERIAL_OPTIONS = {
    .baudrate =          USART_SERIAL_BAUDRATE,
    .charlength =        USART_SERIAL_CHAR_LENGTH,
    .paritytype =         USART_SERIAL_PARITY,
    .stopbits =          USART_SERIAL_STOP_BIT
};
```

Inicializace RS232 rozhraní (`main.c`)

```
usart_init_rs232(USART_SERIAL, &USART_SERIAL_OPTIONS);
```

Nyní jsme schopni plnohodnotně pracovat s rozhraním RS232 pomocí funkcí, které jsou také obsaženy v knihovně USART. Jak je na tomto příkladu vidět, jedná se o intuitivní programování s vysokou úrovní abstrakce. V kombinaci s vestavěnou nápovědou, knihovnami a ukázkovými zdrojovými kódy se stává Atmel Studio 6 s modulem ASF velice dobrým programovacím prostředím.

9.1.2 Základní vlastnosti firmwaru senzorové desky

Firmware senzorové desky je obsluhován jednoduchým operačním systémem (scheduler), který je postaven na principu časové fronty úloh, které mají být v daném čase vykonávány. Jedná se o kooperativní způsob řízení, kdy je vždy dokončena jedna funkce a až poté se začne vykonávat funkce další. Tento systém se skládá z datové struktury, inicializační funkce, funkce obsluhující přerušení, funkce pro přidávání úloh do fronty, funkce pro odebírání úloh z fronty a funkce, která zaručuje provedení funkce, která má být spuštěna. O tomto způsobu řízení chodu embedded systému více v [41].

Pro řízení celého systému je třeba inicializovat časovač, který bude skrze přerušení v pravidelných časových intervalech obsluhovat celý systém správy scheduleru, v našem případě je tato perioda rovna 1 ms. Fronta úloh musí mít definovaný rozsah a je tvořena polem ukazatelů na funkce. Fronta může obsahovat celou řadu parametrů, dle kterých je vyhodnoceno, která úloha má být vykonána. V našem případě je použito pouze časového údaje. Po vykonání funkce je funkce z fronty úloh odstraněna. Tento systém je použit pro kompletní řízení chodu firmwaru senzorové desky.

Pro vyčítání dat z jednotlivých senzorů bylo nutné implementovat obsluhu I2C sběrnice a zpracování dat z analogových vstupů, to bylo provedeno pomocí knihoven z ASF. Sběr dat z jednotlivých senzorů může probíhat v pravidelných periodách nebo na vyžádání. Tyto data jsou zpracovány a je z nich vytvořen datagram, který je na žádost odeslán do nadřazeného prvku skrze rozhraní RS232.

Dalším prvkem, který bylo nutné zprovoznit, byla sériová komunikace s nadřazeným prvkem. Komunikace (38400 bit/s) probíhá přes USARTD1, jehož piny jsou přivedeny na převodník MAX3232CPWR, který převádí úroveň TTL na úroveň RS232. Toto komunikační rozhraní bylo použito pro odesílání datagramů s daty ze senzorů a pro přijímání příkazů z nadřazeného prvku, viz Tab. 9.1. Pro zpracování příkazů byl použit syntaktický analyzátor (parser), který přijaté příkazy zpracoval a dále byly zařazeny do fronty úloh.

Příkazy, které je možné posílat skrze RS232 jsou zobrazeny v Tab 9.1.

Tab. 9.1 Seznam dostupných příkazů.

Příkaz	Význam
sask	Nastavení režimu „na vyžádání“ (data jsou ze senzorů 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

Jednotlivé parametry senzorové desky mají nastavené výchozí hodnoty, ale je zde možnost tyto parametry změnit a uložit do paměti EEPROM, která tyto parametry uchovává i bez napájení. Jednotlivé nastavitelné parametry mají určité povolené rozsahy, kvůli nežádoucím efektům na hardware nebo software.

9.2 Firmware programovatelného automatu ILC 150

Pro testování a demonstraci funkce realizovaného řešení byl navrhnut firmware, který umožňuje otestování základních pohybů robotu v závislosti na datech přijatých ze senzorové desky. V programu byla pevně stanovena cesta robotu a poté, jakmile se robot při testovací jízdě přiblížil k překážce, došlo k jeho zastavení.

Z tohoto vyplývá, že bude nutné implementovat řízení zadních hnacích kol, ovládání servomotoru řízení a komunikaci skrze rozhraní RS232.

9.2.1 Elektronický diferenciál

Prvním prvkem, který byl do firmwaru PLC implementován, bylo řízení hnacích motorů. V našem případě, kdy je použit Ackermannův podvozek, bylo nutné vyřešit rozdílnou obvodovou rychlost zadních kol. To je způsobeno při zatáčení, kdy by se vnitřní hnané kolo mělo otáčet menší rychlostí než kolo vnější, aby nedocházelo ke zvýšenému tření a špatnému kontaktu kol s podložkou. K tomuto účelu byl použit elektronický diferenciál, který pomocí regulace rychlosti kol tento problém omezil. Elektronický diferenciál zajišťuje změnu rychlostí kol v závislosti na úhlu natočení předních kol. Pro řízení hnacích kol bylo použito dvou servozesilovačů IB IL DC AR 48/10A, který byl použit v rychlostním režimu, kdyby byl používán rychlostní a proudový regulátor. Pro zjišťování aktuální rychlosti bylo použito dvou karet IB IL INC-IN, které načítaly hodnoty z inkrementálních snímačů a v závislosti a na frekvenci pulzů byla určena aktuální rychlost. Tato rychlost byla dále použita ke stanovení regulační odchylky. Pro konfiguraci servozesilovačů je použito sběrnice INTERBUS, kdy má servozesilovač rezervováno 48 bitů pro každý datový směr a 16 bitů pro PCP kanál. Při vytváření programu, respektive nastavování parametrů servozesilovače, bylo nutné kontrolovat v jakém operačním stavu se servozesilovač nachází a v závislosti na tom provádět jednotlivé kroky do doby, než je servozesilovač ve stavu Operation Enabled, což znamená, že je připraven k provozu. Poté bylo řízení motorů prováděno v závislosti na požadované rychlosti a směru jízdy. [25]

9.2.2 Ovládání servomotoru řízení

Program pro řízení řídicího servomotoru využívá rozšiřující kartu IB IL PWM/2. Komunikace s tímto zařízením je zajištěna pomocí dvou procesních slov a je schopné pracovat ve více režimech. V našem případě bude použit režim PWM s frekvencí 50 Hz. Natočení kol bude poté dáno střídou signálu. Námi používaný servomotor má krajní maximální hodnoty natočení při šířce pulzu 0,6 ms a 2,4 ms, nulového natočení je dosaženo při šířce pulzu 1,5 ms.

Obr. 9.1 Ukázka organizace procesních dat pro nastavení PWM modulu.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	0	Period length (5 bits)					Duty cycle in 0.39% per LSB (8 bits)							
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
5			0					6				7			

9.2.3 Komunikace pomocí RS232

Hlavní činností sériového rozhraní je komunikace se senzorovou deskou a laserovým dálkoměrem SICK. Pro tento účel jsou použity dvě rozšiřující karty IB IL RS 232-PRO PAC.

Pro programování byly použity knihovny od firmy Phoenix Contact, které jsou volně ke stažení na jejich serveru. Komunikace se senzorovou deskou je realizována při rychlosti 38400 bit/s. Přijímaná data jsou ukládána a dále použita k nastavení některých parametrů servozesilovače a karty generující PWM signál pro servomotor. Seznam příkazů používaných ke komunikaci se senzorovou

deskou je uveden v Tab. 9.1. Koncept komunikace po sériové lince je zmíněn v kapitole 9.1.2.

Sériového rozhraní RS232 je též využíváno při komunikaci se zařízením SICK. Data z tohoto zařízení nejsou použita k navigaci robotu a proto jsou pouze vyčítána bez dalšího zpracování.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byla realizace řízení čtyřkolového robota z laboratoře A1/731a pomocí PLC firmy Phoenix Contact. K tomuto účelu měla být navržena a vyrobena elektronika, která bude zpracovávat data z námi navržených senzorů. Pro řešení tohoto problému bylo nutné provést seznámení se s již existující konstrukcí robota, návrh typu, počtu a umístění senzorů, které budou umožňovat navigaci robota v prostoru, aby mohlo být prováděno mapování prostředí pomocí laserového dálkoměru SICK LMS 291. Dále bylo nutné navrhnout předběžný koncept blokového uspořádání řízení, tato část byla prováděna společně s Bc. Jiřím Zatloukalem, jelikož jeho diplomová práce se též zabývala tímto problémem a bylo žádoucí navrhnout modulární koncept řešení, který by byl použitelný pro obě varianty diplomových prací. Po navržení konceptu řešení byl v závislosti na požadavcích navrhnut použitý typ PLC a jeho rozšiřujících karet. V dalších krocích byl proveden návrh nosné konstrukce pro umístění PLC a elektroniky, návrh elektroniky pro zpracování dat ze senzorů, výroba této elektroniky a v poslední části bylo proveden návrh firmwaru a demonstrace zhotoveného řešení.

V druhé části jsem se seznámil s mechanickou částí robota navrženou Šimonem Vrátillem a dále upravenou Bc. Michalem Deďem. Robot byl tvořen děleným podvozkem s koly, dvěma olověnými akumulátory, dvěma stejnosměrnými hnacími motory a na nich umístěnými inkrementálními enkodéry, servomotorem ovládajícím řízení, konstrukcí pro laserový dálkoměr a samotným laserovým dálkoměrem. Konstrukce robota z kterého jsem vycházel, je zobrazena v příloze A.

Ve třetím kroku jsme s Bc. Jiřím Zatloukalem navrhli počet a typ jednotlivých senzorů. Data z těchto senzorů by měly umožňovat bezproblémové řízení robota v interiérech. Při této volbě jsme vycházeli z jednotlivých parametrů senzorů a z finančních možností. Byly zvoleny tři typy senzorů, ultrazvukový snímač vzdálenosti SRF08 (2 ks), IR senzor vzdálenosti GP2Y0A21YK0F (5 ks) a inerciální senzorová jednotka MinIMU-9 v2 (1 ks).

Při návrhu blokového schématu řízení byla nutná spolupráce s Bc. Jiřím Zatloukalem. V této části jsme navrhli koncept řešení tak, aby jej bylo možné využít pro splnění cílů obou diplomových prací při minimálními ekonomické náročnosti. Pro mé řešení to znamenalo zapojení dle Obr. 7.1, kdy bylo rozhodnuto o zhotovení zdrojové a senzorové desky.

Po volbě konceptu řešení byly navrženy rozšiřující karty pro PLC. Tyto karty musely být schopné obsluhovat řízení stejnosměrných motorů, vyčítání dat z inkrementálních snímačů, ovládání servomotoru řízení a musely poskytovat komunikační rozhraní RS232. V závislosti na požadovaném výkonu a na volbě typu a počtu rozšiřujících karet byl zvolen jiný typ PLC (ILC 150 ETH), než který je uveden v zadání práce (ILC 350 ETH). Tato volba byla zdůvodněna v kapitole 5.4 a navržena po konzultaci s vedoucím práce. Prvky vybrané v této části jsou uvedeny v Tab. 5.7.

V další fázi byla navržena a vyrobena elektronika pro zpracování dat ze senzorů. V této části jsem spolupracoval s Bc. Jiřím Zatloukalem a to při návrhu elektrických schémat obou desek. Návrh plošných spojů, výroba a oživení bylo provedeno mou osobou. Zdrojová deska byla navržena tak, aby byla dostatečně dimenzována pro obě aplikovaná řešení. Zdrojová deska obsahuje napěťové výstupy o nominálních napětích 3,3 V pro napájení řídicích jednotek a senzorů, 5 V pro napájení některých senzorů a řídicí jednotky Raspberry Pi (řešení Bc. Jiřího Zatloukala), 6 V pro napájení servomotoru řízení, 12 V pro napájení části elektroniky pohonové desky (řešení Bc. Jiřího Zatloukala), 24 V pro napájení PLC, zařízení SICK a pro napájení pohonové desky (řešení Bc. Jiřího Zatloukala). Na zdrojové desce byly také umístěny dva konektory, které umožňují měření napětí na akumulátorech. Další elektronickou částí byla senzorová deska, která by měla umožňovat zpracování dat ze senzorů a následné odesílání těchto dat skrze rozhraní RS232. Sensory připojené k senzorové desce jsou dvou typů. První typ komunikuje skrze rozhraní I2C a u druhého typu jsou naměřené hodnoty reprezentovány analogovou veličinou. Pro zpracování těchto dat byl použit MCU ATxmega16A4, který obsahuje všechny potřebné periferie. Pro sběrnici I2C muselo být navrženo napěťové

přizpůsobení, jelikož ultrazvukové senzory pracují na napěťové úrovni rovné 5 V, jež není kompatibilní se vstupy MCU ATxmega16A4. Senzorová deska dále obsahuje analogové vstupy, PDI rozhraní pro programování a komunikační rozhraní RS232. Tyto desky jsem vyrobil pomocí fotocesty. Při ožívování této elektroniky se objevil problém se špatným zapojením integrovaného obvodu MAX3232CPWR, kde byly zaměněny signály RX a TX vedoucí z MCU.

V následující části práce byl navržen firmware pro sensorovou desku a PLC. Základním společným požadavkem těchto firmwarů byla jejich komunikační kompatibilita. Té bylo dosaženo použitím komunikace RS232 při maximální rychlosti 38400 bit/s. Jednotlivé firmwary mezi sebou komunikují pomocí příkazů, které jsou uvedeny v Tab. 9.1. Firmware sensorové desky zajišťuje obsluhu senzorů připojených po I2C sběrnici, zpracování dat z analogových vstupů a obsluhu komunikačního rozhraní RS232. Firmware byl programován v programu Atmel Studio 6, kdy byly používány knihovny z integrovaného modulu ASF, a poté nahrán do MCU ATxmega16A4. Firmware PLC umožňuje sběr dat z laserového dálkoměru SICK LMS 291, komunikaci se sensorovou deskou a na základě dat ze sensorové desky zajišťuje ovládání servomotoru řízení a řízení hnacích motorů.

Funkce robotu byla otestována naprogramováním sekvence jednoduchých pohybů do firmwaru PLC. Poté byl robot umístěn do místnosti s kvádrovými překážkami a spuštěn. Při přiblížení se k překážce došlo k jeho automatickému zastavení na základě vyhodnocení přijatých dat ze senzorů. Tímto byla ověřena funkčnost řešení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VRÁTIL, Šimon; *Návrh a realizace konstrukce autonomního mobilního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, PhD..
- [2] DEĐO, M.; *Řízení čtyřkolového mobilního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, PhD..
- [3] ŠVARC, I.; M. ŠEDA a M. VÍTEČKOVÁ. *Automatické řízení*. Brno: CERM, 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-2491-2.
- [4] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-7225-030-2
- [5] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 01 0197
- [6] ŠOLC, F.; NEUŽIL, T.; HRABEC, J.; ŠEMBERA J.; *Kinematický model kolového, smykem řízeného robota*. AT&P journal PLUS1; Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [7] DOROFTEI, I.; GROSU, V. a SPINU, V.; *Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots*, InTech: University Campus SteP Ri, 2007, 544 s.
- [8] Obr. 3.4 Druhý typ čtyřkolového všesměrového podvozku [online]. Dostupné z: <http://www.mhobbies.com/arduino-compatible-4wd-omni-directional-mobile-robot-kit.html>
- [9] ČERNOHORSKÝ, J.; *Základy robotiky – Úvod do mobilní robotiky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2007. Prezentace.
- [10] Obr. 3.6 Čtyřkolový Ackermannův podvozek.[online]. Dostupné z: <http://armyordnance.tpub.com/OD1007/OD10070009.htm>
- [11] CHARLES, M.; *Anatomy of Robot*. Spojené státy americké: TheMcGraw-Hill Companies, 2003. 321 s. ISBN 0-07-141657-9.
- [12] Obr. 3.9 Robot Scarab se speciálním uchycením kol [online]. Dostupné z: <http://www.frc.ri.cmu.edu/~dkohanba/KDC/project/>
- [13] SIEGWART, R.; NOURBAKHSH, I.; *Introduction to Autonomous Mobile Robots* [online]. Massachusetts, 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/9780262015356_sch_0001.pdf
- [14] Obr. 3.11 Podvozek s Weinsteinovy koly [online]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/theses/517/>
- [15] NOVÁK, P.; *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1
- [16] Obr. 3.12 Vývojový kit XMEGA-A1 Xplained [online]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/tools/AVRXPLAIN.aspx>
- [17] Obr. 3.13 Mini PC Raspberry Pi. [online]. Dostupné z: <http://www.bit-tech.net/modding/2013/03/22/raspberry-pi-case-competition-update/1>
- [18] <http://www.raspberrypi.org/> [online]. [cit. 2013-05-05]. FAQ. Dostupné z WWW: <http://www.raspberrypi.org/faqs>
- [19] <http://beagleboard.org/> [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z WWW: <http://beagleboard.org/Products>

- [20] 22 V DC permanent magnet geared motor [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z WWW: <http://www.ebay.co.uk/itm/CANON-67-7W-22V-DC-Servo-Motor-with-encoder-and-gearbox-fit-for-CNC-Routers-/171026006066>
- [21] General specification of HS-5745MG digital quarter scale servo [online]. Hitec RCD Korea, 2003 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.hitecrd.co.jp/RC/servo/specsheet/35745.pdf>
- [22] SICK LMS Technical Description [online]. SICK AG Germany, 2003 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/LMS%20Technical%20Description.pdf>
- [23] HEDM-55xx/560x & HEDS-55xx/56xx Quick Assembly Two and Three Channel Optical Encoders [online]. March, 2012 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1046EN>
- [24] ILC 350 ETH, Technické údaje [online]. 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z WWW: <http://eshop.phoenixcontact.cz/phoenix/treeViewClick.do?reloadFrame=true&UID=2737203&parentUID=440721528>
- [25] User manual: Inline servo amplifier for DC motors with brushgears [online]. Blomberg, 2003 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/um_en_ib_il_dc_ar_48_10a_6949_en_00.pdf?cp=y&asid2=4568685651965
- [26] Obr. 5.6 Servozesilovač IB IL DC AR 48/10 A [online]. Dostupné z: http://eshop.phoenixcontact.cz/phoenix/assets/produktbild.do?url=/phoenix/images/productimages/large/20344_1000_int_04.jpg&save_button=false
- [27] Inline terminal for incremental data [online]. Blomberg, 2009 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_gb_ib_il_inc_in_6390_en_07.pdf?cp=y&asid2=1929555534400
- [28] IB IL RS 232-PRO (-PAC); Inline terminal for serial data transmission [online]. Blomberg, 2008 [cit. 2013-05-12]. http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_rs_232_pro_pac_7112_en_03.pdf?cp=y&asid2=5931286842101
- [29] IB IL PWM/2 (-PAC); Inline Function Terminal for Pulse Width Modulation and Frequency Modulation [online]. Blomberg, 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_pwm_2_pac_6920_en_01.pdf?cp=y&asid2=1881726104395
- [30] GP2Y0A21YK0F: Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance [online]. December, 2006 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.sharpsma.com/webfm_send/1489
- [31] Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://coecsl.ece.illinois.edu/ge423/DevantechSRF08UltraSonicRanger.pdf>
- [32] Schematic Diagram for the Pololu MinIMU-9 v2 [online]. Pololu, 2012 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.pololu.com/file/0J565/MinIMU-9_v2_schematic.pdf
- [33] MinIMU-9 v2 Gyro, Accelerometer, and Compass (L3GD20 and LSM303DLHC Carrier) [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z WWW: <http://www.pololu.com/catalog/product/1268>
- [34] MEMS motion sensor: three-axis digital output gyroscope [online]. February, 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00036465.pdf>
- [35] Ultra compact high performance e-compass 3D accelerometer and 3D magnetometer module [online]. 2011 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://www.pololu.com/file/download/LSM303DLHC.pdf?file_id=0J564

- [36] *The I2C-bus specification* [online]. Version 2.1, 2001 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/other/39340011.pdf>
- [37] *User manual Installing and operating the ILC 130 ETH, ILC 150 ETH, ILC 155 ETH, ILC 170 ETH 2TX, and ILC 190 ETH 2TX Inline controllers UM EN ILC IXX* [online]. Blomberg, 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/um_en_ilc_1xx_7805_en_06.pdf?cp=y&asid2=029096918204338
- [38] *BYW80-200* [online]. June, 2008 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BYW80-D.PDF
- [39] *8/16-bit XMEGA A4 Microcontroller ATxmega128A4, Atxmega64A4, ATxmega32A4 ATxmega16A4* [online]. December, 2010 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc8069.pdf>
- [40] *MAX3232 multichannel RS232 line driver/receiver* [online]. January, 2004 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/slls410i/slls410i.pdf>
- [41] PONT, Michael; *Patterns for time-triggered embedded systems*. Oxford: ACM European service center, 2013.

SEZNAM PŘÍLOH

- A. Obrazová příloha výchozí konstrukce robotu
- B. Schéma zdrojové desky
- C. Schéma senzorové desky
- D. Výrobní výkresy jednotlivých konstrukčních částí robotu
 - D1. Výrobní výkres nosné konstrukce pro zařízení SICK
 - D2. Výrobní výkres držáku pro senzory SRF08
- E. Schéma elektrického návrhu zdrojové desky
- F. Schéma elektrického návrhu senzorové desky
- G. Obrazové přílohy zhotoveného robotu
- H. CD s elektronickou formou diplomové práce