

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

AUTONOMNÍ ROBOTICKÉ VOZIDLO

Radek Řeháček

Diplomová práce
2018

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek Řeháček**
Osobní číslo: **I16196**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Autonomní robotické vozidlo**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Cílem diplomové práce je návrh a realizace autonomního robotického vozidla s možností dálkového, bezdrátového řízení nadřazeným řídicím systémem - osobním počítačem. Pro konstrukci robotického vozidla bude použit vybraný typ podvozku. Elektronika řídicího systému vozidla bude realizována modulárně, na bázi mikrokontrolérů fy Atmel, řady ATmega a bude svým uspořádáním tvořit hierarchickou řídicí strukturu. Pro zajištění řízení pohybu vozidla bude použita příslušná senzorická síť pro zajištění správné funkce antikolizního systému a požadovaného pohybu vozidla. Požadovaným pohybem vozidla bude např. jízda po vodící čáře, autonomní pohyb ve vymezeném, virtuálním, prostoru, antikolizní, nebo vyhledávací pohyb. Pro regulační smyčky vozidla budou použity regulátory se zvolenou strukturou. Součástí práce bude popis současného stavu technických řešení v oblasti mobilních robotů a jejich praktického využití. Dále kompletní technická dokumentace, včetně zdrojových kódů firmware mikropočítačů a software nadřazeného řídicího systému - osobního počítače.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

EVERETT, H., R. Sensors for Mobile Robots, Theory and Applications. 1.vyd. A.K.Peters, Ltd. ISBN 1-568811-048-2

NOVÁK, P. Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení, BEN-technická literatura, Praha 2007, ISBN 80-7300-141-1

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce:

31. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. listopadu 2017

Prohlášení

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18. 5. 2018

Radek Řeháček

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při realizaci autonomního robotického vozidla. Velké poděkování patří především mé rodině za podporu během celého studia.

V Pardubicích dne 18. 5. 2018

Radek Řeháček

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem a realizací funkčního modelu autonomního robotického vozidla na dálkové ovládání. Elektronika modelu je realizována modulárně na bázi mikrokontroléru firmy Atmel, řady ATmega. K naprogramování řídicí jednotky je použito vývojové prostředí Arduino IDE. Virtuální prostředí bylo vytvořeno v herním engine Unity3d a programováno v jazyce C#. Práce obsahuje seznámení s technickou i softwarovou částí robotického vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

ATmega, Atmel, Arduino, logické řízení, autonomní vozidla, Unity3d.

TITLE

AUTONOMOUS ROBOTIC VEHICLE

ANNOTATION

The thesis deals with the design and realization of the functional model of autonomous robotic vehicle on remote control. The electronics of the model is implemented modularly based on Atmel microcontroller, ATmega series. To program the control unit is used Arduino IDE. Virtual environment was created in the Unity3d game engine and programmed in C# programming language. The thesis includes introduction to the technical and software part of the robotic vehicle.

KEYWORDS

ATmega, Atmel, Arduino, Logic control, Autonomous vehicles, Unity3d.

OBSAH

	Seznam zkratk a značek	9
	Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	10
	Seznam ilustrací	11
	ÚVOD	13
1	REŠERŠE.....	14
1.1	Robotika.....	14
1.2	Roboty.....	15
1.3	Stupně autonomie vozidel.....	20
2	TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRINCIPY	22
2.1	Typy podvozků užívaných u pohyblivých robotů.....	22
2.2	Druhy náprav v automobilovém průmyslu	23
2.3	Elektromotory	25
2.4	Frekvenční měniče	26
2.5	Bateriové systémy	27
2.6	Složení systémů.....	28
2.7	Dálkové ovládání	30
2.8	Řídicí systémy.....	32
2.9	Řídicí jednotky.....	33
2.10	Infračervené senzory	34
2.1.10	Infra vysílač – 520E940C	35
2.2.10	Infračervený přijímač – LTR-3208	35
2.11	Mikrokontrolér atmega328p	36
2.12	Arduino	37
2.13	Arduino Uno	38
2.14	H-můstek.....	38
2.15	Pulzní šířková modulace	39
2.16	Stejnoseměrný měnič napětí	40
2.17	Optoelektronický snímač otáček.....	41
2.18	Snímač vodící čáry.....	42
2.19	Ultrazvukový dálkoměr.....	43
3	PRAKTICKÁ REALIZACE.....	45
3.1	Topologie robota.....	45

3.2	Dálkové ovládání robota	55
3.3	Programování arduino	56
3.4	Rotační enkodér	58
3.5	Řízení motorů vozidla	62
3.6	Sledování vodící čáry – infračervené senzory	63
3.7	Měření vzdálenosti – ultrazvukové senzory	65
3.8	Měření vzdálenosti – infračervené senzory	68
3.9	Řídicí jednotka	71
3.10	Regulace jízdy	76
3.11	Virtuální prostor	82
4	ZHODNOCENÍ	85
5	ZÁVĚR	86
	POUŽITÁ LITERATURA	87
	PŘÍLOHY	89

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

IR	infra red (infračervené)
MCU	microcontroller (mikrokontrolér)
PWM	pulse width modulation (pulzní šířková modulace)
RC	radio control (rádiově ovládané)
UZ	ultrasound (ultrazvuk)
RO	regulační obvod
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)
PSD	proporcionálně sumačně diferenční (regulátor)
IDE	integrated development environment (vývojové prostředí)
DC	direct current (stejnoseměrný elektrický proud)
AC	alternating current (střídavý elektrický proud)

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

D	změřená vzdálenost, cm
H	vlhkost ovzduší, %
k_R	zesílení
s	vzdálenost, m
T	délka periody, s
T_I	integrační časová konstanta, s
T_D	derivační časová konstanta, s
U	elektrické napětí, V
v	rychlost, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
τ	délka pulzu, s

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 3.1 – Blokové schéma prvního modelu vozidla	46
Obr. 3.2 – Horní plošina prvního modelu vozidla	47
Obr. 3.3 – Spodní plošina prvního modelu vozidla	47
Obr. 3.4 – Tabulka zapojení vstupů a výstupů	49
Obr. 3.5 – Blokové schéma druhého modelu vozidla.....	50
Obr. 3.6 – Tabulky zapojení digitálních vstupů a výstupů	51
Obr. 3.7 – Tabulky zapojení komunikace a analogových vstupů a výstupů	51
Obr. 3.8 – Spodní plošina druhého modelu vozidla	52
Obr. 3.9 – Horní plošina druhého modelu vozidla	52
Obr. 3.10 – Pohled na vozidlo z boku.....	53
Obr. 3.11 – Pohled na vozidlo shora.....	53
Obr. 3.12 – Pohled na vozidlo zepředu.....	54
Obr. 3.13 – Pohled na vozidlo zezadu	54
Obr. 3.14 – Přenášená informace z dálkového ovládní.....	55
Obr. 3.15 – Elektrické schéma enkodéru.....	58
Obr. 3.16 – Návrh držáku pro IR vysílač a přijímač enkodéru.....	59
Obr. 3.17 – Skutečné provedení držáku IR prvků enkodéru	59
Obr. 3.18 – Kolo robotického vozidla	60
Obr. 3.19 – Rychlost otáčení kol vozidla.....	61
Obr. 3.20 – Elektrické schéma infračerveného snímače vodící čáry	63
Obr. 3.21 – Snímač vodící čáry	64
Obr. 3.22 – Snímač vodící čáry na robotickém vozidle.....	64
Obr. 3.23 – Použitý ultrazvukový dálkoměr HC-SR04	65
Obr. 3.24 – Test přesnosti měření UZ senzoru	66
Obr. 3.25 – Měření ultrazvukového senzoru v průběhu jízdy po čáře.....	67
Obr. 3.26 – Zkreslení měření UZ senzoru v závislosti na prostředí	67
Obr. 3.27 – Elektrické schéma infračerveného senzoru vzdálenosti	68
Obr. 3.28 – Měření IR senzoru	70
Obr. 3.29 – Měření ultrazvukového senzoru v průběhu jízdy po čáře.....	72
Obr. 3.30 – Rychlost vozidla před a po detekci překážky	73
Obr. 3.31 – Limitní hladiny antikolizního asistenta	74
Obr. 3.32 – Změna rychlosti vozu v závislosti na datech z UZ senzoru	75

Obr. 3.33 – Testovací okruh robotického vozidla	77
Obr. 3.34 – Reakce regulátoru na regulační odchylku	78
Obr. 3.35 – Rychlost jednotlivých kol při jízdě po okruhu	78
Obr. 3.36 – Parametry q_0 , q_1 , q_2 (Balátě, 2004).....	81
Obr. 3.37 – Reakce regulátoru na regulační odchylku	81
Obr. 3.38 – Ukládaná telemetrická data	84
Obr. 3.39 – Vizualizace v Unity3D	84

ÚVOD

Cílem této diplomové práce, je návrh a realizace autonomního vozidla ovládaného pomocí dálkového ovládaní. Celý systém tvoří hierarchickou strukturu obsahující hlavní řídicí jednotku a vedlejší řídicí jednotky. Tento systém kopíruje chování reálných systémů.

Řídicí jednotka přijímá signál z dálkového ovládaní, provádí výpočty potřebné pro regulaci rychlosti a směru jízdy, dále udává příkazy podřazeným řídicím jednotkám, které poskytují hlavní řídicí jednotce zpětnou vazbu o aktuálním stavu systému.

První kapitola se zaměřuje na seznámení s roboty, problematikou robotů jako takových a dělením stupňů autonomie.

Druhá kapitola je zaměřena na veškeré teoretické a technické principy senzorů, aktorů, řídicích jednotek, sběrnic a vývojových prostředí, jejichž znalost je nezbytnou součástí pro praktickou realizaci modelu autonomního robotického vozidla.

Ve třetí kapitole je popsán model jako celek. Jsou zde rozebrány všechny části modelu autonomního robotického vozidla jako topologická struktura modelu, dálkové ovládaní modelu, programování řídicího programu a obslužných podprogramů, praktická realizace snímače otáček a výsledky měření snímačů přítomnosti překážky a senzorů pro snímání vodící čáry.

1 REŠERŠE

1.1 ROBOTIKA

Robotika je vědní obor zabývající se návrhem robotů a jejich uplatnění v různých odvětvích. Snaha člověka o vytvoření stroje, který by pracoval za něho a ulehčil mu tak život, sahá v historii mnohem dál než samotné slovo robot, které se proslavilo díky divadelní hře R.U.R od Karla Čapka. Slovo robot je odvozeno od slova robota, či slovesa robotovat, tedy pracovat.

Avšak už v 18. století, ještě před touto divadelní hrou, byly různé snahy o vytvoření strojů, které se podobaly člověku. Jednalo se o komplexní zařízení, která byla určena pro konkrétní úlohu jako psaní několika málo vět perem. O největší rozvoj robotů se postarala elektrotechnika. Vědní disciplína, která dala vzniknout strojům jako jsou digitální hodinky či kalkulačky. Až díky této vědě bylo možné pomýšlet na roboty v pravém slova smyslu, které známe dnes.

Díky technologiím, které s sebou elektrotechnika přinesla, lze vytvářet roboty, které slouží lidem v civilní sféře, průmyslové, vědecké, bezpečnostní, záchranné, ale i armádní. K tvorbě robotů, kteří jsou pro lidstvo skutečným přínosem, však vedl dlouhý rozvoj i v řadě dalších vědních oborů. Ke konstrukci robotů je zapotřebí strojního inženýrství. To se však neobejde bez znalostí materiálového inženýrství. Jelikož se má jednat o stroj, který lze různými způsoby řídit, bylo zapotřebí vývoje mnoha dalších odvětví jako softwarové inženýrství, které by však nemohlo vzniknout bez tranzistorů a rozvoje elektrotechnologie, výroby a distribuce elektrické energie a dalších technologií, či vědeckotechnických oborů. Robotika je tedy určitým způsobem průnikem znalostí, získaných v průběhu existence celého lidstva.

1.2 ROBOTY

Roboty lze dělit podle generací, schopnosti přemísťovat se, míry autonomie a dalších. V rámci této práce je nejvhodnější zvolit rozdělení podle jejich účelu. Podle účelu robotů se totiž odvíjí jejich design, konstrukce, rozměry, použité materiály, kvalita použitých součástek, redundance řídicích systémů či senzorické vybavení. Nejdůležitějším odvětvím, ve kterém jsou roboty použity a ovlivňují každodenní aspekty našeho života, je průmysl. Ačkoli si to spousta lidí ani nemusí uvědomovat, téměř každé zařízení či nástroj, který běžně používají, bylo s největší pravděpodobností vyrobeno v továrně, kde se na výrobě určitou měrou podílí průmyslové roboty. V případě automobilů je majoritní část vyráběna stroji. Lidstvu se tak splnilo přání, které zde bylo tisíce let. Těžkou práci dnes provádí stroje a čím dál více jsou lidé v práci nahrazováni roboty. Díky tomu může v automobilových výrobních závodech každou minutu opustit výrobní linku jeden automobil.

V případě průmyslových robotů jsou požadavky kladeny především na přesnost pohybu, robustnost soustavy a schopnost přesunu z jedné pozice do druhé, pokud možno v co nejkratším čase. Naopak se příliš nehledí na energetickou stránku, tedy spotřebu. Je pravda, že se v poslední době začíná rozmáhat v automatizaci trend, který se snaží tlačit energetické požadavky robotů v průmyslu níž, než jsou dnes. Především se toho výrobci snaží dosáhnout za pomoci vyhlazování pohybu robota. To znamená, že řídicí systém robota pro přesun z bodu A do bodu B proloží trajektorii polynomem určitého stupně, aby dosáhl co největší plynulosti pohybu. K aktuálním požadavkům jako lineární rozjezd a dobrzdění robota tak přibývá i hladkost trajektorie. Nejenže snižuje spotřebu robota, protože se nespotřebovává energie za vícero rozjezdů a brždění, ale navíc zvyšuje životnost jak motorů a brzd, tak i celé konstrukce. To je způsobeno tím, že díky vyhlazení trajektorie nedochází k mechanickému zatěžování konstrukce do takové míry, jako tomu bylo doposud. Co se soběstačnosti, tedy míry autonomie, těchto robotů týče, jedná se o relativně neinteligentní zařízení, jejichž program je předem definován při jejich instalaci. Tento program je kombinací sekvenčního a logického řízení, který pak robot provádí do té doby, dokud nedojde k poruše či jinému problému. Tyto roboty jsou většinou naprogramovány jako jednoúčelové stroje. Člověk tedy může přenechat stereotypní rutinní práci robotu, který ji dokáže bezchybně vykonávat v každém ročním období, ve dne i v noci. Průmyslové roboty musí splňovat i bezpečnostní předpoklady. Pokud se jedná o robota, který má pracovat v blízkosti člověka, znamená to, že je nutné implementovat bezpečnostní systém, zajišťující bezpečí pracovníka poblíž robota. Tímto bezpečnostním systémem může být síť senzorů, díky kterým robot „cítí“ přítomnost člověka a podle toho řídicí program může

upravovat operační rychlost robotu a další parametry. V případě, že jsou kladeny vysoké nároky především na rychlost prováděných operací robota, sahá se po bezpečnostním systému sestávajícího z bezpečnostní klece okolo pracovního prostoru robota, do které je možné vstoupit jen v případě otevření zamknutých dveří obsahujících senzory otevření. To způsobí zastavení stroje. Dále jsou uvnitř klece senzory, které zabraňují spuštění programu v případě, že se člověk nebo nežádoucí předmět nachází uvnitř klece. To je ochrana proti nechtěnému zabouchnutí dveří a zapomenutí předmětů uvnitř klece.

Velice zajímavou kategorií jsou roboty pro vědecké účely, které jsou schopné se například ponořit do enormních hloubek oceánu, či provádět výzkum ve vesmíru a na planetách sluneční soustavy. U těchto robotů je to s požadavky na vykonávanou práci jinak než v případě těch průmyslových. Na vědecké roboty operující na tělesech sluneční soustavy jsou kladeny enormní nároky právě v energetické účinnosti a soběstačnosti. Takové roboty bývají tradičně vybaveny solárními panely. Na vzdálenějších objektech sluneční soustavy může být slunečního svitu nedostatek, v takových případech se namísto solárních panelů používají radioizotopové termoelektrické generátory, které jsou spolehlivým zdrojem elektrické energie. Dalším požadavkem, který je pro vesmírné roboty důležitější než pro ostatní, je jejich sterilita, která zajišťuje, že nedojde k zavlečení pozemských organismů na zkoumaná tělesa sluneční soustavy. S tím souvisí i konstrukční řešení, které musí zajistit, že nedojde ke kontaminaci tělesa tekutinami pocházejícími ze Země. Jmenovitě jsou to oleje z hydraulických systémů nebo elektrolytické kapaliny z akumulátorových systémů. Pro eliminaci těchto nebezpečí se sahá po konstrukčních řešeních, která nabízí podobné vlastnosti a odstraňuje zmiňované neduhy. Hydraulické systémy jsou tedy suplovány elektricky poháněnými prvky a bateriové systémy používající suché elektrolyty. Roboty operující mimo Zemi jsou vystaveny těm nejextrémnějším podmínkám jako chlad, či horko. Teplotní problémy lze vyřešit pomocí elektronických systémů chlazení nebo topení. Co je však větším problémem v těchto prostředích, jsou záření elektricky nabitých částic přicházející z celého vesmíru a především z naší mateřské hvězdy, Slunce. Na Zemi se s těmito částicemi setkáváme většinou jen v podobě polární záře na severním a jižním pólu. Planeta Země má své magnetické pole, které ji a její obyvatele chrání před nežádoucími účinky těchto záření. Mimo Zemi je to však naprosto odlišný případ. Robotická vozítka a vesmírné sondy jsou pod neustálou palbou těchto nabitých částic a jejich řídicí systémy jsou tak v podstatě pořád v obrovském nebezpečí. V nejhorším případě by totiž tyto částice mohly způsobit chybu a následné selhání systému. To vše díky přetížení rozvodné soustavy či přepisu kritických míst v operačním a paměťovém systému. Na řadu tedy přichází řešení ve formě stínění procesorických částí robotů a stínění rozvodných

soustav. Soukromé firmy operující ve vesmírném sektoru mnohdy sahají po mírně odlišných řešeních těchto problémů. Využívají redundance řídicích systémů a jejich následného kontrolního součtu. V případě řídicího procesoru je to doplnění o další dva procesory. Všechny tři počítají danou úlohu samostatně a pak zkontrolují své výsledky. Pokud vychází stejně, je výsledek považován jako správný, protože je nepravděpodobné, že by tři procesory udělaly stejnou chybu.

Další kategorii robotů tvoří roboty armádní. Stejně jako předešlé druhy robotů, i tato kategorie má svá specifika. Požadavky kladené na tuto skupinu jsou diametrálně odlišné od těch předešlých. Armádními roboty mohou být letadlové drony, kvadrokoptéry, autonomní čtyřkolky, dálkově ovládaná pyrotechnická zařízení, průzkumné miniponorky a spousta dalších. Většina z těchto zmíněných robotů má jako prioritu především nenápadnost, maskování, nízkou hlučnost. V případě letadlových dronů je důležitá síla signálu a nepozorovatelnost nepřítelem. Toho je dosahováno komunikací přes armádní družice a let ve velké nadmořské výšce. Letadlové drony musí být schopny vézt munici, palné zbraně a rakety. Kvadrokoptéry mohou sloužit jako malí průzkumníci pro zajištění přehledu nad bojištěm a rychlému průletu nad hlavami nepřítele za účelem jejich rozptýlení či odhalení. Autonomní čtyřkolky jsou nově vyvíjenou součástí armád, kdy voják již nebude muset v plné zbroji nosit 35 až 50 kilogramů nákladu na zádech, protože s tímto nákladem mu pomůže čtyřkolka, která musí být schopna následovat vojsko až 72 hodin. Tyto čtyřkolky mohou vézt i větší kanony, čímž se z nich v podstatě stávají „minitanky“. Dálkově ovládaná pyrotechnická zařízení musí být dostatečně stabilní a přesná, aby dokázala manipulovat s předměty, případně je otevírat, či rozřezávat. Tato zařízení musí být vybavena kvalitní kamerou, přes kterou operátor vidí zneškodňovaný předmět. Průzkumné miniponorky mají velké požadavky na hloubku ponoru, aby se jim nepřítel neztratil ve velkých mořských hloubkách. Dalším důležitým prvkem je senzorické vybavení. Tyto robotické miniponorky jsou vybaveny sonary pro detekci okolního prostředí. Co se technických údajů týče, není jednoduché se ke konkrétním specifikacím dostat, protože armádní záležitosti nejsou veřejnosti sdělovány. V každém případě však platí, že armádní zařízení bývají velice drahá, protože je u nich kladen důraz především na spolehlivost. Selhání těchto přístrojů by mohlo znamenat ztrátu lidských životů. Kvalita je tedy jedním z prioritních bodů u robotů používaných v armádě.

Velice podobnou kategorii té armádní tvoří roboty záchranných složek. Zde roboty stále čekají na svůj větší rozmach, ale už spoustu let se na těchto zařízeních usilovně pracuje. Pro vytvoření robotů nahrazujících například lidské hasiče, je zapotřebí stavba bipedálního robotu s jistou mírou autonomie. Tyto roboty mají těžký úkol, protože mají nahradit lidi, zachraňující

další lidi. Být hasičem je velice riziková práce a obrovskou roli zde hraje čas. Dnešní bipedální roboty již sice umí chodit po různých druzích terénu, po schodech, nerovnostech, přeskakovat překážky, či otevírat dveře, ale i kdyby dokázaly všechny zmiňované činnosti se sto procentní úspěšností, problém je v rychlosti, se kterou tyto úkony provádějí. Každý krok robota je dokonale promyšlen a to je obří překážka, protože toto promyšlení ještě stále zabírá spoustu času a v momentě, kdy se v hořícím domě nachází živí lidé, je potřeba jednat okamžitě a každá vteřina je nesmírně cenné a nedostatkové zboží. Je zde řeč o velmi vyspělých typech robotů, kteří dnes ještě neexistují v takové podobě, která je pro jejich nasazení v akci potřeba. Stále zde tedy musí operovat lidský hasič. U záchranných složek jsou však i další roboty, které pomáhají zachraňovat životy. Jedná se především o malé stroje, které se dokáží dostat do míst, kam člověk ne. Můžou to být různé vodovodní, či odpadní trubky, a nebo budovy zbourané zemětřesením. Takové roboty se snaží najít známky života a v případě nalezení tento náález ohlásí operátorovi, který zmobilizuje lidské jednotky určené pro záchranu lidí uvíznutých v sutinách. U těchto robotů jsou požadavky opět naprosto odlišné od předešlých skupin. Především je potřeba, aby stroje měly pokud možno co nejmenší rozměry. Tato zařízení se totiž dokáží prosmýknout malými otvory a skutečně tak plní práci „prodloužené ruky“ záchranných jednotek. Jelikož se zde však nejedná o zařízení pracující v extrémních podmínkách jako je chlad, horko, radiace nebo tlak, není zapotřebí, aby byla na tyto případy dimenzována, a tím pádem nedosahují jejich ceny tak závratných částek jako armádní, či kosmické roboty.

Skupina robotů, které může využívat obyčejný občan v každodenním životě, se jmenuje civilní. Tyto civilní roboty mohou být levná, ale i velice drahá zařízení určená pro částečné ulehčení všedního života. Tou levnější variantou mohou být dětské hračky. Dnes už se totiž dá sehnat dětská hračka ve formě bipedálního dvourukého robota, kterému se dá pomocí jednoduchého ručního ovladače naprogramovat postup činností. Ty pak je schopen opakovat tak dlouho, dokud mu to jeho okolí, mechanická stavba, či jeho baterie dovolí. Jedná se však v celku o „hloupá“ zařízení. Dražší a mnohem užitečnější variantou jsou robotické vysavače a sekačky. Takové typy strojů už musí prokázat i určitý stupeň autonomie. Jejich prioritou je totiž plnění zadaného úkolu bez dalších zásahů člověka. Tyto dva druhy robotů, ačkoli mají oba jiné zaměření, jsou si v konečném důsledku velice podobné a to z toho důvodu, že jejich primárním a v podstatě jediným úkolem je, že musí obsloužit celou plochu, která jim byla vytyčena jako cílová. Tím obslužením se myslí obhospodaření zadané plochy pomocí nástroje, jež dostal robot do své výbavy. U jednoho z nich je to ústrojí na sečení trávy a u druhého je to ústrojí pro nasávání prachu a nežádoucích nečistot. Když dojde na plnění zadaného úkolu, musí být robot schopen sám plánovat trasu, která pro něho bude optimální, co se týče energetické náročnosti,

dále pak musí vnímat své okolí, jelikož každý náraz do čehokoli je nežádoucí. Nároky na energii a její šetření jsou kladeny především kvůli tomu, že se jedná o zařízení obsahující akumulátor s určitou kapacitou a tomu odpovídajícím nabíjecím časem. S každým zbytečným přejetím plochy, která již byla obhospodářena, se zbytečně prodlužuje čas, po který robot ničím nepomáhá, a tudíž je k ničemu. Zároveň se prodlužuje jeho dobíjecí čas, jelikož při obhospodařování spotřeboval více energie na přesuny a společně s tím se prodlužuje i doba, po kterou vypouští do okolí nežádoucí hluk. Vnímání okolí je potřeba, protože stroj nesmí způsobit škodu na zdraví osob či majetku. Nároky kladené na dlouhou životnost těchto robotů jsou dnes do jisté míry diskutabilní. Ohledně známých tzv. kuchyňských robotů je třeba uvést na pravou míru, že se nejedná o roboty v pravém slova smyslu, protože nesplňují definici robota, tedy schopnost vykonávat úkoly s jistou mírou samostatnosti při různých mírách interakce s okolím. Avšak co se civilních robotů týče, tou zřejmě nejsložitější technologií, kterou může běžný člověk v dnešní době používat, jsou autonomní vozidla. Ačkoli jsou tyto stroje nazývány autonomními vozidly, lze je nazývat roboty. Tato zařízení totiž zapadají snad do všech myslitelných metrik hodnotících, zda stroj lze považovat za robota, či ne. Autonomní vozidla jsou schopna se přemísťovat, jedná se tedy o mobilní robot. Dokáží také interagovat s okolím například tím, že si vyžádají nabíjení akumulátorů, či zastaví jejich dobíjení v momentě, kdy dosáhly požadované, uživatelem nastavené, hodnoty napětí. Dokáží si také vyžádat otevření a zavření garážových vrat pokud jsou v domě instalována vrata, která tuto funkci podporují. Tím je tedy splněna interakce s okolím. Autonomní vozidla jsou také samostatná. Tato samostatnost je hodnocena tzv. stupni autonomie vozidla, viz níže. Díky samostatnosti se vozidla dokáží přemístit z bodu A do bodu B. K tomu, aby se vozidlo dokázalo přemísťovat bez toho, aniž by způsobilo újmu na zdraví osob či majetku používá sensorové sítě, které jsou tvořeny kamerami, infrakamerami, ultrazvukovými, radarovými, či lidarovými senzory. Kombinací těchto senzorů se totiž dosahuje samostatnosti za všech povětrnostních podmínek. Problém bývá jmenovitě s mlhou a hustým sněžením, protože v tu chvíli se nelze spoléhat čistě na kamerové systémy. Naopak ve tmě je ideálním senzorem pro detekci zvířete, či osob na cestě právě infrakamera, která nejen, že detekuje předmět, ale je schopna ho zobrazit a řídicí jednotka je schopna vyhodnotit o jaký předmět či živočicha se jedná, jeho velikost, směr, vzdálenost od vozu a další. Existují případy nehod zachycených na video, kdy autonomní vozidlo reagovalo na autonehodu dříve, než k ní skutečně došlo. Díky radarovému systému má vůz přehled o svém okolí i o několik vozidel před sebou. Řídicí jednotka spočítala, že vozy se k sobě přibližují moc rychle na to, aby dokázaly odvrátit srážku. Autonomní vozidlo tak začalo brzdit o několik málo

okamžiků dříve, než se nehoda vůbec odehrála. Tyto druhy vozidel tedy splňují všechny aspekty, které definují roboty.

1.3 STUPNĚ AUTONOMIE VOZIDEL

Schopnost vozidel samostatné jízdy se určuje podle stupnice na škále od 0 do 5. Tuto škálu vytvořila společnost Society of Engineers neboli SAE. Daná stupnice se ve světě dokázala relativně snadno prosadit, jelikož jednotlivé stupně autonomie vozidel vystihuje velice výstižně, alespoň pro určitou míru klasifikace vozidel a jejich schopností.

Tou nejnižší možnou hodnotou je úroveň 0. Tato úroveň znamená, že auto není schopné samostatné jízdy a nedokáže do jízdy řidičovi zasahovat, protože nad vozidlem nemá žádnou moc. Do této kategorie spadají i automobily obsahující asistenty jako první generace hlídání mrtvého úhlu vozidla, upozornění na námrazu. Většina dnes používaných vozidel spadá právě do této kategorie. I v zemích s průměrně mladším vozovým parkem je majoritní část automobilů z kategorie nulté úrovně.

Druhou kategorií jsou vozidla s úrovní autonomie 1. Tato vozidla používají vyspělejší systémy a asistenty než předchozí kategorie. Na této úrovni už vozidlo dokáže za určitých podmínek převzít kontrolu nad různými aspekty řízení. Jmenovitě jsou to vozidla, která obsahují asistenty pro jízdu v pruzích, adaptabilní tempomat, nebo také parkovacího asistenta. V této úrovni autonomie jsou sice řidiči k dispozici nástroje pro zpříjemnění rutinních úkonů, jako jízda v pruzích po dálnici konstantní rychlostí, dodržující bezpečnou vzdálenost od vozidel před ním s možností bezpečnostního dobrždění, avšak stále je za chování automobilu zodpovědný řidič, který má povinnost být připraven v kterémkoli okamžiku převzít řízení vozu do vlastních rukou.

Následuje úroveň autonomie 2. V této kategorii se již nachází daleko zajímavější vozidla, která se z pohledu relativně nedávné minulosti mohou jevit jako z vědeckofantastické fikce. Řidič sedící ve voze s úrovní autonomie 2 totiž skutečně jen sedí ve voze, který vše obstarává sám. Rozjezd, udržování maximální povolené rychlosti, zahýbání se zapínáním a vypínáním světel pro signalizaci změny směru, brždění před překázkou, parkování. To vše jsou vlastnosti, které jsou vlastní vozům z této kategorie. Automobil je schopen kdykoli odevzdat kontrolu nad vozem řidiči v případě, kdy si ji vyžádá. V podstatě dojde k plynulému přechodu z automatického na ruční řízení podobně jako u normálního tempomatu. Stejně jako v předešlé kategorii, i zde se musí řidič plně soustředit na jízdu a očekávat, že může nastat situace, která se nevyhne bez jeho intervence.

Čtvrtou úrovní je úroveň autonomie 3. Tato kategorie je definována jako úroveň, která za určitých okolností nevyžaduje přímou pozornost řidiče. Těmito okolnostmi se rozumí především dálniční cesty. Ačkoli z popisu to tak nemusí vypadat, jedná se o obrovský pokrok oproti předešlé generaci, protože se v určitých případech může řidičova pozornost zaměřovat na ostatní aktivity než na řízení. Stále je však za auto a jeho chování zodpovědný řidič.

V páté generaci, tedy úrovni autonomie 4, se schopnosti automobilů rozšiřují i mimo dálniční cesty a řidič již není povinen účastnit se na řízení vozu. Tato úroveň však nezaručuje správnou funkčnost za všech povětrnostních podmínek. Řidič je tak zodpovědný za zapínání autonomního řízení jen v případech, kdy je to bezpečné.

Úroveň autonomie 5 je tou nejsofistikovanější verzí autopilotů v automobilech. S touto úrovní autonomie řidič nastaví koncový bod cesty, tedy požadovanou destinaci, kam chce dojet a automobil už se o vše postará za něho. Nutno podotknout, že zatím žádný automobil nedisponuje touto technologií, avšak na jejich vývoji pracují snad všichni přední výrobci v oblasti automotive průmyslu a může se stát, že této úrovně bude dosaženo během nebo těsně po dopsání této práce.

Ať je vozidlo autonomní více, či méně, v každém případě jejich uvedení do provozu brání legislativa, jelikož stále není vyřešeno, kdo bude v konečném důsledku zodpovědný za případnou nehodu automobilu a v nejhorším případě i úmrtí člověka. V současné době, rok 2018, je právě tento problém velice propírané téma. Řidič nechce být zodpovědný za způsobenou škodu, ale chce se nechat vozit autonomním vozidlem. Firma nechce být zodpovědná za škodu a úmrtí lidí, ale chce prodávat auta, která jsou samořiditelná. Programátoři a vývojáři těchto technologií taktéž nechtějí být zodpovědní za následky způsobené poruchou tohoto systému, avšak nedává smysl, aby je za selhání tohoto systému v provozu kdokoli obviňoval, protože před uvedením do provozu je firma zodpovědná za testování dokazující bezpečnost svého řešení. Stejně tak stát je zodpovědný za udělení povolení k provozování těchto systémů na pozemních komunikacích.

2 TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRINCIPY

2.1 TYPY PODVOZKŮ UŽÍVANÝCH U MOBILNÍCH ROBOTŮ

Pohyblivým robotem mohou být roboty pozemní, vodní, či letecké. Tato práce se zabývá pozemními, konkrétně kolovými roboty. Tato skupina robotů je široce obsáhlá a nachází se v ní roboty dvou, tří, čtyř, šesti, osmi a více kolové. Opět záleží především na jejich primárním zaměření.

U vědeckých roverů, které mají zkoumat povrch mimozemských těles, je vhodné mít větší počet kol především kvůli rozložení váhy na větší plochu. Zároveň se u nich užívá takových technik náprav, které zajistí, že rover dokáže změnit směr jízdy o 180° v podstatě na místě nebo s velmi malým poloměrem otočení a každé kolo u takových vozidel má svůj vlastní pohon. Zpravidla se jedná o slabší elektromotory, které dohromady tvoří dostatečně silné hnací ústrojí. Tato vědecká vozítka mívají většinou šest, či osm kol.

Na druhou stranu, například u balančních robotů se užívají jen dvě kola, obě taktéž samostatně poháněná vlastním elektromotorem. Tyto roboty mají za úkol balancovat pouze na dvou kolech, což klade značné nároky na regulaci jejich pohybu. Snahou u těchto robotů je mít těžiště co nejnižší zemi, aby byla regulace snazší. Velké nároky jsou taktéž kladeny na senzory a především jejich rychlost měření a komunikace s řídicí jednotkou. Řídicí jednotky těchto robotů podle informací ze sensorů vypočtou vhodný akční zásah, který roboty udrží v žádané poloze. Žádanou polohou se rozumí rovnovážný stav, kterého se dosahuje díky elektromotorům. Tyto elektromotory musí být dostatečně výkonné na to, aby vhodnou silou a rychlostí vykrývaly požadavky řídicí jednotky a chránily robota před tvrdým pádem.

Zřejmě nejdůležitější a do budoucna stále rozšířenější skupinou robotů jsou čtyřkolové roboty. Díky obrovskému rozšíření čtyřkolových vozidel a jejich století trvajícím zlepšování techniky a technologii se není čemu divit, že i roboty jsou touto architekturou poznamenány a v podstatě tvoří nadstavbu nad klasické „hloupé“ systémy řízení. Z těchto čtyřkolových vozidel se tedy postupně tvoří stále schopnější roboty, které opět podle svého určení mají různé vlastnosti a schopnosti. Lze vystavit robot, který bude mít čtyři kola, ale hnanou nápravou může být jen přední nebo jen zadní. Stejně tak je tomu u většiny dnes dostupných automobilů a elektromobilů. U dražších robotů jsou hnané obě nápravy. Ve spojení s elektromotory, které se vyznačují téměř 100% účinností a vysokým krouticím momentem, tak lze u těchto vozů dosáhnout ohromných zrychlení, kterým se vyrovnávají supersportovním vozům světových renomovaných značek. Tou do budoucna predikovanou nejlepší skupinou vozů se jeví vozy, které budou mít na každé kolo jeden elektromotor, konkrétně by měl být elektromotor

zabudován přímo v kolech. Tím by došlo k ušetření obrovského prostoru uvnitř vozu, který dnes zabírají staré a neekologické pohonné jednotky na bázi fosilních paliv. Stejně tak by se ušetřilo místo za nádrž na pohonné hmoty. Tyto nádrže mívají okolo 60 litrů, což je další velká část prostoru, kterou nelze nijak efektivně využít pro přepravu osob či předmětů. V robotických elektromobilech je však hlavní zásobárna energie ve formě akumulátorového systému, který tvoří dno celého vozidla. Tento akumulátorový systém je rozprostřen pro celé spodní ploše auta, čímž zajistí dvě velice důležité věci. Tou první je již zmiňované ušetření prostoru, který lze využít lépe. Druhou, neméně důležitou vlastností, kterou s sebou toto řešení přináší, je to, že vozidlo má díky tomu těžiště extrémně blízko zemi. To zajišťuje mnohem větší stabilitu vozidla při prudkých zatáčkách oproti konvenčním automobilům. Vzhledem k rozšíření čtyřkolových vozidel a do budoucna i čtyřkolových robotů, se tato práce bude nadále zabývat systémem řízení právě čtyřkolových vozidel

2.2 DRUHY NÁPRAV V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Nápravou se rozumí podvozková část, jejímž úkolem je nést kola vozu. Na nápravy jsou kladeny vysoké nároky, protože její parametry silně ovlivňují jízdní vlastnosti vozu. Tato část vozu je více, či méně neodpružená a musí proto být velice pevná. Zároveň je však potřeba, aby byla také co nejlehčí, protože její velká váha by měla neblahý vliv na vlastnosti vozu.

Obecně lze říci, že je několik nejdůležitějších parametrů, které je potřeba udržovat v rovnováze, aby byla náprava vhodná pro užití v automobilu. Tím nejznatelnějším parametrem je jízdní komfort. Tím se rozumí především omezování hluků a vibrací, které přes konstrukci vozu vstupují do kabiny. Dalším parametrem je vedení kola, které musí být přesné, protože v případě špatného vedení kola je přímo ohroženo zdraví posádky automobilu a teoreticky i okolí projíždějícího vozidla. Náprava vozu musí dále zajišťovat neustálý styk kol s vozovkou. Pro možnost užití nápravy v praktických případech je potřeba zajistit, aby její rozměry a hmotnost dosahovaly co nejmenších hodnot. Jak už bylo zmíněno, váha nápravy přímo ovlivňuje jízdní vlastnosti vozu. Co se týče jejích rozměrů, ty musí být dostatečně minimalistické, aby bylo možné nápravu použít v automobilech, aniž by zasahovala do motorového prostoru, či jiným způsobem bránila usazení potřebných konstrukčních částí vozu. Dalším parametrem, který zajímá především výrobce automobilů, jsou výrobní náklady, které nesmí neúměrně zvyšovat výrobní cenu vozu. Vlastníka a uživatele vozu pak zajímají především provozní náklady spojené s údržbou.

Ačkoli každá automobilová firma má své vlastní unikátní řešení náprav, vždy jejich řešení vychází ze základních typů náprav, které si výrobci následně modifikují podle svých požadavků na cenu, kvalitu a rozměry.

Lichoběžníková náprava je ve své nejzákladnější podobě jednou z těch nejjednodušších. Tato náprava používá dvě příčná trojúhelníková ramena s rozdílnou délkou. Horní rameno je kratší a spodní je delší. Výhodou této nápravy je především to, že ji lze použít jako hnanou nápravu a zároveň je vhodná i jako řídicí. Velkou nevýhodou tohoto druhu nápravy je fakt, že při propružení dochází ke změně odklonu kola, změně sbíhavosti kol a také ke změně rozchodu kol. Ačkoli je možné tyto nežádoucí vlastnosti do jisté míry eliminovat vhodnou volbou geometrie ramen, stále se tento problém bude projevovat na jízdních vlastnostech automobilu.

Náprava MacPherson má s lichoběžníkovou nápravou mnoho společného. Tento fakt je způsoben tím, že MacPherson náprava je z lichoběžníkové odvozena a odstraňuje některé neduhy, které s sebou lichoběžníková náprava nese. Horní rameno, které lze vidět u lichoběžníkové nápravy je u MacPherson nahrazeno posuvným vedením, které je zkonstruováno jako hydraulický tlumič. Toto řešení vyžaduje tužší a pevnější tlumič. Díky tomuto provedení zůstává více prostoru pod kapotou automobilu, který lze využít pro uložení agregátu nebo zvětšení prostoru pro zavazadla.

Víceprvková náprava, podobně jako náprava MacPherson, vychází z lichoběžníkové nápravy. Tato náprava je považována za nejlepší konstrukční kompromis vedení kola. Ačkoli se jde o velice složitý mechanismus, který je náročný především na umístění všech ramen do přiděleného prostoru, skutečně se zde jedná o výborný mechanismus, který zaručuje perfektní jízdní vlastnosti vozu ve spojení se zachovaným jízdním komfortem. Tuto nápravu lze úspěšně použít jako hnací i řídicí. Její nevýhodou je její cena. Výrobní cena a konstrukční provedení je v tomto případě znát na koncové ceně.

Kliková náprava je mnohem levnější než víceprvková náprava. To je způsobeno především tím, že z konstrukčního hlediska se jedná o velice jednoduchý způsob zavěšení kol a je velmi často užívána jako nepoháněná zadní náprava. Ačkoli je možné tuto nápravu použít i jako hnací nápravu, často se tomu tak neděje. Tato konstrukce nijak nezužuje spodní část karoserie vozu, proto je velice vhodná pro použití u vozů typu „combi“. Tato konstrukce používá k zavěšení kol jednoho nebo dvou podélných ramen. Tato náprava je charakteristická svým znatelným nakláněním při průjezdu zatáčkou oproti ostatním typům náprav.

Kyvadlová náprava je pouze nápravou zadní. Může být hnaná či hnací. Její základ je stejný jako u klikové nápravy. Kyvadlová náprava má však šikmou osu kývání obou ramen a

kolo je uchyceno za pomoci rozvidleného ramene a pryžových bloků. Jedná se o nezávislé odpružení, tedy každé kolo je na karoserii zavěšeno zvlášť.

Tuhá náprava je jedním z nejstarších způsobů zavěšení kol, kdy obě kola jsou uložena na společném nosníku a jejich vzájemná poloha vůči sobě se nemění. Co se konstrukce týče, tak jsou to nejjednodušší a nejlevnější nápravy, avšak problém je ve velkém množství neodpružených hmot, což výrazně zhoršuje bezpečnost jízdy. Dnes už se používá jen jako zadní náprava, která nachází uplatnění u užitkových automobilů.

Náprava De Dion je typem konstrukce, který je dnes používán velice zřídka. U této nápravy je dosaženo spojení předností nezávislého zavěšení kol a tuhé nápravy. Velká část nápravy je spojena s rámem, či karoserií, což napomáhá snížení hmotnosti neodpružených částí a zároveň je fixována pozice kol vůči sobě pomocí tuhého nosníku. Zpravidla byl tento druh nápravy používán jako zádň hnaná či hnací náprava.

Nezbytnou podmínkou pro zajištění správného řízení, především zatáčení vozu je tzv. Ackermanova podmínka. V momentě, kdy vůz zatáčí, dochází k opisování rozdílného poloměru kružnic u vnitřního a vnějšího kola řídicí nápravy. Při zachování stejné rychlosti odvalování kol by docházelo k nechtěnému prokluzování vnitřního kola, což má za následek nežádoucí efekty, jako silná nedotáčivost automobilu, ztráta kontaktu vnitřního kola s vozovkou v závislosti na jeho prokluzování, a tím způsobeného nadměrného opotřebovávání pneumatiky. Nejen, že by tak nedocházelo k dostatečnému zatáčení, ale ještě ke všemu by došlo k ohrožení posádky automobilu z důvodu zhoršení kontaktu vozidla s vozovkou. Tyto neduhy zdárně eliminuje právě Ackermanova podmínka. Střed otáčení kol musí ležet na prodloužené ose zadní nápravy a Ackermanova podmínka určuje, kde se tento střed nachází. Splněním této podmínky dochází k úpravě úhlu natočení předních kol, kdy každé z nich zaujímá mírně odlišný úhel, čímž nedochází k opisování stejně velkých kružnic a nežádoucímu smýkání po vozovce.

2.3 ELEKTROMOTORY

Elektromotorem se rozumí elektrický stoj, který převádí elektrickou energii na mechanickou práci. V elektromotorech používaných u elektromobilů se využívá účinků magnetického pole, které vzniká průchodem elektrického proudu ve vodiči navinutého na cívku.

Tyto elektromotory, dále jen motory, může pohánět stejnosměrný proud, DC, nebo střídavý proud, AC. Pro pohon elektromobilů nejsou DC motory příliš vhodnou volbou, protože potřebují komutátor a výstupní otáčky rotoru jsou přímo závislé na budícím napětí. U

klasických komutátorových motorů dochází k jiskření vznikajícímu během přechodu uhlíkových kartáčů mezi vodivými kontakty komutátoru. Během tohoto jiskření dochází k opotřebování a to především postupnému ubývání uhlíkových kartáčů, což znamená kratší životnost motoru. Dalším problémem DC motorů je závislost otáček rotoru na budícím napětí. V dnešních elektromobilech se sahá po bateriových systémech, které poskytují zpravidla stejnosměrných 48 voltů. Pro dosažení určitých otáček by tedy bylo třeba transformovat napětí zdroje na větší, či menší podle potřeb uživatele. Tato transformace vyžaduje přídavná elektronická zařízení, jejichž účinnost nemusí být dostatečně velká pro použití v komerční sféře. Dalším možným řešením je použití několikanásobné převodovky, která by do určité míry mohla problém odstranit, avšak pro výrobce automobilu a v podstatě i pro konečného spotřebitele by to znamenalo větší složitost automobilu, menší životnost způsobenou pohyblivými částmi převodovky a ve výsledku vyšší výrobní a provozní náklady vozu.

AC motory jsou mnohem vhodnější volbou pro použití v elektromobilitě, protože pro řízení jejich otáček lze použít frekvenčních měničů. Tato zařízení mají také určitou složitost, avšak kromě chladicího systému neobsahují pohyblivé části. Velmi důležitým benefitem použití frekvenčních měničů je také možnost lepší a jednodušší regulace otáček a tím pádem celkového zrychlení vozu. Elektromobily a jejich motory díky frekvenčním měničům mají k dispozici vždy maximální krouticí moment při téměř dokonalé lineární charakteristice zrychlení. Elektromobilu tedy vystačí 48 voltová baterie, která pomocí střídače transformuje stejnosměrný proud na střídavý, kterému je dále ve frekvenčním měniči upravována frekvence podle požadavků na rychlost vozu. Díky tomuto řešení stačí automobilu převodovka s pouze jediným převodovým stupněm. Tento převodový stupeň je zde z toho důvodu, aby kola automobilu nebyla napojena přímo na hřídel motoru.

2.4 FREKVENČNÍ MĚNIČE

Frekvenčním měničem se rozumí zařízení, které pomocí změny frekvence napájecího napětí řídí rychlost otáčení, popřípadě moment elektromotorů. Mezi největší výhody, které s sebou přináší řízení otáček, je především úspora energie. Elektromotory v kombinaci s frekvenčními měniči dnes nahrazují běžně používané elektromotory, jejichž otáčky nejsou řízeny vůbec a dochází u nich pouze k zapínání a vypínání. Tato možnost je v případě elektromobility nemyslitelná. Nejen, že by při rozjezdu a dobrzdění vozu docházelo k obrovským proudovým špičkám, ale docházelo by k opotřebování všech myslitelných komponent od bateriového systému až po pneumatiky automobilu. V domovních regulacích,

jmenovitě v kotelnách, bylo běžné používat tyto motory s funkcí zapnuto/vypnuto v kombinaci se škrtkými ventily, což mělo za následek, že ačkoli čerpadlo pracovalo na plný výkon, škrtký ventil se staral o to, aby do soustavy vstupovalo pouze požadované množství vody. To je podobné mrhání energií, stejně jako u elektromobilu, který by použil motor se stavy Zapnuto / Vypnuto a pro regulaci rychlosti by používal brzdový pedál. Díky užití frekvenčních měničů tak nejen v některých případech dochází ke zjednodušení systému, jež nadále nepotřebuje určité komponenty, ale navíc dochází k úsporám energie v rozmezí 45-60% v závislosti na oblasti použití. Nevýhodou tohoto řešení s frekvenčními měniči je vyšší pořizovací cena, která se však z dlouhodobého hlediska vyplácí ve formě úspor a v některých případech i životnosti systému.

2.5 BATERIOVÉ SYSTÉMY

Baterie nebo akumulátor je název pro zařízení, jehož cílem je uchovávání energie, nejčastěji elektrické energie. Většinou se používá akumulátorů na elektrochemickém principu. V těchto akumulátorech dochází průchodem proudu k vratným chemickým změnám, které se projeví ve formě rozdílného elektrochemického potenciálu na elektrodách, tedy anodě a katodě. Každá baterie má udávanou kapacitu v ampérhodinách. Tento údaj říká, jak velké množství energie lze v akumulátoru uchovat. Dalšími důležitými parametry bateriových systémů jsou hmotnost a rozměry, rychlost dobíjení, počet dobíjecích cyklů, paměťových efektů a míra samovybíjení.

Rozdíl mezi automobily poháněnými fosilními palivy a elektromobily je právě hustota energie, kterou lze vměstnat do nádrže, respektive bateriového systému. U starých olověných akumulátorů je řeč o 40 Wh/kg, což je velice malá hodnota, která pro elektromobily není ani zdaleka přijatelná, protože pro rozumný dojezd je potřeba baterie s tak vysokou hmotností, že se její výroba výrobcem nevyplatí a zákazník o ní nebude mít zájem. Zatím nejlepší akumulátorové systémy pracující s Li-ion články, tedy lithium-iontovými. Tyto moderní články dosahují hustoty energie až 676 Wh/l, což je téměř sedmnáctinásobek kapacity při stejné hmotnosti oproti olověným bateriím. Fosilní palivo, jako je benzín, však obsahuje celkem 11 kWh/l, což je také přibližně sedmnáctinásobek oproti Li-ion bateriím. Elektromobily dosahují až 90% účinnosti, tedy ztráty energie činí zhruba 10%. Nejmodernější spalovací motory dosahují účinnosti přibližně 35%, takže okolo 65% energie je spotřebováno a nevyužito ve formě tepla. Průměrně velká nádrž automobilu se spalovacím motorem je 60 litrů, to znamená 660 kWh energie, ze které je v ideálním případě využito 231 kWh. Oproti tomu ty nejlepší elektromobily dnes obsahují baterie, které mají 100 kWh bateriové systémy, ze kterých lze

reálně využít 90 kWh. Automobily se spalovacími motory tak mají k dispozici dva a půl krát více energie k dispozici pro přesun z bodu A do bodu B. Automobil s benzinovým motorem o průměrné spotřebě 6,5 l/100km a nádrží 60 litrů je tak schopen dojet okolo 920 km. Elektromobily se 100 kWh baterií dokáží dojet až 500 km.

Uspořádání bateriových článků, například Panasonic 18650, se realizuje vhodným zapojením do tzv. skupin. Tyto skupiny obsahují několik desítek článků, které jsou zapojeny paralelně, čímž se zajistí vyšší kapacita baterie. Tyto skupiny se zapojují sériově do modulů, kde jeden modul obsahuje několik zmiňovaných skupin. Sériovým zapojením skupin a modulů se dosahuje vyššího napětí bateriového systému.

2.6 SLOŽENÍ SYSTÉMŮ

Většina elektronických systémů, které slouží k řízení veličin, ať už ve formě teploty či trajektorie, se skládá ze tří základních částí. Jedná se o senzorickeou část, procesorickou a aktorickou. Tyto tři části dohromady jsou nezbytně nutné pro to, aby bylo dosaženo požadovaného stavu řízených veličin. Ať už se jedná o chytré domy, kdy senzorickeá část je tvořena senzory teploty a tlaku potrubí, procesorická část ve formě řídicích PLC, DDC a podobných regulátorů. Aktorickou částí jsou zde například čerpadla, která pomáhají k dosažení žádaných veličin. V případě robotických vozidel se do senzorickeé části řadí mnohem více senzorů, ať už jsou to jednodušší senzory ve formě měření tepla, nebo složitější senzory jako kamerové a LiDarové systémy. Procesorickou část u těchto vozidel tvoří plnohodnotné počítače obsahující výkonné procesory a grafické karty, které jsou mnohem efektivnější pro maticové operace a tedy zpracování obrazu z kamerových systémů. Aktuálním trendem je vícero takových počítačových systémů v jednom voze, kdy každý počítačový systém se stará o různé rutiny. Nejdůležitější počítač se stará o chod automobilu, jedná se o vysoce výkonnou řídicí jednotku, která je v autech už přes dvě dekády, avšak její výkon se za tuto dobu zněkolikanásobil. Další počítačový systém obstarává infotainment, což je to, co vidí řidič a pasažéři. V automobilech se stále častěji namísto konvenčních mechanických „budíků“ před volantem sahá po LCD zobrazovacích panelech s vysokým rozlišením, head-up displejích, tabletech místo středové konzole a dalších prvků, které vyžadují výkonnou jednotku zajišťující plynulé vykreslování animací a informací pro posádku automobilu. Dalším počítačový systém může obstarávat asistenty jako ABS, ASR, ESP, hlídání mrtvého úhlu, parkovací kamera. Dále je potřeba počítač, který v reálném čase zpracovává obrazová data v různých barevných spektrech při vysoké vzorkovací frekvenci a během toho stihne rozpoznávat přítomné objekty. Těchto

procesorických jednotek je zde určité množství právě proto, aby výrobce automobilu dokázal zaručit bezpečnou jízdu ve svém automobilu. Co se aktorických částí týče, tak to jsou neodmyslitelně motorové jednotky, pak všechny servomotory, DC motory pro stahování oken a zamykání auta.

Senzory jsou obecně prvky, které slouží k zjišťování aktuálního stavu dané veličiny, tedy jejímu měření. Slouží k převodu fyzikálních veličin na veličiny elektrické, které lze dále zpracovávat, vyhodnocovat a používat k řízení systémů. Senzory mohou být aktivní, což znamená, že nepotřebují napájení, protože měřená veličina způsobuje, že se senzor chová jako zdroj elektrické energie. V případě pasivních senzorů se jedná o senzory, které potřebují pro správnou funkci napájení. Tím nejjednodušším může být senzor pro měření teploty Pt1000. Tento senzor mění na základě měřeného prostředí své fyzikální vlastnosti, v tomto případě odpor. Pro měření změny odporu je potřeba zdroj elektrické energie, ke kterému je senzor připojen. Senzorem protéká elektrický proud, který se mění v závislosti na změně teploty prostředí, ve kterém se nachází. Tuto změnu lze relativně jednoduše měřit a interpretovat jako teplotu v PC, protože daný senzor má pro určitou teplotu prostředí jasně definovaný odpor. Senzory se však dají rozlišovat vícero způsoby, nejen na aktivní, či pasivní. Dále se dělí podle měřené veličiny. Měřit lze kromě teploty, například tlak, intenzitu osvětlení, vzdálenost, rychlost, změnu směru, intenzitu elektromagnetického pole, čistotu ovzduší a jiné. Toto dělení je velmi široké, protože měřit lze nepřeberné množství veličin. Senzory lze dělit podle média, pomocí kterého přenáší signál. Tímto médiem může být kromě elektřiny hydraulická kapalina, kterou lze použít v místech s nebezpečím výbuchu nebo popřípadě pneumatické médium, nejčastěji vzduch, ten je možné použít v případech, kdy je měření prováděno v prostorách s nebezpečím výbuchu a zároveň je zde kladen důraz na čistotu. Hydraulická kapaliny by totiž v případě nehody mohla prostředí znečistit a potenciálně i znehodnotit. Senzory mohou být také dotykové nebo distanční. Dotykovým senzorem je senzor, který je v přímém kontaktu s prostředím. Nejjednoduššími dotykovými senzory mohou být senzory pro měření hladiny, tedy sonda zatopení sestávající ze dvou elektrod připojených na malé napětí, nebo plovák na hladině sloužící jako vypínač čerpadla. Dělení senzorů existuje velké množství, v praxi je jedním z nejdůležitějších parametrů cena, která do určité míry reflektuje kvalitu provedení a přesnost měření senzoru. Senzory pro řídicí systémy v podstatě „oči a uši“, protože díky nim má systém přehled o svém okolí.

Procesorická část systému je tvořena vstupy, které mohou být analogové či digitální. Na tyto vstupy se připojují senzory obstarávající informace potřebné pro chod systému. Výstupem procesorické části jsou výstupy, které jsou také analogové nebo digitální. Těmito výstupy jsou

předávány instrukce pro aktory, jež provedou zásah v regulované soustavě. Pro vygenerování správné akční veličiny pro aktory je v procesorické části obsažen výpočetní člen. Tímto výpočetním členem se rozumí buď jednoduchý jednočipový počítač, mikrokontrolér, nebo plnohodnotný počítač. Jednočipové počítače jsou malá, relativně jednoduchá zařízení, nesoucí v jednom čipu vše potřebné jako RAM paměť a paměť pro ukládání dat nebo programu v závislosti na architektuře. Tyto jednočipové počítače neobsahují operační systém, pouze nahraný program a jsou používány pro jednoúčelové aplikace. Oproti tomu jsou výpočetní členy obsahující výkonné počítače mnohem sofistikovanější a schopnější zařízení, která dokáží obstarávat velké množství úloh. Ačkoli jsou energeticky mnohem náročnější, je zde větší prostor pro ladění a běh programů, kterých může běžet více naráz, protože díky vyššímu výkonu a přítomnosti operačního systému lze jednoduše přiřazovat zdroje podle potřeb a zvládat tak mnohem náročnější operace.

Aktorická část tvoří „ruce a nohy“ systému, protože právě aktory provádí akční zásah v regulované soustavě.

2.7 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ

Termín dálkové ovládání je nejčastěji spojován s ovladačem od televizorů, avšak tyto ovladače obsahují technologii, která je jen jedním fragmentem z celého spektra způsobů dálkového ovládání. Obecně se dálkovým ovládáním rozumí ovládání určitého zařízení na nějakou vzdálenost. Tyto vzdálenosti mohou být v řádech centimetrů a metrů, ale také i v desítkách kilometrů. Dálkové ovládání může být ve formě drátového či bezdrátového. Drátovým dálkovým ovládáním může být například HDO, tedy hromadné dálkové ovládání, které používají především poskytovatelé elektrické energie pro domácnosti. Díky tomuto způsobu lze měnit pomocí různých povelů tarify, které jsou od poskytovatele k dispozici. Dalším příkladem „drátového“ přenosu je tzv. Bowdenův kabel, běžně nazývaný „bowden“, který nepřenáší signály ve formě elektrické energie, nýbrž ve formě mechanické síly. To dnes lze nejčastěji vidět u jízdních kol, která tyto kabely používají pro změnu převodového stupně.

Druhým způsobem je bezdrátový přenos informací, tedy bezdrátové dálkové ovládání, které má v jednadvacátém století nezastupitelné místo. Tento bezdrátový přenos informací totiž lze využít nejen pro řízení zařízení, ale i pro komunikační účely, přičemž dnes ve dvacátém prvním století je tento přenos informací důležitý pro včasné informování obyvatel, mobilizace záchranných složek, telefonování a sdílení informací přes internet z mobilních bezdrátových zařízení.

Dálkové ovládání může být jednoduché, realizované pouze jednosměrným přenosem, popřípadě složitějším obousměrným přenosem informací. K přenosu informací je vždy využito určité médium. Tímto médiem je elektromagnetické záření. V závislosti na místě použití se volí takový druh signálu, který je pro aplikaci nejvhodnější z pohledu rychlosti přenosu informace, tedy datového toku, dále pak z ekonomického hlediska a také podle schopnosti signálu prostupovat přes překážky, jako jsou zdi, zalesněné oblasti či vodní plochy.

Dnes velice často používaným druhem signálu je infračervené světlo, které je velice vhodné pro jednoduché povely. Lze ho „vidět“ například u již zmiňovaného dálkového ovládání pro televizory. Dálkový ovladač obsahuje emitor ve formě infračervené LED diody, která vyšle sekvenci jedniček a nul ve formě infračerveného záření. Toto záření je zachyceno senzorem, který je umístěný v televizoru. Ovládání pomocí infračerveného záření je pro jednosměrnou komunikaci na krátkou vzdálenost vhodnou volbou jak z hlediska ekonomického, tak i co se týče energetické náročnosti. V případě, že by se v prostoru nacházelo více emitorů infračerveného signálu, který by odpovídal logickým hodnotám jedniček a nul, mohlo by dojít k zahlušení a nebylo by možné povely v televizoru přečíst.

Původně se pro dálkové ovládání televizoru používalo ultrazvukového záření, což není elektromagnetické záření, a tudíž se jedná o pomalejší variantu, která ke své správné funkci potřebuje prostupovat skrz prostředí vhodné k přenosu zvukových vln. Ačkoli se neočekává, že by běžný uživatel sledoval televizor v prostředí, kde se zvukové vlny nemohou šířit, nároky na napájení a na rozměry zařízení posunuly ultrazvukové dálkové ovládání až na druhou kolej a vývoj se vydal směrem infračerveného záření.

Dalším způsobem přenosu informace je i viditelné světlo, které se dnes využívá jen v krajních a velmi vzácných případech, kdy jsou vysílány světelné signály ve formě Morseovy abecedy, především pro vyslání nouzového SOS signálu.

Tím nejpoužívanějším způsobem bezdrátové komunikace, či dálkového ovládání na větší vzdálenosti, jsou rádiové vlny. Rádiové vlny jsou součástí spektra elektromagnetického záření. Toto záření obsahuje vlnové délky od jednoho milimetru až po tisíce kilometrů, přičemž jsou rozdělovány na tzv. pásma. Tato pásma mohou být signály s extrémně nízkou frekvencí až po pásma s extrémně vysokou frekvencí. Každé pásmo má své charakteristické vlastnosti, rychlost přenosu dat, propustnost přes předměty či energetická náročnost.

Pro datový přenos mezi běžně užívanými zařízeními se užívá ultra vysoká frekvence, tedy rádiové vlny s vlnovou délkou od jednoho metru po deset centimetrů, čemuž odpovídá frekvence 300-3000 MHz. Na této frekvenci „běží“ televizní vysílání, Wi-Fi komunikace, mobilní telefony a Bluetooth komunikace.

Zařízení, která k přenosu využívají zmiňovanou Wi-Fi, popřípadě Bluetooth, mají výhodu, že se jedná o standardizované protokoly, které jsou podporovány napříč většinou vyrobených zařízení, tudíž lze komunikovat mezi obrovským množstvím zařízení. Oba protokoly jsou schopny komunikace do vzdálenosti až 100 metrů a dokáží s jistou mírou chybovosti komunikovat i přes překážky. Zatímco Bluetooth je specializován především na nižší energetické nároky, vývoj Wi-Fi směřuje k větší datové propustnosti na kratší vzdálenosti s přímou viditelností.

2.8 ŘÍDICÍ SYSTÉMY

Řídicím systémem se rozumí software v zařízení, či skupině zařízení, které je možné naprogramovat v závislosti na požadavcích, jež pak tento systém dokáže plnit podle zvoleného režimu. Řídicí systémy mohou být čistě ve formě softwaru, který řídí internetové či jiné virtuální systémy a programy, popřípadě může být řídicím systémem široký výběr zařízení v kombinaci se softwarem, který nad tímto systémem „bdí“. Řídicí systém je určen pro řízení řízeného systému/soustavy, přičemž řízením se rozumí ovládní, které má přehled o vykonané činnosti, tedy obsahuje zpětnou vazbu, díky níž je schopen určovat své další kroky.

Řídicí systém může obsahovat více druhů režimů. Tím nejběžnějším je ruční režim, kdy uživatel přímo zadává požadavky do systému a ten podle toho podniká kroky, díky nimž lze dosáhnout požadovaných výstupů systému. Nevýhodou ručního režimu je potřeba alespoň částečné přítomnosti operátora, respektive uživatele, který je pro danou aktivitu kompetentní osobou a dohlíží na výstupy systému. Těmito systémy jsou především systémy obstarávající výrobu na pásových výrobních linkách, kdy uživatel kontroluje vstup i výstup a udává korekce do systému, který se jinak postará o vše mezi vstupem a výstupem.

Poloautomatický režim je vyspělejší způsobem řízení soustav, kdy na základě přednastavených požadavků systém „operuje“ bez nutnosti zásahů ze strany uživatele, jehož přítomnost je potřeba jen v případě, že se vyskytne porucha, či je prováděna korekce požadavků na výstup systému. Tímto systémem lze rozumět dnešní autopiloty v letadlech, které jsou schopné udržovat letovou hladinu, požadovanou rychlost a kopírovat trajektorii vyznačeného koridoru. Zásah pilota je potřeba pouze za nepříznivých povětrnostních podmínek či neočekávaných událostí.

Tím nejvyspělejší režimem je režim autonomní, kdy již není potřeba žádného operátora, který by kontroloval výstup systému. Tímto systémem jsou myšleny právě automobilové řídicí systémy, které jsou plně autonomní a na přesun z bodu A do bodu B není

potřeba kompetentní osoby a lze tak vozidlo použít například pro transport dětí do školy/školky bez přítomnosti řidiče.

2.9 ŘÍDICÍ JEDNOTKY

Obecně jsou řídicí jednotky mikropočítače v kombinaci s elektronickými součástkami, s kterými tvoří navzájem provázaný celek, jež má za úkol vykonávat naprogramované funkce. Tyto řídicí jednotky musí pro komerční užití splňovat spoustu technických požadavků. Tyto požadavky jsou kladeny především na teplotní odolnost jednotky, která se musí pohybovat v rozmezí od -40°C až po 125°C v závislosti na druhu určení. Dále je zapotřebí odolnost vůči otřesům a odolnost vůči prachu a vlhkosti. Jsou tedy kladeny nároky na stupeň krytí. Tato zařízení musí být schopna vydržet i mírné kolísání napájecího napětí a být chráněna proti napěťovým špičkám přicházejícím z venku. Každé dnes vyrobené zařízení, včetně elektromotorů a jiných elektronických zařízení, musí splňovat požadavky na EMC, tedy tzv. elektromagnetickou kompatibilitu. Tou se rozumí odolnost vůči vnějšímu elektromagnetickému rušení a schopnost neovlivňovat ostatní zařízení za pomoci vlastního elektromagnetického vyzařování.

Řídicí jednotky ke své správné funkci musí být schopny komunikovat se svým okolím, čímž mohou být podřazené periferní jednotky, či přímo vstupy a výstupy systému. Se všemi perifériemi je komunikace realizována použitím sběrnic a protokolů. Sběrnice se rozumí určitá skupina vodičů, které slouží pro přenos signálů. Tato sběrnice může být sériová, paralelní nebo sérioparalelní. Dále lze sběrnice dělit podle druhu provozu. Tím se rozumí provoz synchronní a asynchronní. Sběrnice se dělí i podle směru přenosu, protože komunikace může být jednosměrná ale i obousměrná. Posledním dělením je podle funkce, kdy sběrnice přebírá funkci datovou, adresovou, popřípadě řídicí.

Těmi nejužívanějšími sběrnici v průmyslu jsou RS-232, či novější a výkonnější RS485, která má tu výhodu, že může je vhodná na delší vzdálenosti. Další velice známou a používanou je I2C, či CAN bus. V počítačové technice pak USB, SATA a PCI Express. Všechny tyto sběrnice jsou určeny pro sériovou komunikaci, díky čemuž jsou vhodnější na další vzdálenosti, avšak oproti paralelním sběrnici mohou mít menší datovou propustnost.

Pro správnou funkci sběrnice a především pro úspěšnou realizaci komunikace mezi dvěma datovými uzly je zapotřebí definice pravidel, kterými se budou řídit oba koncové body, kterými jsou komunikující periférie (čidla a řídicí jednotky). Těmito pravidly jsou komunikační protokoly, které definují, jakým způsobem bude probíhat detekce fyzického spojení, jak má

vypadat začátek a konec zprávy, v jakém formátu bude zpráva odesílána, co se má provádět s poškozenými daty, jak tato data opravit, jak zjistit neočekávanou ztrátu spojení, jak reagovat na tuto ztrátu spojení a jak ukončit spojení mezi datovými body. Stejně jako sběrnic, i protokolů existuje velké množství, kdy určitý protokol se hodí pro jiné aplikace. Těmi nejznámějšími je především protokol Modbus, dále pak M-bus, CAN, či mnohem sofistikovanější a náročnější jako UDP, TCP/IP, BACnet a další.

2.10 INFRAČERVENÉ SENZORY

Pro různá měření lze použít infračervené senzory. Těmito senzory může být myšlena dvojice ve formě IR vysílače a IR přijímače. Tato dvojice může být použita jako optická závora v průmyslových závodech, ale také jako optická závora v automatické domovní pojezdové bráně, kde se stará o bezpečné uzavření brány, aniž by došlo ke škodě na majetku či zdraví. V jiném případě může tuto dvojici tvořit pár ve formě IR vysílače umístěného v dálkovém ovládání od televizoru a IR přijímače umístěného v televizoru. Tato dvojice spolu komunikuje pomocí modulovaného signálu ve formě infračerveného záření, které přenáší informaci o požadavku uživatele.

Tyto senzory jsou dnes hojně používané především pro svou rychlost. Vzhledem k tomu, že ke své činnosti používají elektromagnetické záření, k přenosu signálu tak dochází maximální dosažitelnou rychlostí, tedy rychlostí světla, což je přibližně $299\,792\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. V dřívějších dobách během nástupu elektroniky do běžného života lidí se pro některé aplikace používalo místo infračervených senzorů ultrazvukových senzorů. Vzhledem k tomu, že ultrazvuk není elektromagnetické záření, ale zvuková vlna, jedná se o pomalejší variantu ovládání, která pro svou správnou funkci potřebuje prostupovat prostředím vhodným k přenosu zvukových vln. Nároky na napájení a rozměry zařízení ale způsobily, že se dnes pro dálkové ovládání užívá infračervených vysílačů a přijímačů.

Infračervené senzory mají široké pole užití. Od již zmiňovaných dálkových ovládání a optických bran se infračervené senzory používají i pro měření rychlosti otáčení ve formě enkodérů, či k měření množství dopadajícího světla od emitoru infračerveného záření. Právě tento zmiňovaný princip měření množství dopadajícího světla lze uplatnit v nespočtu různých aplikací. Lze ho využít pro dálkoměr, tedy měření vzdálenosti mezi vysílačem a předmětem od kterého se infračervené světlo odráží zpět do snímače.

2.10.1 IR vysílač – 520E940C

Infra vysílačem nebo také IR vysílačem, se rozumí jakýkoliv zdroj infračerveného záření, tedy elektromagnetického záření s vlnovou délkou 760 nanometrů až 1 milimetr. Jedná se o světelné spektrum, které není viditelné lidským okem. Toto spektrum se dá dělit na blízkou, střední a vzdálenou oblast infračerveného záření.

Pro účely správného měření světelného toku ze zdroje infračerveného záření je třeba správně zvolit vhodný emitor. Pro použití v enkodéru i pro měření vzdálenosti či měření vodící čáry lze použít infračervenou diodu vyzařující infračervené světlo o vlnové délce 940 nanometrů. Pro krátké vzdálenosti lze použít IR vysílač v jakémkoli provedení. Pokud se jedná o delší vzdálenosti, je nutné volit takovou diodu, jejíž vyzařovací úhel není příliš velký či příliš malý, v závislosti na tom, co je cílem realizace.

V této práci je použita infračervená dioda 520E940C. Jedná se o relativně levnou součástku, která splňuje výkonové požadavky pro tuto práci. Infračervené světlo, které emituje, má vlnovou délku zmiňovaných 940 nanometrů a je vyzařováno pod úhlem 20°.

2.10.2 IR přijímač – LTR-3208

Infra přijímač, případně IR přijímač, je zařízení, které má za úkol přijímat emitované infračervené záření z infra vysílače. Světelný tok, který vytváří IR vysílač je tak zaznamenán v IR přijímači a informaci o přítomnosti IR záření lze dále použít pro další zpracování.

Doplněním napět'ového komparátoru lze relativně jednoduše vytvořit zařízení s citlivostí na infračervené záření jen od určité mezní hodnoty. Lze tak získávat binární signál, kdy přítomnost záření může značit logickou nulu, či jedničku v závislosti na požadované logice.

Další možností je měření množství přijímaného záření na analogových vstupech měřicích prvků, tuto hodnotu lze případně transformovat jako hodnoty od 0 % do 100 % a tuto informaci dále využít podle požadavků.

Pro tuto práci je použit fototranzistor LTR-3208. Nejdůležitějším parametrem, který musí splňovat, je jeho pouzdro obsahující filtr elektromagnetického záření o určité vlnové délce, respektive pásmová propust infračerveného záření o vlnové délce 940 nanometrů. Pro potřeby této práce se jedná o podmínku dostačující pro to, aby nebyla zapotřebí modulace emitovaného infračerveného záření.

2.11 MIKROKONTROLÉR ATMEGA328P

Mikrokontrolér je označení integrovaného obvodu, který obsahuje vše potřebné pro běh programů, tedy mikroprocesor, operační paměť, oscilátor, vstupně/výstupní rozhraní, paměť programovou a paměť datovou v závislosti na architektuře. V případě von Neumannovy architektury je paměť pro program a data společná, zatím co u Harvardské architektury jsou paměti pro program a data separovány.

Mikrokontroléry lze dělit podle instrukční sady, kterou používají pro svou funkci. Touto instrukční sadou se rozumí kódované příkazy pro provádění nejelementárnějších operací procesoru, které je procesor schopen provést. Instrukční sada může být redukována, tedy RISC, a komplexní, CISC. Redukovaná instrukční sada obsahuje jen ty nejjednodušší instrukce, které lze kombinovat a provádět tak složitější operace jako v případě komplexní sady CISC, avšak za vyšší cenu procesorového času. Příkladem může být instrukce pro násobení ze sady CISC, které lze v RISC sadě docílit pomocí instrukcí pro sčítání a bitové posuny.

ATmega328p obsahuje 32 pracovních osmi bitových registrů. Tento mikrokontrolér lze ovládat pomocí 131 instrukcí, kde většina z nich zabere pouze jeden jediný hodinový cyklus pro vykonání. Obsahuje také celkem tři čítače/časovače, z toho dva jsou osmi bitové a třetí je šestnácti bitový. Je zde k dispozici celkem šest PWM kanálů a A/D převodník s až deseti bitovým rozlišením. Mikrokontrolér je připraven na sériovou komunikaci pomocí I2C sběrnice. Pro správnou funkci MCU je zapotřebí napájecí napětí s minimální hodnotou 1,8V a maximálně 5,5V. MCU dokáže spolehlivě pracovat při teplotách od -40°C až do 85°C.

Pro tuto práci byl použit MCU v 28 pinovém PDIP provedení. V tomto provedení je k dispozici pro práci port B, C a D. Port B je osmi bitový obousměrný port, který obsahuje pull-up rezistory pro každý pin zvlášť. Port C je sedmibitový obousměrný port, který taktéž obsahuje pull-up rezistory pro každý bit samostatně. Piny 0 až 5 na portu C lze použít jako analogové vstupy. Stejně jako port B, i port D je osmibitový a obousměrný port, který obsahuje pull-up rezistory pro každý bit zvlášť.

2.12 ARDUINO

Názvem Arduino se rozumí otevřená platforma, která byla představena světu v roce 2005. Vzniklo v Italském městě Ivrea a mělo za úkol stát se jednoduchou prototypovací platformou, která by našla uplatnění především ve studentských projektech díky jednoduchosti, která by zajišťovala rychlý vývoj řídicích aplikací.

Projekt Arduino je od samého začátku vyvíjen jako otevřená platforma, tzv. open-source. Lze tedy Arduino a všechny jeho části upravovat dle libosti uživatele. Referenční příručka jazyka a knihoven společně s dokumentací jsou šířeny pod licencí Creative Commons.

Arduinem je však většinou myšlena především vývojová deska Arduino Uno, která je momentálně ve své třetí verzi či generaci. Tato vývojová deska Arduino UNO R3 obsahuje mikrokontrolér ATmega328p, který se stará o běh programů. Různé varianty Arduina používají i jiné mikrokontroléry, některé z nich používají i jádra ARM (Advanced RISC Machine). Vývojové desky obsahující mikrokontroléry s ARM jádry mají znatelně vyšší výkon a dokáží obstarávat mnohem složitější aplikace a více vstupně-výstupních portů.

Vývojové desky Arduino obsahují kromě primárního čipu také čipy sloužící k převodu USB - RS-232, což usnadní vývoj aplikací, ke kterému již není potřeba fyzický převodník ve formě samostatné desky, která následně převádí komunikaci z USB na sériovou komunikaci vhodnou pro čip ATmega. Ačkoli jak USB, tak i RS-232, jsou rozhraní pro sériovou komunikaci, čip ATmega nepodporuje přímo komunikaci přes USB, tudíž je třeba využít převodníku.

Samotný čip pak již obsahuje bootloader, tedy zavaděč, který se stará o základní nastavení mikrokontroléru, což pro uživatele znamená další ušetření práce. Tímto nastavením se rozumí nastavení interního časovače, USART rozhraní a fuses „bajtů“. Díky těmto přednastavením je pak uživatel schopen okamžitě psát kód svých aplikací. Tento kód je psán v jazyce „Wiring“, který se syntaxí velice podobá jazyku C a C#. Jedná se o vyšší programovací jazyk, který je pro uživatele dobře čitelný a lze se v něm relativně snadno orientovat.

Desky Arduino jsou dále rozšiřitelné o velké množství tzv. „shieldů“. Tato rozšíření obsahují čipy, které dokáží komunikovat například přes ethernetové rozhraní, dále pak motorové shieldy, které obsahují H-můstky a řídí otáčky a směr točení motorů. Další shieldy pak obsahují Wi-fi čipy s anténou, popřípadě i GPS čipy. Výběr je obrovský a vzhledem k rozšířenosti celé platformy se jedná o výbornou volbu pro vytváření prototypů jednoúčelových zařízení.

2.13 ARDUINO IDE

Zkratka IDE (Integrated Development Environment) je označením pro vývojové prostředí, které má programátorům pokud možno co nejvíc usnadnit práci s Arduinem. Vývojovým prostředím se rozumí software, který podporuje konkrétní programovací jazyk. Kromě editoru zdrojového kódu by vývojové prostředí mělo dále obsahovat kompilátor,

popřípadě interpret a debugger. Druhů vývojových prostředí je velká spousta a řešení od různých vývojářů poskytuje jiné, více či méně užitečné nástroje.

Vývojové prostředí Arduino IDE je určeno pro programování desek Arduino, popřípadě dalších klonů Arduina. Arduino IDE není nikterak sofistikovaný program. Neobsahuje ani nástroj pro debugging a jedná se spíše o poznámkový blok vylepšený o kompilátor a pár dalších funkcí. Jedná se však o výborný software, jež splní svou práci a je zdarma pro každého, což je jeden z důvodů úspěchu Arduina.

Samotné vývojové prostředí obsahuje textový editor, do kterého se píše zdrojový kód, dále pak obsahuje textovou konzoli, okno s výpisem zpráv o procesu a lištu s běžnými nabídkami. Programy jako takové se nazývají „sketche“, tedy návrhy. Tyto programy se ukládají s koncovkou .ino. Během psaní programu, či po dokončení programu, je možné použít tlačítko Verify, které má funkci kontroly chyb kódu. V případě, že nejsou nalezeny žádné chyby, dojde ke kompilaci programu. V případě, že je vše v pořádku, stiskne se tlačítko Upload. To se postará o nahrání kódu do připojeného Arduina.

2.14 H-MŮSTEK

H-můstek je elektronická součástka, která se používá pro řízení směru otáčení elektromotorů stejnosměrného napětí. Tato součástka je používána v tzv. budičích motorů. Díky H-můstku je možné dosáhnout na výstupu budiče motoru jak kladné, tak záporné polarity napětí.

Tyto H-můstky jsou nejzákladnější částí motorového budiče a jméno této součástky bylo odvozeno z jejího schématického zapojení, respektive její grafické interpretace, která vypadá jako písmeno H. V podstatě se jedná o speciální zapojení čtyř spínačů, konkrétně tranzistorů. Lze použít i variantu s relé spínači, avšak tato varianta s sebou nese svá negativa ve formě postupného opotřebovávání pohyblivých částí. Na druhou stranu lze pomocí relé spínačů spínat mnohem větší výkony. U tranzistorových variant je tomu přesně naopak. Tranzistory mají schopnost mnohem rychlejšího spínání a rozpínání, avšak za cenu spínání menších výkonů. Volba závisí na aplikaci, ve které má být budič použit. Typicky používaným H-můstkem je čip L298N.

Schopnost H-můstku dosahovat na výstupu budiče motoru napětí obou polarit je dána způsobem zapojení, kdy jsou společně spínány a rozpínány páry spínačů tak, aby nedošlo k zakázanému stavu a zároveň bylo dosaženo požadované polarity a tím pádem i směru otáčení motoru. Zakázaným stavem je myšlen stav, kdy jsou oba páry spínačů v poloze sepnuto. V

takovém případě by došlo ke zkratu napájecího obvodu. V důsledku zkratu by pak byl poškozen celý obvod. Těchto stavů je tedy zapotřebí se vyvarovat. Mělo by být možné se dostat pouze do stavu, kdy je celý obvod odpojen od napájení a motor tudíž neběží. Následují stavy, kdy se motor otáčí v jednom, či druhém směru. Poslední dva povolené stavy jsou případy, kdy se motor chová jako generátor napětí, respektive brzda. Během těchto stavů dochází ke zpomalování motoru.

H-můstek je řízen celkem pomocí třech signálů. Enable, Input 1 a Input 2. Kombinací vstupních signálů Input 1 a Input 2 se dosahuje zmiňovaných stavů a pomocí vstupu Enable je možné řídit rychlost otáčení motoru. Vstup Enable totiž v případě logické 0 nepovolí přivedení napětí na výstup a motor se nebude točit při jakékoli kombinaci vstupů Input 1 a Input 2. V případě přepnutí vstupu Enable do logické 1 je na motor přivedeno napětí v závislosti na kombinaci vstupů Input 1 a Input 2. Pro řízení rychlosti otáčení motoru je možné na vstup Enable přivádět pulzní signál.

2.15 PULZNÍ ŠÍŘKOVÁ MODULACE

Pulzní šířková modulace, častěji nazývána jako PWM signál, má původ z anglických slov Pulse Width Modulation. Pulzní šířkovou modulací je myšlen dvouhodnotový signál, který v sobě pomocí pulzů o určité šířce obsahuje analogový signál. Jedná se o jednoduchý dvoustavový periodický signál, který nabývá logických hodnot 0 a 1. K modulování analogového signálu dochází pomocí úpravy šířky pulzů. Logické hodnoty 0 a 1 udávají po jakou dobu z celé periody je zařízení vypnuto a kdy zapnuto. Tomuto poměru mezi stavy zapnuto a vypnuto, čili logickými hodnotami 0 a 1, se říká střída impulzu. Pokud poměr dvou stavů je například 1:1, tak to znamená, že poměr mezi zapnuto a vypnuto je stejný, tudíž polovinu času periody je zařízení zapnuto a polovinu vypnuto a PWM signál je tedy 50%. Malou nevýhodou je, že procentuální vyjádření je relativní a je potřeba znát poměr procentuální hodnoty vůči reálné hodnotě.

Střída PWM signálu se vypočítá vztahem

$$DCL = \frac{\tau}{T \times 10^3}, \quad (2.1)$$

kde DCL je střída signálu, %

τ je délka pulzu, s,

T je délka periody, s.

Dvouhodnotový signál ve formě PWM signálu je možné přenášet několika způsoby. Těmi nejnámějšími způsoby je přenos signálu jako napětí, proudu, či světelného toku. Řízení

výkonů větších zařízení tímto způsobem je elegantní řešení z hlediska jednoduchosti. Je třeba dbát na správné dimenzování napájecích částí a izolace řídicích částí od výkonových prvků, protože v nejhorších případech může docházet k přenosu nosné frekvence, většinou 50Hz, přes napájecí kabely až do řídicí části, která následně nemusí fungovat správně z důvodu nestálosti napájecího napětí. V horším případě může dojít až ke zničení přístroje.

U servomotorů určených pro roboty a do oblastí styku s lidmi lze použít vyšší nosné frekvence PWM signálu. Je to z toho důvodu, aby uživatelé a okolní subjekty nebyly rozptylovány zvuky o frekvenci 50Hz, které servomotory vydávají a jsou lidským uchem dobře slyšitelné.

2.16 STEJNOSMĚRNÝ MĚNIČ NAPĚTÍ

Měniče stejnosměrného napětí jsou známější pod názvem DC-DC měnič, či DC-DC step down buck convertor. Jak napovídá anglický název, jedná se o zařízení, které zachovává druh napětí, tedy stejnosměrné, ale postará se o to, aby na výstupu tohoto zařízení bylo napětí o požadované hodnotě. Největší výhodou těchto stejnosměrných měničů je jejich vysoká efektivita a nízká hmotnost. V případě porovnání s lineárním usměrňovačem například 7805 je rozdíl v tom, že stejnosměrné měniče nevyzařují přebytečné napětí ve formě tepla a tudíž jsou úspornější. To je velice důležitou vlastností při použití v bateriových systémech, kde každá zbytečná ztráta znamená kratší provoz zařízení. Další nevýhodou lineárních usměrňovačů je potřeba relativně velkých chladičů, které mají za úkol odvézt ztrátové teplo od součástky a vyzářit ho do okolí.

Stejnospměrné měniče používají pro spínání tranzistory a diody a jako zásobník energie jim slouží kondenzátory a cívky. Existují různé variace stejnosměrných měničů, které používají i součástky pro galvanické oddělení a dále se pak rozlišují podle výkonu v závislosti na aplikaci.

2.17 OPTOELEKTRONICKÝ SNÍMAČ OTÁČEK

Nejčastěji používaným optoelektronickým snímačem je snímač otáček. Optoelektronické snímače lze použít na mnoho aplikací, avšak nejčastěji se lze s tímto snímačem setkat právě ve formě snímače otáček. Těmto snímačům otáček se někdy říká také enkodéry. Tyto enkodéry mohou pracovat na principu odrazu, či zaclonění světelného toku. Tento světelný tok je mezi zdrojem světla a přijímačem světla. Přijímačem světla je myšlena světlocitlivá součástka, většinou fototranzistor. Zařízením, která mezi sebou vytváří světelný tok, se také říká optická závora. Tato optická závora má informaci o přítomnosti předmětu

nacházejícím se mezi vysílačem a přijímačem světelného toku. V závislosti na použité logice je tedy v případě nepřerušenoého toku na výstupu enkodéru logická 1 a v případě zaclonění logická 0. Roli clony u optických snímačů otáček zastává světlo nepropustná část na rotačním disku, který obsahuje světlo nepropustné a světlo propustné úseky, jež jsou po celém obvodu disku pravidelně rozděleny. V momentě, kdy se rotor začne otáčet, dochází k přerušování světelného toku optické závory a na výstupu snímače lze následně odečíst, jakou rychlostí se disk a tedy i rotor otáčí.

Pro optické snímače, které obsahují pouze jeden světelný zdroj a jeden světlocitlivý snímač je typické, že takto lze měřit pouze rychlost otáčení, ale nikoli směr otáček. Pro případ, že je třeba měřit i směr otáčení rotoru, pak lze použít dva světlocitlivé snímače vedle sebe. V ideálním případě by druhý snímač měl být namontován tak, že jeho signál bude o 90° posunut oproti prvnímu snímači. Tomuto posunu se říká fázový posuv a je důležitý proto, aby se hrany obdélníků signálů neslévaly do sebe. V momentě, kdy se začne rotor otáčet, dojde nejprve k zaclonění prvního a až poté druhého optického snímače. Tím lze na výstupu snímače otáček docílit odečítání nejen rychlosti, ale i směru otáčení.

V případě použití zmiňované varianty však existuje další nevýhoda, a tou je pouze relativní odečítání polohy rotoru. Sice tento senzor dokáže změřit rychlost a směr, ale o skutečné, tedy absolutní poloze, nemá ponětí. Takovým snímačům se říká inkrementální a jejich princip spočívá pouze v detekci změny polohy o předem definovanou vzdálenost za určitý čas.

Pro měření absolutní polohy se užívá absolutních optoelektronických snímačů otáček. Tyto snímače otáček přímo detekují úhel natočení rotoru v rámci 360° s předem definovanou přesností. Tato přesnost je určena počtem snímačů a rotačním diskem, který obsahuje tomu odpovídající počet a tvar uspořádání propustných a nepropustných sektorů.

Náhradou enkodérů může být rotační potenciometr, který je o poznání jednodušší zařízení, schopné měření rychlosti otáčení, směru natočení i úhlu natočení. Největší nevýhodou je, že se jedná o mechanické zařízení, které obsahuje jezdec. Tento jezdec od sebe odděluje dva rezistory, které dohromady tvoří potenciometr. Tím, že se nejedná o bezkontaktní měření, ale o mechanické měření, dochází tak k fyzickému opotřebování součástky.

2.18 SNÍMAČ VODÍCÍ ČÁRY

Sledování vodící čáry je známý problém, který lze řešit mnoha způsoby. Tím nejrozšířenějším způsobem řešení u nejjednodušších aplikací je snímání čáry pomocí snímače na principu optické emise infračerveného záření a následného měření množství přijatého záření,

které se vrátilo od překážky zpět do snímače. Tento druh snímače lze použít jak pro měření vzdálenosti, tak právě pro snímání vodící čáry. Ta nejjednodušší zařízení obsahují jen jeden vysílač a jeden přijímač záření a měření. Pro případy, kdy stačí informace pouze o přítomnosti či nepřítomnosti objektu nebo vodící čáry lze užít senzory, které vrací logickou hodnotu nula a jedna. Tyto snímače, popřípadě mírně sofistikovanější snímače, které vrací analogovou hodnotu o množství navraceného světla, například 0 % až 100 %.

Vyspělejší senzory již používají větší množství takových snímačů. Minimálně 2 tyto snímače jsou potřeba pro snímání vodící čáry z obou stran. Ačkoli se jedná o mírně složitější zařízení, lze díky němu lépe sledovat vodící čáru. Toho je docíleno díky větším možnostem nastavení adekvátních regulačních zásahů a dále je tak možné mít větší přehled o vodící čáře jako takové, což je výhodou v momentě, kdy se vodící čára kříží s další vodící čarou. Tímto snímačem lze pomoci jasně určit, zda objekt vodící čáru přešel, či nikoli. Jeho následné chování by totiž nebylo správné. To však platí jen za předpokladu, že je vodící čára po celé své délce stejně široká. V opačném případě by totiž mohlo dojít ke zmatení senzoru.

Lze se setkat i se sestavami, které užívají 4 až 6 snímačů vracejících logické hodnoty 0 nebo 1. I tímto způsobem lze sledovat čáru, protože senzory lze umístit do řady kolmo k vodící čáře. Následně je možné pomocí zesilovače, popřípadě v kódu regulátoru nastavit, aby každý další snímač, který zachytil přechod z jedné logické hodnoty do druhé, změnil hodnotu akčního zásahu.

Kromě optických senzorů lze pro účely sledování vodící čáry použít i indukčních senzorů. V takovém případě by bylo nutné místo vodící čáry použít například kovový vodící pásek.

V automobilovém světě se lze setkat se snímáním vodící čáry, respektive snímání čar ohraničujících jízdní pruh, ve formě videokamery, která pomocí umělé inteligence a rozpoznávání obrazu dokáže vyhodnocovat, kudy vede cesta. Tento způsob snímání vodící čáry by však byl pro tuto práci zbytečně složitý a vyžadující obrovský výkon, kterým Arduino se svými ATmega čipy nedisponuje.

2.19 ULTRAZVUKOVÝ DÁLKOMĚR

Ultrazvukové snímače jsou velice běžně používané pro měření vzdálenosti. S těmito senzory se lze setkat ve výrobním, automobilovém, či zábavním průmyslu. Tyto senzory jsou jednoduché levné součástky, které se staly velice populární. Jejich princip je velice podobný měření vzdálenosti pomocí infračervených snímačů. Největší rozdíl mezi infračervenými a

ultrazvukovými snímači je ten, že ultrazvukové snímače potřebují médium, přes které budou šířit svůj signál. Tímto signálem je myšlen zvuk v o vysoké frekvenci přesahující hranici slyšitelnosti lidského ucha. Druhým rozdílem je rychlost šíření signálu ultrazvukového senzoru oproti infračerveným sensorům. Zatímco u infračervených sensorů se signál šíří až rychlostí světla v závislosti na průchodnosti prostředí, tak ultrazvukové senzory to mají přesně naopak, tedy rychlost šíření jejich signálu se zmenšuje až k nule pro prostředí neobsahující žádné atomy. Přesnost měření ultrazvukových sensorů je ovlivnitelná už pouhou změnou vlhkosti ovzduší. V některých případech se užívá doplňkových měření ve formě sensorů vlhkosti a následné změny výpočtu vzdálenosti na základě informace o vlhkosti ovzduší. Dalším faktorem, který ovlivňuje měření, je teplota ovzduší. Sensory lze tedy doplnit i o měření teploty okolí a na základě změřené teploty opět upravit výpočet vzdálenosti. V případě měření vzdálenosti za asistence měření teploty a vlhkosti se lze za ideálních podmínek dostat až na přesnost v řádech jednotek milimetrů do vzdálenosti cca 100cm.

Vzorec pro výpočet vzdálenosti předmětu na základě doby odeslání a obdržení signálu je následující

$$D = \left(\frac{\Delta t}{2}\right) \times v, \quad (2.2)$$

D je změřená vzdálenost, cm

Δt je doba mezi pulzy, s

v je rychlost zvuku, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Přičemž rychlost zvuku se mění v závislosti na prostředí a tudíž se vypočítává podle vzorce zahrnujícího vliv teploty a vlhkosti

$$v = 331,4 + (0,606 \times T) + (0,0124 \times H), \quad (2.2)$$

kde v je rychlost zvuku, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

T je teplota okolí, $^{\circ}\text{C}$

H je vlhkost ovzduší, %.

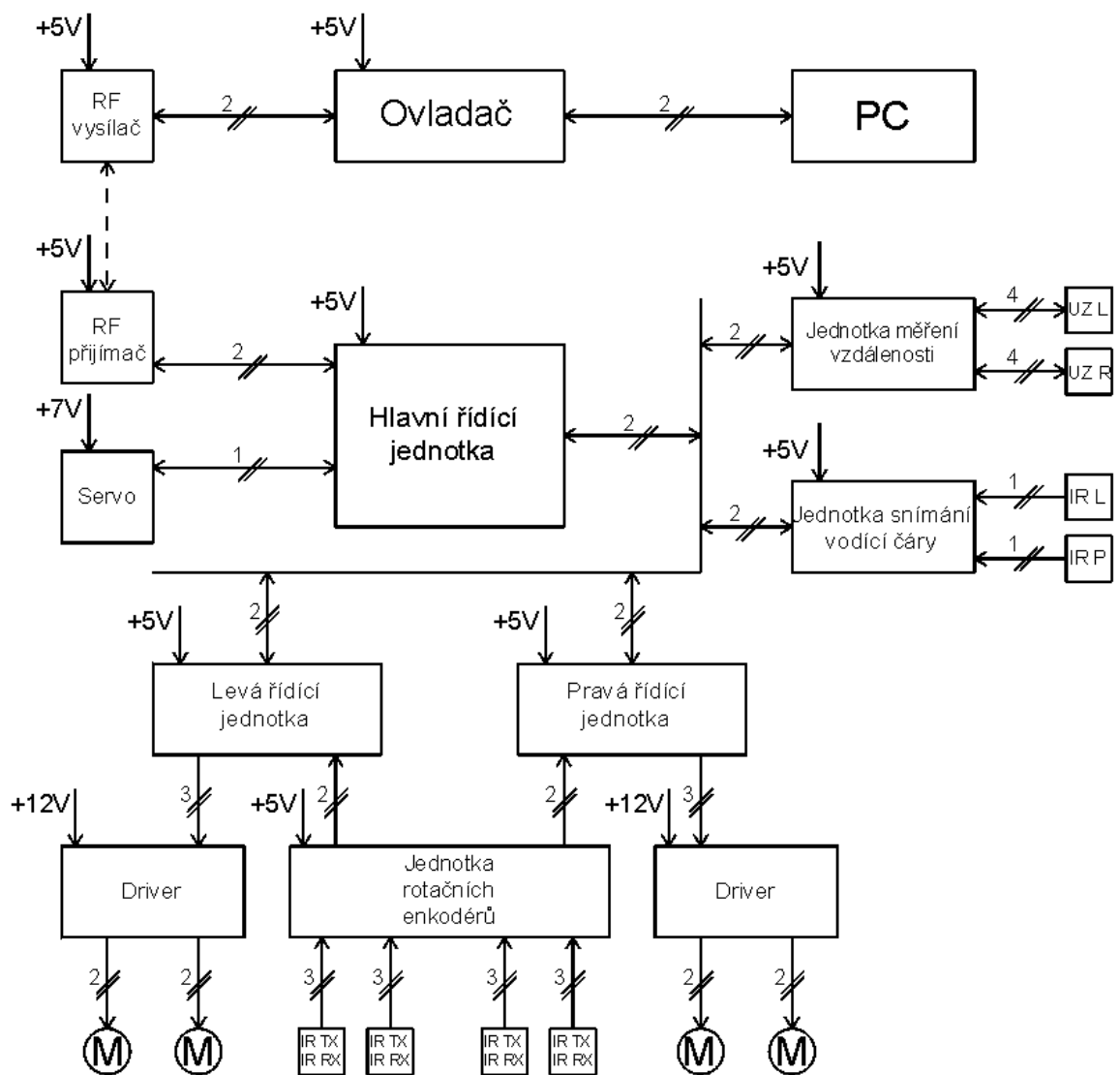
Senzory lze použít i pro vzdálenosti až 450cm, avšak v takovém případě už je nutno počítat spíše s přesností v řádech jednotek centimetrů, protože v reálných podmínkách je velice obtížné dosáhnout ideálního úhlu překážky vůči senzoru.

3 PRAKTICKÁ REALIZACE

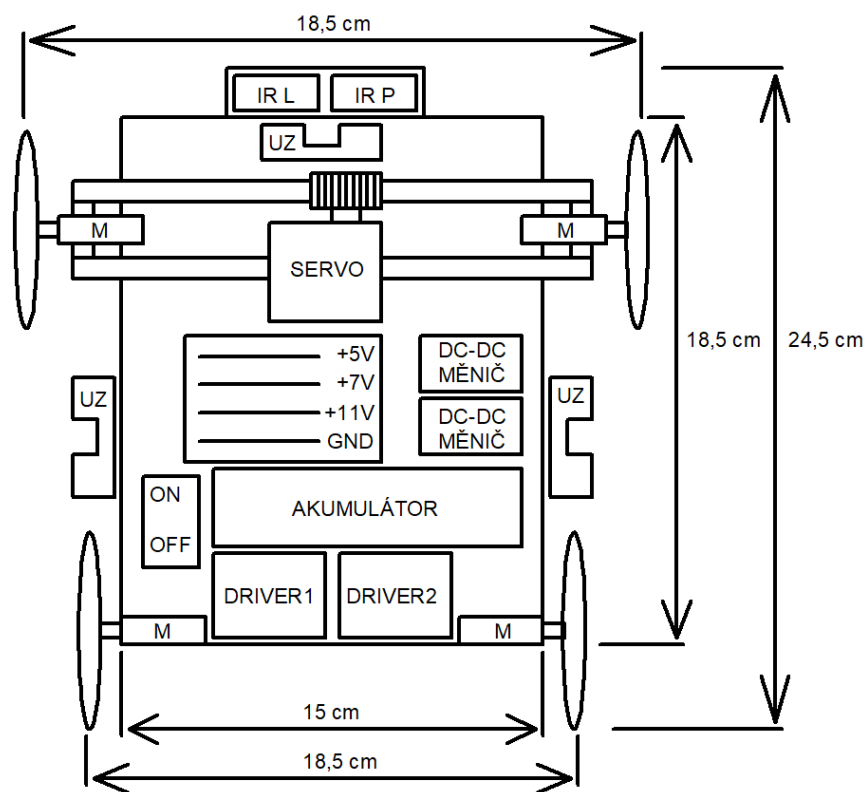
3.1 TOPOLOGIE ROBOTA

Pro realizaci autonomního robotického vozidla byla pro tuto práci zvolena stavebnice Merkur jakožto základní kostra, která obsahuje všechny potřebné periferie. Důvod volby stavebnice Merkur byla především její odolnost, za kterou vděčí především kovovému provedení. Dále je důležitým bodem její modulovatelnost a modifikovatelnost způsobená možností přichytávání jednotlivých částí k sobě pomocí šroubů a matic. Alternativou této stavebnice byla stavebnice LEGO, která však neposkytuje možnost pevného spojení jednotlivých částí pomocí šroubů v kombinaci s libovolným polohováním dílů vůči sobě ve smyslu svírání konkrétních úhlů.

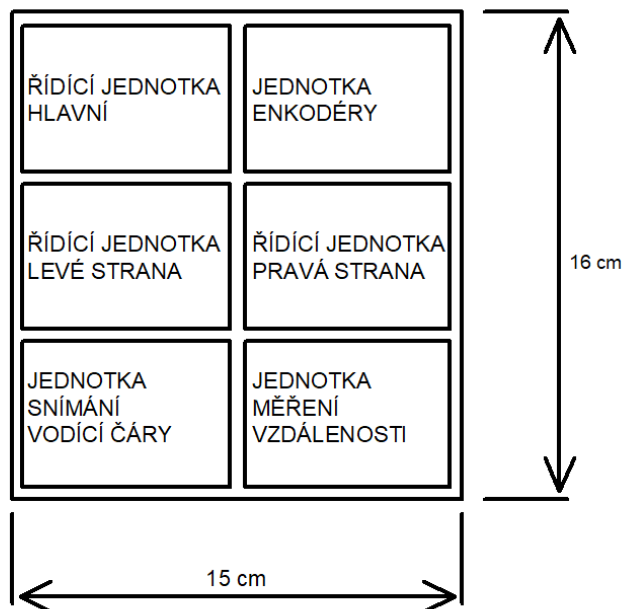
Pro tuto práci byla vyrobena celkem dvě robotická vozidla. První bylo realizováno podle následujícího blokového schématu. Výhodou tohoto vozidla byla jeho modularita ve formě několika řídicích jednotek, kde každá zpracovávala parciální úkony potřebné pro správnou funkci celého vozidla. V případě poruchy lze vyměnit samostatně jen vadnou řídicí jednotku a není nutné měnit celý systém. Tohoto přístupu se používá především v automobilovém průmyslu, avšak modulárního přístupu se využívá i v jiných odvětvích.



Obr. 3.1 – Blokové schéma prvního modelu vozidla



Obr. 3.2 – Spodní plošina prvního modelu vozidla



Obr. 3.3 – Horní plošina prvního modelu vozidla

Základní strukturu prvního vozidla tvoří spodní platforma, na kterou jsou dále umístěny a přichyceny veškeré zbylé periferie. Jednou z nejzákladnějších periferií je akumulátor Li-Pol o nominálním napětí 11,1 voltů a kapacitou 2200 mAh. Dále pak tato platforma obsahuje dva stejnosměrné měniče, kdy jeden transformuje vstupní napětí na hodnotu +5 V a druhý na hodnotu +7 V. Pak se zde nachází dva motorové budiče, tedy dvě desky, kde každá obsahuje dva H-můstky. H-můstky jsou používány pro řízení čtyř stejnosměrných elektromotorů, které se starají o pohyb vozidla vpřed či vzad a právě tyto motory jsou taktéž uchyceny na této platformě. Následuje servomotor umístěný na přední části vozu společně s nápravou umožňující plynulé zatáčení. Úplně vpředu je umístěna deska plošných spojů, která obsahuje dva infračervené snímače pro sledování vodící čáry. Poslední součástí spodní plošiny jsou čtyři kola, pomocí nichž se vozidlo pohybuje. Ke každému kolu je přimontován optický enkodér, celkem čtyři na celém autě.

Nad základní spodní platformou se nachází druhá platforma, která má za úkol nést všechny ostatní periferie. Mezi tyto periferie patří celkem 5 desek Arduino, přičemž každá obstarává úlohu, pro kterou byla určena. Jedná se o hierarchické uspořádání, které je dnes používáno ve všech automobilech. Toto uspořádání funguje na principu Master / Slave, kde je centrální řídicí jednotka, která komunikuje se zbytkem řídicích jednotek. Výhodou takového hierarchického uspořádání je fakt, že stačí více menších a méně výkonných procesorů, kde každý se stará o jeden či více parciálních úkolů, které jsou organizovány hlavním procesorem. V případě selhání jednoho systému tak stačí vyměnit pouze vadnou část struktury, nikoli celý systém jako takový. K řídicí jednotce je v tomto případě připojen FM přijímač a tato jednotka je připojena na sběrnici I2C, přes kterou jednotka komunikuje se Slave moduly. Druhá jednotka slouží pro obsluhu levé části vozidla, tedy po přijetí instrukcí od master jednotky se stará o řízení chodu levých kol a měření rychlosti jejich otáčení. Stejnou funkci plní i třetí jednotka, která má na starost pravou stranu vozidla. Čtvrtá jednotka má za úkol vyhodnocování signálu z desky pro sledování vodící čáry a pátá jednotka se stará o měření vzdálenosti před vozidlem pomocí ultrazvukových senzorů. Na vrchní platformě se také nachází deska plošných spojů, která obsahuje obslužné obvody potřebné pro správné vyhodnocování informací přicházejících z enkodérů.

Hlavní MCU			
1	Dálkové ovládání	18	LP
2	PP	19	LP
4	PP	27	SDA
5	PZ	28	SCL
6	PZ	A0	PARAM_KP
7	LZ	A1	PARAM_KI
8	LZ	A2	PARAM_KD
15	Servo (PWM)		

MCU levá strana	
2	KOLO_LP
3	KOLO_LZ
5	PWM_LP
6	PWM_LZ
27	SDA
28	SCL

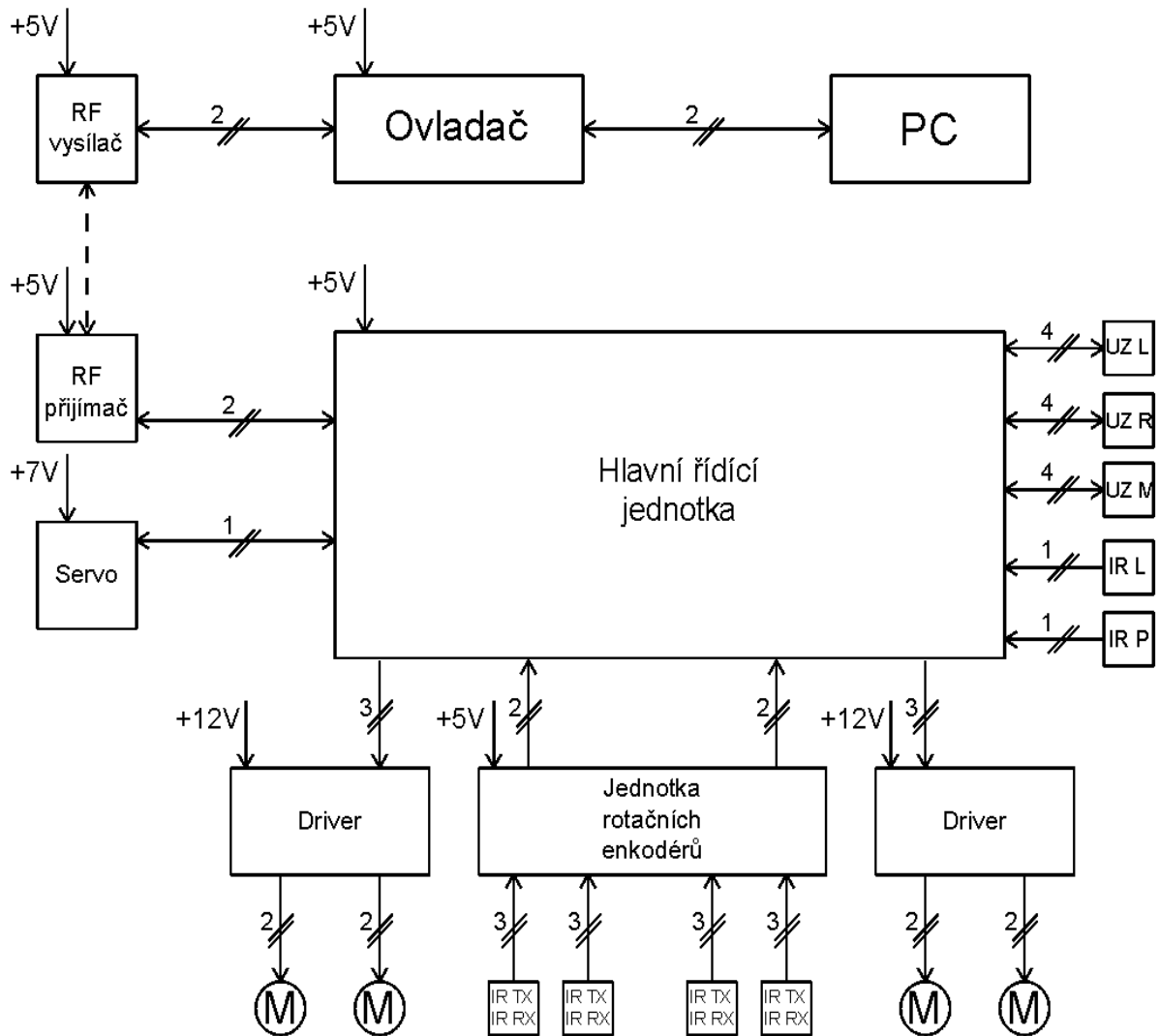
MCU pravá strana	
2	KOLO_PP
3	KOLO_PZ
5	PWM_PP
6	PWM_PZ
27	SDA
28	SCL

MCU měření	
1	Bluetooth
27	SDA
28	SCL
A0	ČÁRA_L
A1	ČÁRA_P

MCU UZ	
2	UZ_ECHO_L
3	UZ_TRIGGER_L
4	UZ_ECHO_P
5	UZ_TRIGGER_P
6	UZ_TRIGGER_M
7	UZ_ECHO_M
27	SDA
28	SCL

Obr. 3.4 – Tabulka zapojení vstupů a výstupů

Druhé robotické vozidlo používá pouze jednu výkonnější řídicí jednotku, která do sebe sdružuje všechny úkony potřebné pro správnou funkci vozidla. Největší výhodou toto řešení přináší tím, že není potřeba řešit komunikaci přes sběrnici a celý kód běžící na mikropočítači je mnohonásobně kratší. Dále se použitím pouze jedné řídicí jednotky ušetřila spousta místa. Díky tomu je celé vozidlo rozměrově mnohem menší.



Obr. 3.5 – Blokové schéma druhého modelu vozidla

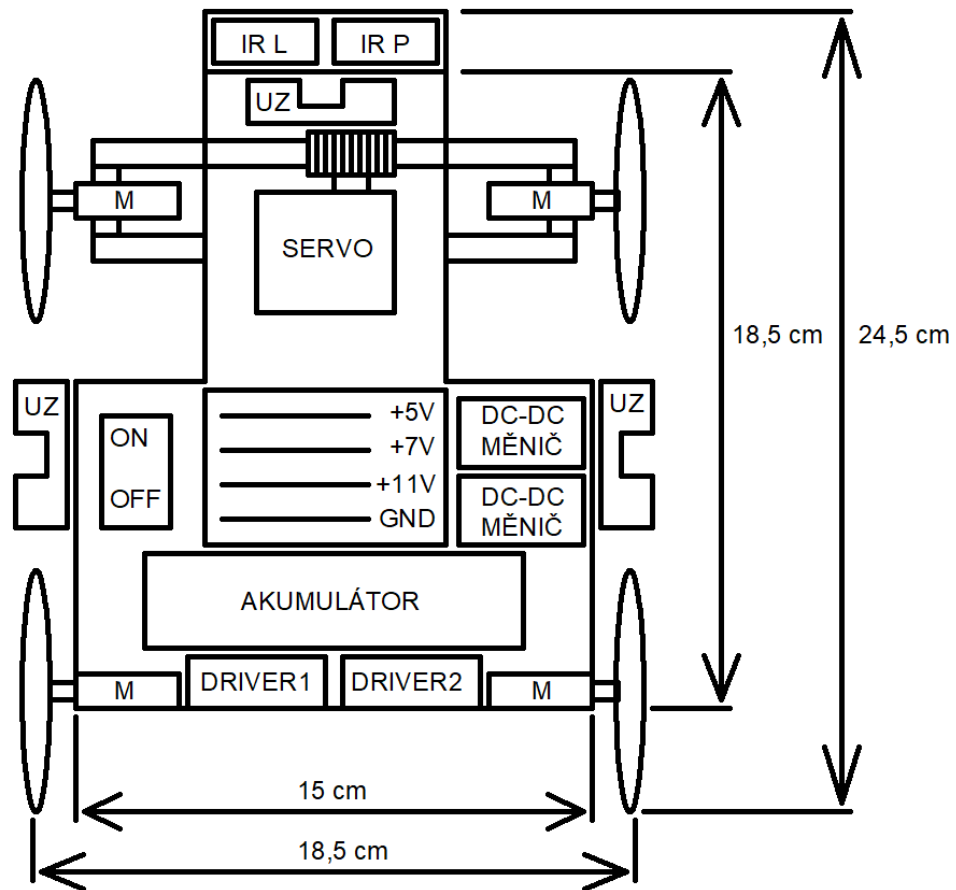
0		PE0	27	PP
1	DEBUG	PE1	28	PZ
2	PWM_LZ	PE4 OCR3B	29	PZ
3			30	
4			31	
5	PWM_LP	PE3 OCR3A	32	
6	PWM_PP	PH3 OCR4A	33	
7	PWM_PZ	PH4 OCR4B	34	
8			35	
9			36	
10	KOLO_LP	PB4 PCIN4	37	
11	Servo (PWM)	PB5	38	
12			39	
13			40	
14	Seriał 3	PJ1	41	
15		PJ0	42	UZ_TRIGER_FREE
16	Bluetooth	PH1	43	UZ_TRIGER_FREE
17		PH0	44	UZ_TRIGER_FREE
18	Dálkové ovládání	PD3	45	UZ_TRIGER_FREE
19		PD2	46	UZ_TRIGER_FREE
20	Bluetooth enable	PD1	47	UZ_TRIGER_M
21	Bluetooth state	PD0	48	UZ_TRIGGER_P
22	LP	PA0	49	UZ_TRIGGER_L
23	LP	PA1	50	KOLO_LZ
24	LZ	PA2	51	KOLO_PP
25	LZ	PA3	52	KOLO_PZ
26	PP	PA4		

Obr. 3.6 – Tabulky zapojení digitálních vstupů a výstupů

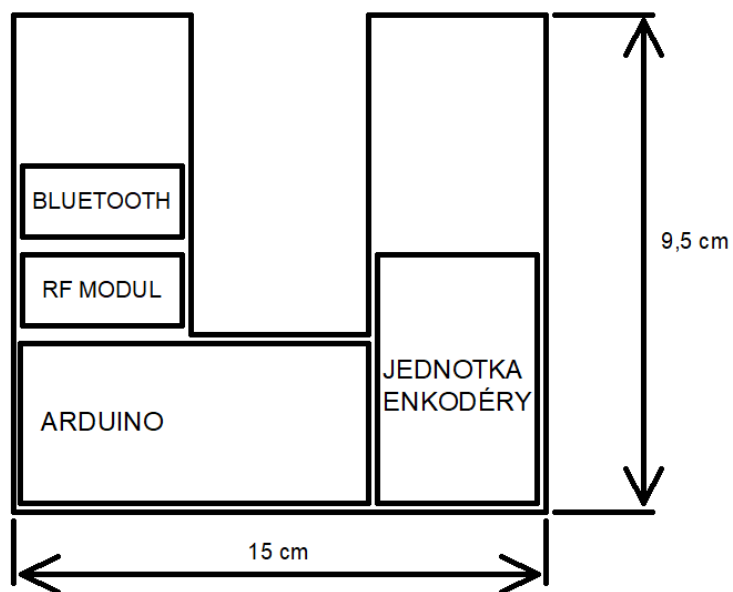
Seriál 0	Debug
Seriál 1	Dálkové ovládání
Seriál 2	Bluetooth
Seriál 3	

A0	ČÁRA_L	PF0
A1	ČÁRA_P	PF1
A2	ACC_CELL_1	PF2
A3	ACC_CELL_2	PF3
A4	ACC_CELL_3	PF4
A5	ACC_CURRENT	PF5
A6	ANALOG_FREE	PF6
A7	ANALOG_FREE	PF7
A8	UZ_ECHO_L	PK0 PCIN16
A9	UZ_ECHO_P	PK1 PCIN17
A10	UZ_ECHO_M	PK2 PCIN18
A11	UZ_ECHO_FREE	PK3 PCIN19
A12	UZ_ECHO_FREE	PK4 PCIN20
A13	UZ_ECHO_FREE	PK5 PCIN21
A14	UZ_ECHO_FREE	PK6 PCIN22
A15	UZ_ECHO_FREE	PK7 PCIN23

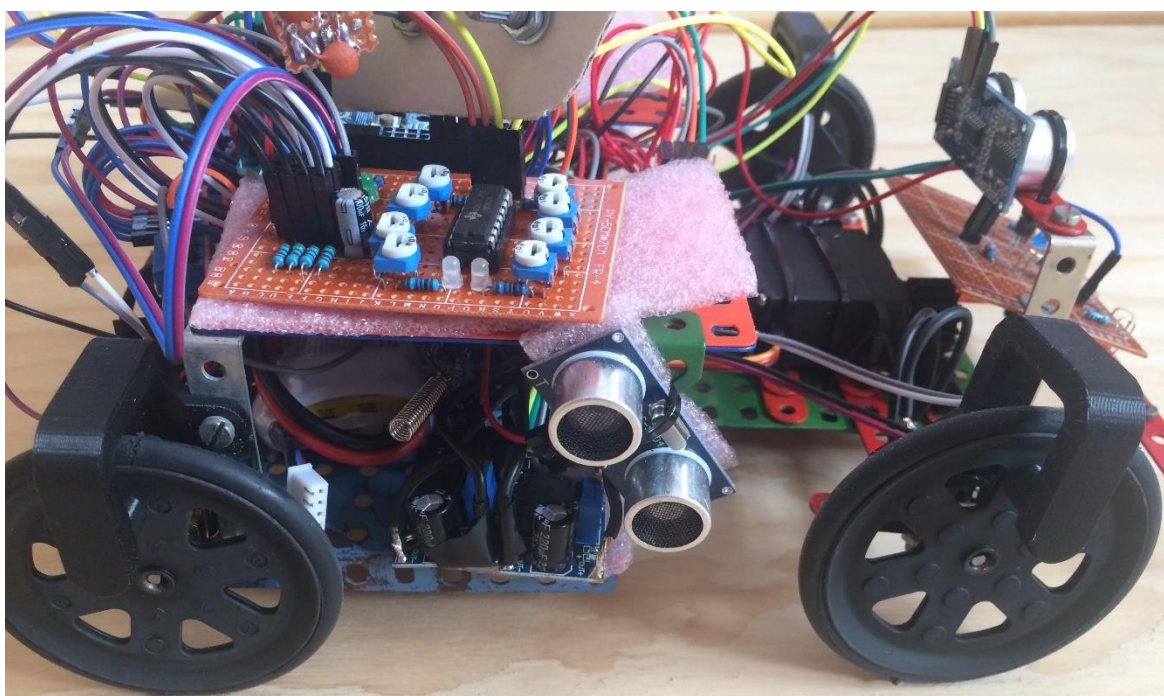
Obr. 3.7 – Tabulky zapojení komunikace a analogových vstupů a výstupů



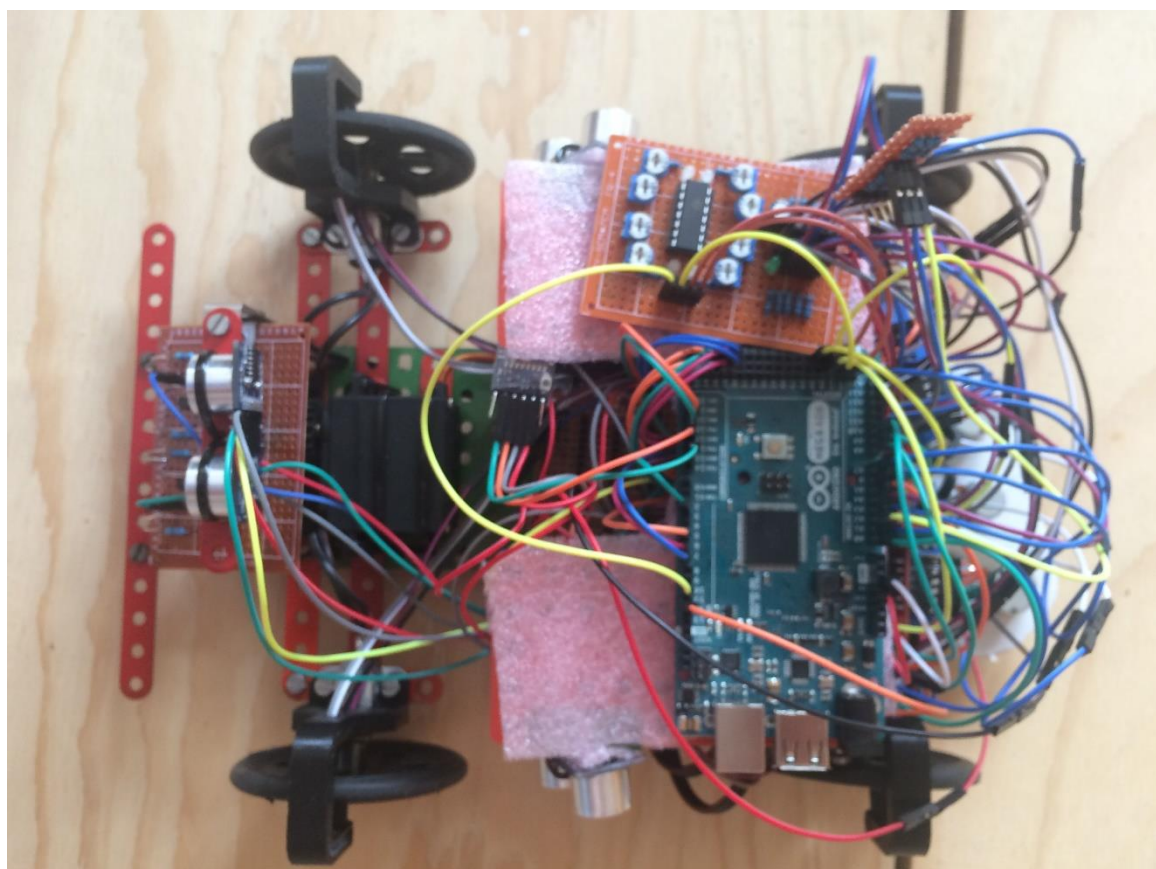
Obr. 3.8 – Spodní plošina druhého modelu vozidla



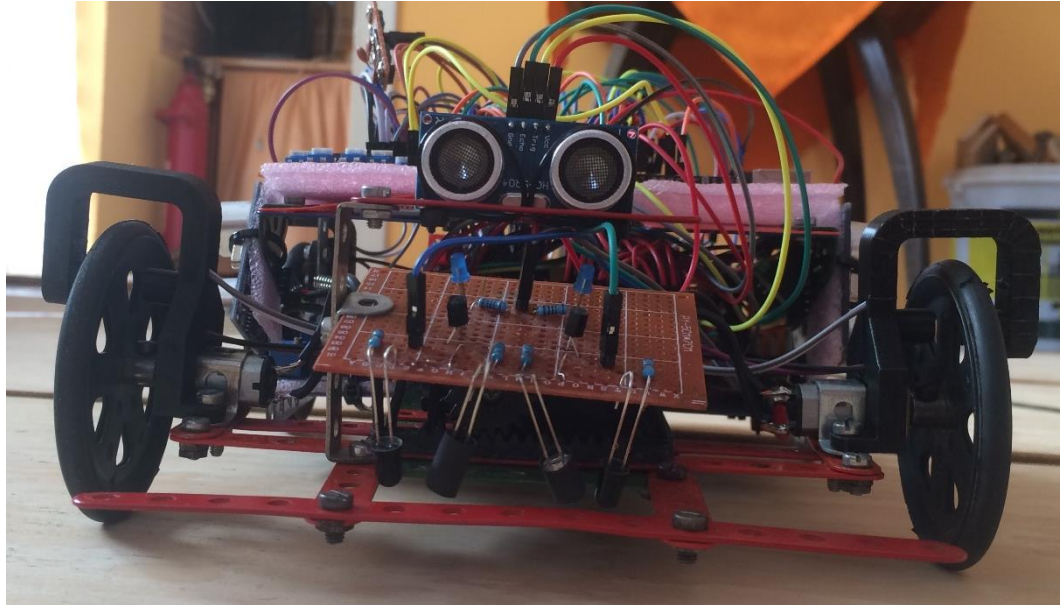
Obr. 3.9 – Horní plošina druhého modelu vozidla



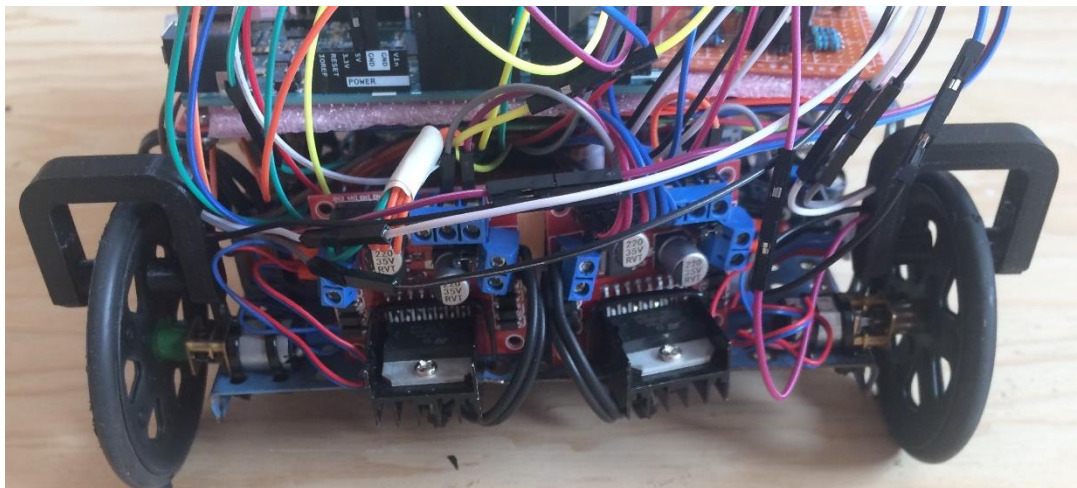
Obr. 3.10 – Pohled na vozidlo z boku



Obr. 3.11 – Pohled na vozidlo shora



Obr. 3.12 – Pohled na vozidlo zepředu

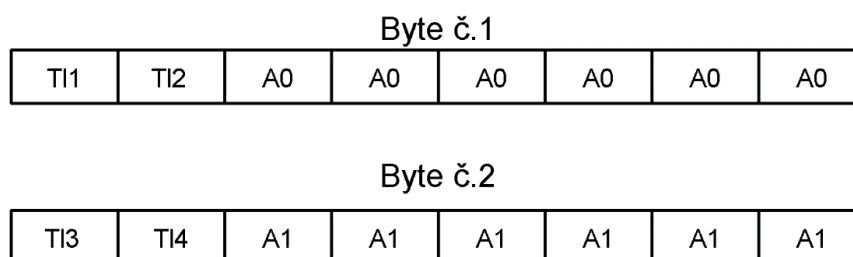


Obr. 3.13 – Pohled na vozidlo zezadu

3.2 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ ROBOTY

Dálkové ovládání obsahuje svou vlastní desku, konkrétně Arduino Nano. Tato deska má stejný výkon jako Arduino Uno. Jediný rozdíl těchto desek je v rozměrech. Pro účely vytvoření zařízení, kterým lze ovládat celé vozidlo, bylo zapotřebí, aby se toto zařízení vešlo do rukou uživatele. Z toho důvodu byla zvolena deska Arduino Nano. Celé dálkové ovládání se skládá z desky obsahující řídicí čip, dvou potenciometrů pro ovládání směru a rychlosti jízdy, dále pak ze čtyř tlačítek, FM vysílače, který odesílá řídicí data do vozidla, 9V baterie a stejnosměrného měniče.

Data, která jsou z dálkového ovládání odesílána, jsou minimalizována do dvou bajtů, čímž lze urychlit požadovanou reakci vozidla. Čím méně dat je odesíláno, tím kratší dobu trvá přenos a následné zpracování signálu. Stejně tak se i snižuje množství chyb, které mohou při přenosu potenciálně vzniknout. Do auta se odesílá informace o rychlosti, směru jízdy a stav čtyř tlačítek, které slouží pro volbu režimu. Informace o rychlosti má velikost 1 bajt a směr jízdy taktéž 1 bajt. Pro každé tlačítko pak stačí velikost 1 bit, celkem tedy 4 bity. Pro takový případ by to znamenalo, že budou odesílány 3 bajty, přičemž jen polovinu třetího bajtu tvoří užitečná informace. V rámci optimalizace datového přenosu tak byl zvolen kompromis ve formě redukce množství informace o rychlosti a směru jízdy. Místo 256 úrovní rychlosti a 256 úrovní směru jízdy se použila pouze informace ekvivalentní 6 bitům pro rychlost a 6 bitům pro směr. Díky tomu sice dochází na redukci rozlišení směru a rychlosti na 64 úrovní, ale bylo tak ušetřeno dvou bitů v obou prvních bajtech. To vytvořilo mezeru, do které bylo možné distribuovat čtyři bity nesoucí informaci o tlačítkách. Tím pádem se datový přenos, využívající 3 bajty nesoucí jen 83 % užitečné informace, zjednodušil o 1/3 na datový přenos o 2 bajtech, které obsahují 100 % užitečné informace a došlo tak jen k mírnému zmenšení rozlišení. Stávající zmenšené rozlišení je naprosto dostačující a zároveň se tak podařilo snížit množství informace a urychlit přenos.



Obr. 3.14 – Přenášená informace z dálkového ovládání

Příjem dat z dálkového ovládání se skládá ze dvou bajtů, které je potřeba správně rozkódovat, aby bylo možné je použít tak, jak bylo zamýšleno. Tohoto dekodování lze docílit tak, že první dva bity z obou bajtů jsou uloženy do proměnných sloužících pro držení hodnot jednotlivých tlačítek. Pro následné vyčtení informace o jízdě a směru lze použít bitový posun pro oříznutí nechtěných hodnot. Pomocí bitových posunů je však nutné udělat posun o dva kroky vlevo a poté o dva kroky vpravo, čímž vzniká složitější a méně přehledný kód. Jednodušší možností je vytvoření si tzv. filtrovací masky, která funguje na principu logického součinu konjunkce. V podstatě se jedná o logický součin dvou bajtů, přičemž první bajt je informace obdržená z FM přijímače a druhý bajt je filtrační maska, která kromě prvních dvou nejvyšších bitů obsahuje samé logické jedničky. Výsledek vzniklý po logickém součinu je třeba uložit do připravené proměnné. Informaci uloženou v této proměnné je možné dále zpracovávat podle potřeby, protože už se jedná čistě o informaci potřebnou pro ovládání jízdy či směru vozidla. Není zde tedy již přítomna informace o tlačítkách.

Vzhledem k prvotní optimalizaci dat odesílaných do vozidla je potřeba řešit informaci použitou pro řízení rychlosti a směru vozidla. Aktuální informace je šestibitová hodnota s 64 úrovněmi. V kódu tedy následně dojde k převodu této šestibitové hodnoty na hodnotu osmibitovou. Ačkoli rozlišení zůstává stejné, tedy stále pouze 64 hodnot, je zde nyní správný formát, který má správné maximum, tedy osm logických jedniček v bajtu a minimum, osm logických nul v bajtu. Tento formát je dále používán k řízení vozidla.

3.3 PROGRAMOVÁNÍ ARDUINO

Hlavní řídicí program prvního vozidla je realizován jako nekonečně se opakující smyčka, která se dotazuje na informace od podřazených Slave zařízení, popřípadě rozdává Slave zařízením rozkazy. Dále tato hlavní řídicí jednotka obsahuje FM přijímač, kterým přijímá informace o požadované akci od dálkového ovládání. Dalším úkolem této jednotky je provádění výpočtů potřebných pro chod celého systému. Těmito výpočty je myšleno dekodování obdržených informací od dálkového ovládání a následné aplikace těchto hodnot. Z daných hodnot lze vyčíst požadovanou rychlost či směr vozu, popřípadě požadovaný režim. Režim může být ruční, kdy dochází přímo k aplikaci informací o rychlosti a směru vozidla přímo na hardware vozu. Před toto aplikací jsou provedeny výpočty potřebné pro vhodné chování vozu, čímž je především softwarové omezení rychlosti vnitřního předního kola během zatáčení, což je obdoba mechanického diferenciálu běžně používaného ve skutečných vozidlech.

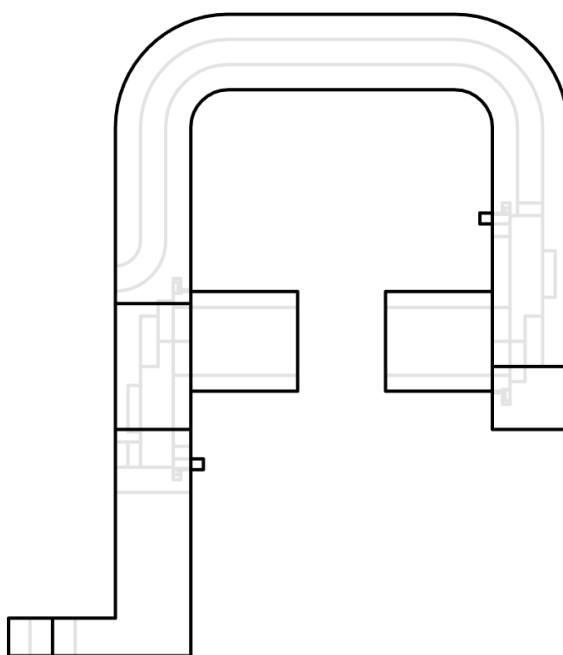
Diferenciál je důležitá součást vozů, protože při zatáčení by jinak docházelo k nežádoucímu smýkání, či prokluzování kol přední nápravy, což by mělo za následek horší zatáčení vozu, menší stabilitu na povrchu a nadměrné opotřebování souvisejících částí vozu, jako jsou pneumatiky a prvky přenášející výkon motoru na kola. Problematika spojená s užitím diferenciálu se týká faktu, že přední kola při zatáčení vozu opisují kružnice s odlišným poloměrem, což vyžaduje i odlišnou rychlost odvalování kol. Před a po aplikaci softwarového diferenciálu byl vidět velice znatelný rozdíl při zatáčení, kdy vozidlo mělo bez softwarového diferenciálu tendenci být přehnaně nedotáčivé a společně s tím mělo vnitřní přední kolo tendenci k silnému prokluzování. Po aplikaci softwarového diferenciálu se zlepšilo zatáčení vozu, což je dobře viditelné na mnohem menší kružnici, kterou vozidlo během zatáčení opisuje.

Při volbě automatického režimu je prováděna smyčka obsahující regulátor, který zajišťuje pohyb po vodící čáře. Dále je zde smyčka, která provádí výpočty regulátoru obstarávajícího adekvátní reakci vozu na blízkost překážky, která může být potenciálním nebezpečím. Vozidlo může být během pohybu po čáře donuceno až k úplnému zastavení v případě, že překážka blokuje cestu.

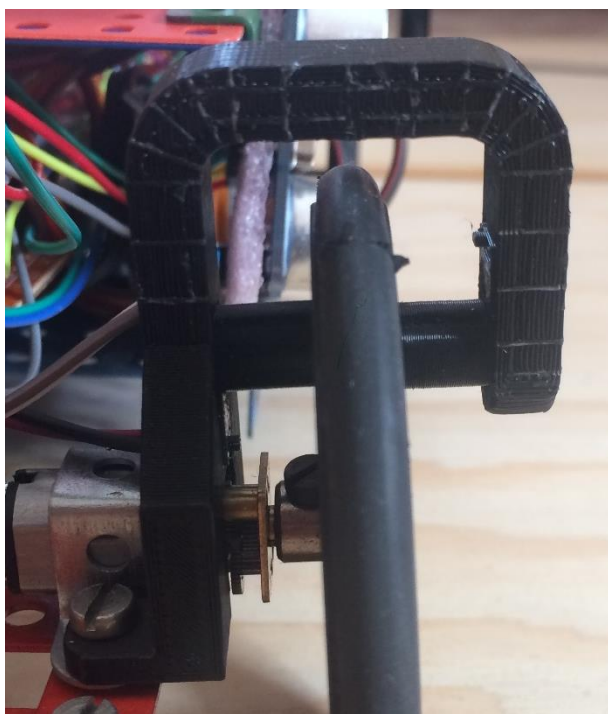
Další vykonávanou činností hlavní programové smyčky jsou cyklické rozkazy odesílané Slave zařízením a také dotazy na jednotlivá Slave zařízení, která poskytují důležitou zpětnou vazbu, kterou vozidlo potřebuje pro správný pohyb v prostoru. Tato komunikace probíhá po I2C sběrnici ve formě sériového přenosu.

V podstatě celý hlavní program je ve formě smyčky, ve které jsou za sebou umístěné funkce tak, aby docházelo ke smysluplnému vykonávání programu. Při startu zařízení nejprve dojde k nastavení potřebných parametrů pro komunikaci s okolním světem a dále už dochází pouze k pořadovému vykonávání funkcí pro příjem signálu, výpočet reakce vozu na požadavky dálkového ovládání, přenos těchto výpočtů na periferie a následné čtení z periferií pro získání zpětné vazby o prováděných akcích.

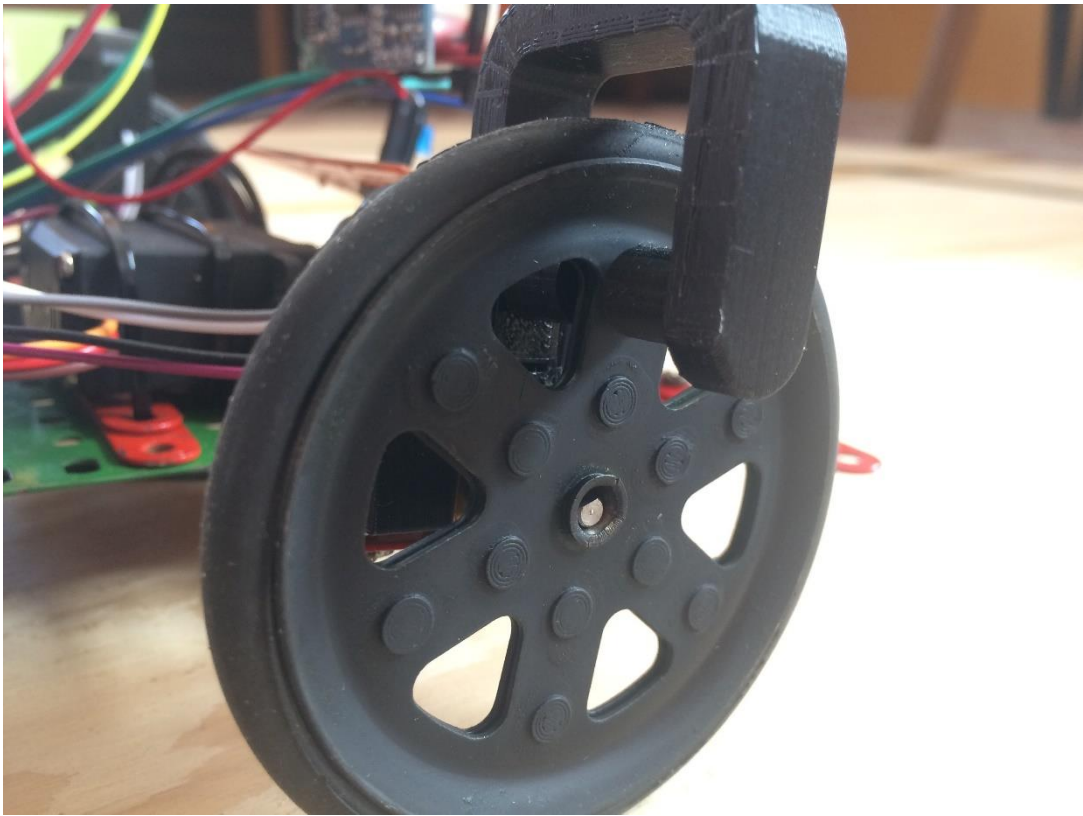
U druhého vozidla, které obsahuje pouze jednu řídicí jednotku funguje vše stejným způsobem, s tím rozdílem, že není potřeba dotazovat se Slave desek na aktuální hodnotu, protože periferie jsou připojeny přímo k řídicí jednotce na vstupy a výstupy.



Obr. 3.16 – Návrh držáku pro IR vysílač a přijímač enkodéru



Obr. 3.17 – Skutečné provedení držáku IR prvků enkodéru



Obr. 3.18 – Kolo robotického vozidla

Výstup napěťových komparátorů je zaveden na vstup řídicí jednotky. Program obstarávající měření rychlosti vozidla je naprogramován tak, aby každá náběžná hrana přicházející na vstup jednotky z enkodéru vyvolala přerušení běhu hlavního programu a vyvolala vykonání obslužné rutiny, která zaznamená příchod náběžné hrany spolu s časem, ve kterém náběžná hrana přišla. Při příchodu dalších náběžných hran pak dochází k výpočtu rychlosti vozidla. Výpočet poskytuje informaci o rychlosti vozidla ve formě metrů za sekundu.

Vzorec pro výpočet rychlosti

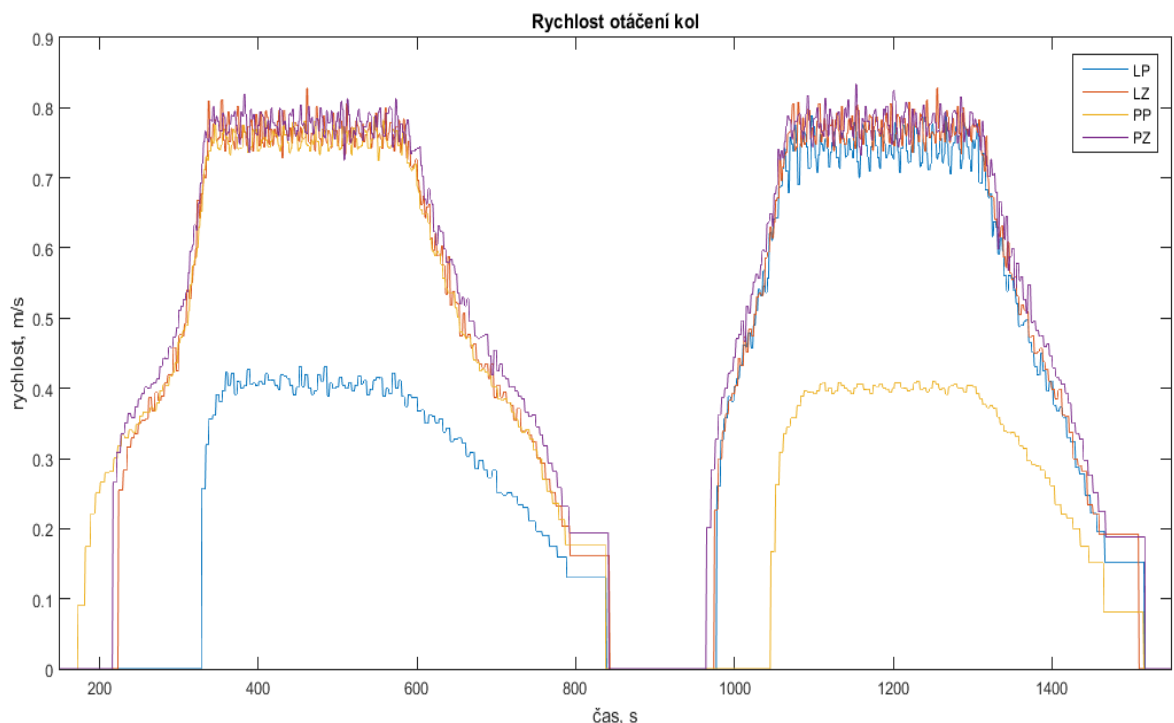
$$v = \frac{s}{\Delta t} \quad (3.1)$$

kde v je rychlost, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,

s je vzdálenost, m ,

Δt je časový úsek, s .

Data z enkodérů jsou zobrazena na obr. 3.19. Kromě signálu z jednotlivých kol si lze všimnout poklesu rychlosti vnitřního předního kola při zatáčení. O pokles rychlosti se stará zmiňovaný softwarový diferenciál.



Obr. 3.19 – Rychlost otáčení kol vozidla

3.5 ŘÍZENÍ MOTORŮ VOZIDLA

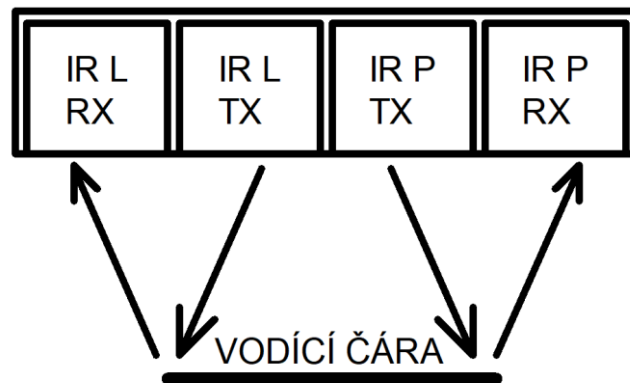
Ovládání jednotlivých motorů prvního vozidla mají na starost dvě řídicí jednotky. Obě řídicí jednotky jsou nastaveny jako Slave zařízení, které poslouchají rozkazy nadřazené řídicí jednotky Master a případně odpovídá na její dotazy. Jedna jednotka obstarává správnou funkci kol na levé straně a druhá jednotka obstarává správnou funkci kol na straně pravé.

Na základě výstupu regulátoru, popřípadě na základě požadavků ručního ovládání, obě jednotky upravují rychlost otáčení jednotlivých kol. Rychlost je upravována pomocí PWM signálu. Každé kolo je tak možné řídit nezávisle na ostatních kolech, čehož je využito například při brzdění vnitřního předního kola při zatáčení vozidla. Je zde tedy užito diferenciálu, který nebyl realizován mechanicky, ale softwarově. Jelikož vozidlo neobsahuje jednu pohonnou jednotku, která by přenášela kinetickou energii na všechna kola za pomoci jedné hřídele, ale obsahuje pro každé kolo samostatnou pohonnou jednotku, lze diferenciál realizovat tímto způsobem.

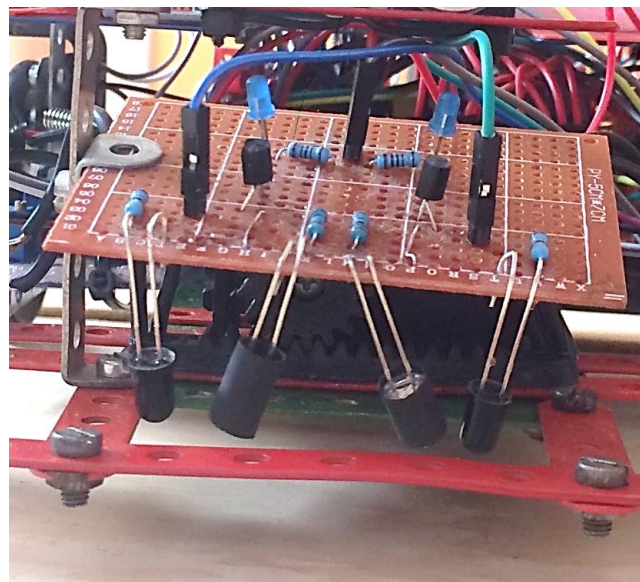
Obě jednotky však kromě řízení rychlosti kol také přijímají signál z enkodérů, přičemž na každém kole je jeden optický enkodér, tedy každá jednotka má informaci ze dvou enkodérů. Podle naprogramovaného vzorce pro přepočet sledu příchozích pulzů pak dochází k výpočtu rychlosti vozidla v metrech za sekundu. Tato hodnota je uložena do pole o dvou prvcích, každý prvek pro jedno kolo. V momentě, kdy se Master jednotka dotáže na skutečnou rychlost vozidla, jsou mu po sběrnici odeslána tato data uložená v poli.

U druhého modelu vozidla jsou výstupy z enkodérů připojeny přímo na vstupy hlavní a jediné řídicí jednotky. Tyto vstupy jsou naprogramovány tak, aby signál z enkodérů vyvolal přerušení hlavní programové smyčky a spustil obslužnou rutinu potřebnou pro výpočet rychlosti. Funkce se tedy neliší od prvního modelu vozidla. Opět je zde zjednodušené řešení, které nevysílá dotazy a příkazy do Slave desek, protože zde žádné nejsou.

jsou výstupy senzorů připojeny přímo na analogové vstupy řídicí jednotky společně s ultrazvukovými senzory. K vyčítání analogových hodnot dochází v pravidelném cyklu, který je prováděn každých 20 ms. Analogové hodnoty jsou vyčteny všechny současně, díky čemuž je ušetřen výpočetní čas jednotky, která nemusí hodnoty analogových vstupů vyčítat postupně, ale čtení probíhá v jeden moment na celém analogovém portu. V rámci této jednotky pak dochází k propočítávání adekvátní reakce regulátoru na vzniklou regulační odchylku.



Obr. 3.21 – Snímač vodící čáry



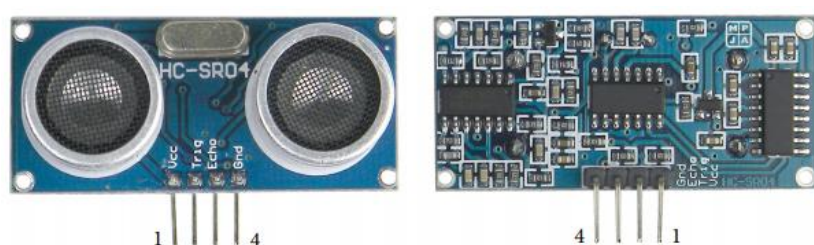
Obr. 3.22 – Snímač vodící čáry na robotickém vozidle

3.7 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI – ULTRAZVUKOVÉ SENZORY

K měření vzdálenosti pomocí ultrazvukového senzoru bylo použito snímače, který je běžně k dostání ve většině obchodů zaměřených na elektrotechniku. Konkrétně se jednalo o typ HC-SR04. Jedná se o relativně jednoduché zařízení, které obsahuje vysílač a přijímač ultrazvukových vln. U tohoto obvodu lze použít tzv. jednopinové nebo dvoupinové zapojení. V obou případech dojde k vygenerování zvukového signálu a čekání do doby, než se zvuková vlna odrazí od překážky a vrátí se zpět, kde ji zachytí přijímač ultrazvukových vln.

Vzhledem k tomu, že v této práci ultrazvukový senzor plní funkci bezpečnostní, není zde potřeba vysoké přesnosti na milimetry. V dané aplikaci si lze bohatě vystačit s přesností na centimetry, avšak je zde potřeba, aby změřená hodnota byla co nejspolehlivější.

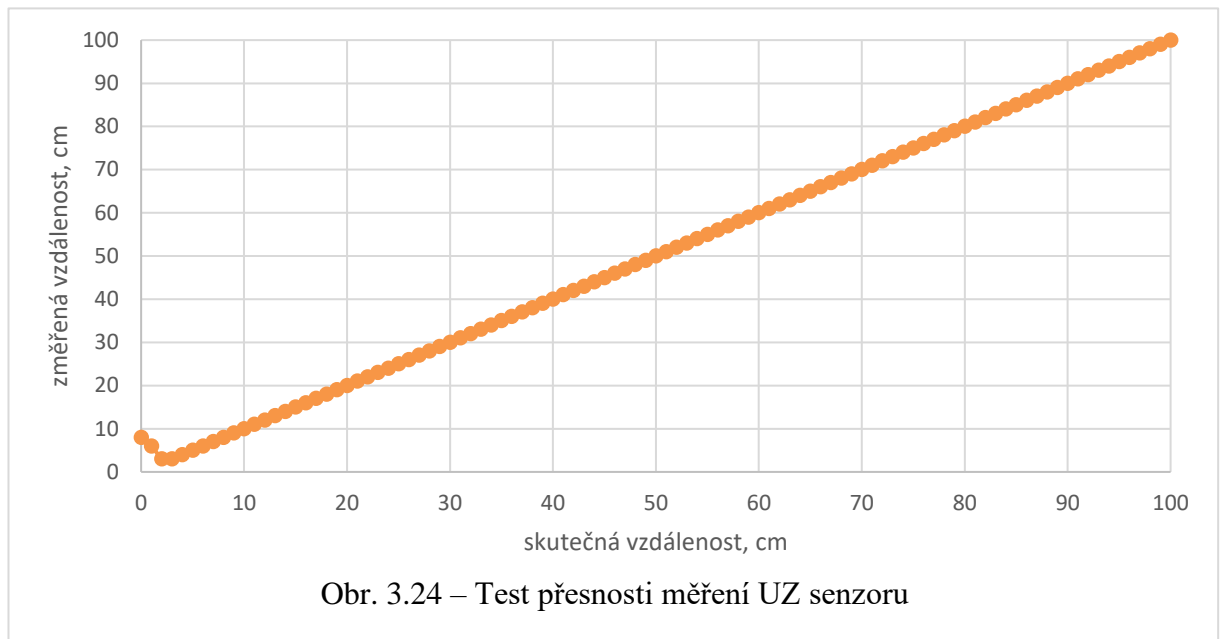
Pro změření vlastností ultrazvukového senzoru a zjištění, zda senzor měří tak, jak se očekává, byl napsán krátký program, který změřené hodnoty odesílá přes sériovou komunikaci do PC. Tyto hodnoty se pak vypisují do konzole. K měření bylo užito rýsovací pravítka, Arduino Uno a senzor HC-SR04. Měřicí postup byl takový, že došlo k ustavení ultrazvukového senzoru do roviny a pod tímto senzorem bylo umístěno zmiňované pravítko. Překážku zde suploval bílý matný papír o velikosti A4, který zabírá dostatečně velkou plochu na to, aby nedocházelo k odrazům zvukových vln od vzdálenějších či vedlejších předmětů.



Obr. 3.23 – Použitý ultrazvukový dálkoměr HC-SR04

Měření začínalo z nulové vzdálenosti, tedy přesně na dotek se senzorem. Jelikož byl program sepsán tak, aby se měřilo s přesností na centimetry, docházelo k posuvu překážky pro každé měření vždy o jeden centimetr. Rozlišení senzoru na 1 cm je dostačující, protože tato informace poskytne potřebné údaje o vzdálenosti a zároveň je tato varianta dostatečně přesná i v momentě kdy není možné zajistit ideální teplotu a vlhkost okolí. Popřípadě lze přidat k řídicí jednotce senzor vlhkosti a teplotní čidlo, avšak tím se dané zařízení stává složitějším a tím pádem klesá i jeho spolehlivost, protože s více přístroji roste pravděpodobnost poruchy na zařízení jako celku v momentě, kdy selže pouze jeden prvek. Tyto případy se dají také řešit a

to zvyšováním počtu měřících členů, ale pro tyto případy dále narůstá cena zařízení. Složitost a spolehlivost tohoto zařízení tedy závisí na druhu aplikace.

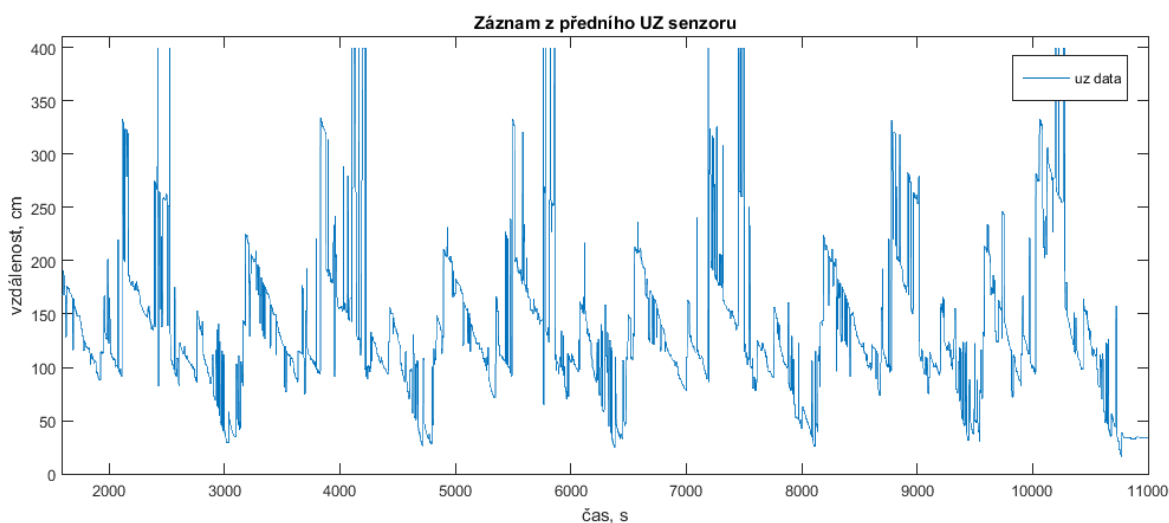


Obr. 3.24 – Test přesnosti měření UZ senzoru

Jak lze vidět na obr. 3.24, změřená vzdálenost po vypočtení přesně odpovídá skutečné vzdálenosti. Díky rozlišení na centimetry se zde v podstatě eliminuje vliv lidského faktoru při provádění měření, protože překážka je umisťována na pravítko po centimetrech, pokud možno kolmo k senzoru a ke stolu na němž se měření provádí. Při okamžitém odečítání hodnot je v konzoli vidět, že změřená hodnota vzdálenosti je stabilní a kolísá jen málo díky menšímu rozlišení na centimetry.

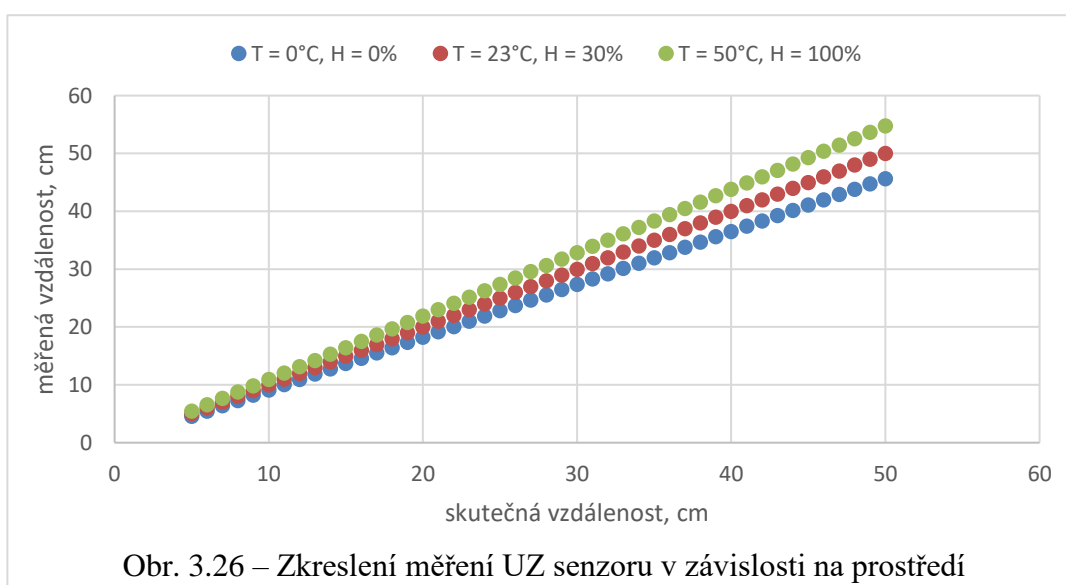
Vzhledem k tomu, že měření bylo prováděno za pokojových podmínek, tedy přibližně při teplotě 23 °C a 30% vlhkosti ovzduší, předpokládá se, že se v takovém prostředí bude zvuk šířit rychlostí 345,71 m·s⁻¹. Tuto rychlost šíření zvuku potvrzuje graf se záznamem měření. Na grafu je patrné, že měřená vzdálenost je shodná se vzdáleností skutečnou.

Hodnoty z reálného provozu vozidla lze vidět na obr. 3.25, který zaznamenává hodnoty naměřené během autonomní jízdy po čáře. Z těchto hodnot je patrné, že vozidlo jezdilo po dráze, v jejímž okolí se nacházely překážky, které ultrazvukový senzor zaznamenal. V tomto případě se jedná o překážky ve formě nábytku stojícího mimo jízdní dráhu. Z grafu lze vyčíst, že vozidlo danou dráhu projíždělo opakovaně, protože jsou na záznamu k vidění opakující se sekvence.



Obr. 3.25 – Měření ultrazvukového senzoru v průběhu jízdy po čáře

Jak nepříznivým způsobem okolní podmínky prostředí ovlivňují měření a mohou do systému zanést chybu, je patrné na obr. 3.26. Tato chyba v konečném důsledku může způsobit až selhání celého zařízení. Při zvyšující se teplotě a vlhkosti prostředí roste rychlost šíření zvukových vln prostorem. V takovém případě obdrží senzor zvukový signál rychleji, než by tomu bylo za podmínek, pro které je zařízení určeno. To by způsobilo špatnou interpretaci změřené vzdálenosti, která by se jevila kratší, než ve skutečnosti je. V opačném případě by se mohlo stát, že zařízení počítá s větší prostorovou rezervou, než která se ve skutečnosti mezi zařízením a překážkou nachází. V nejhorším případě by mohlo dojít ke škodám na zdraví, či majetku.

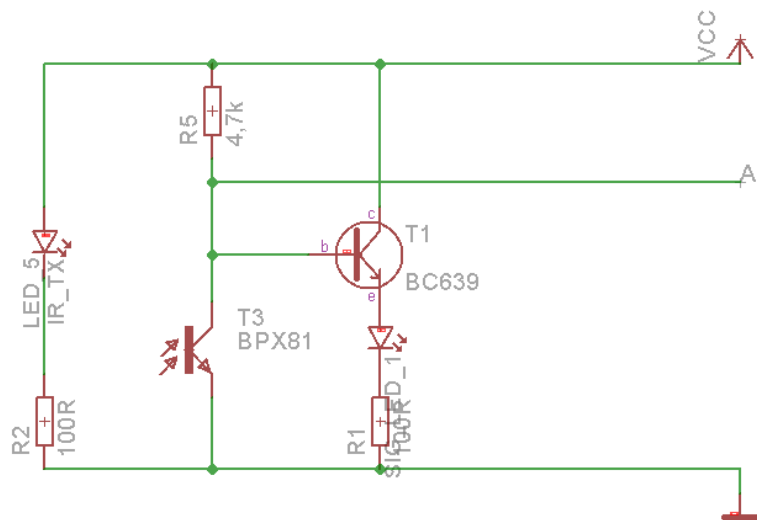


Obr. 3.26 – Zkreslení měření UZ senzoru v závislosti na prostředí

Pro účely měření byl použit pouze jeden tento ultrazvukový senzor. Pro realizaci autonomního vozidla však bylo užito tří těchto senzorů z důvodu pokrytí větší plochy v okolí vozidla. U obou senzorů bylo užito dvoupinové zapojení. Přes jeden pin dojde k vygenerování zvukového signálu a přes druhý pin pak řídicí jednotka obdrží informaci o přijetí zvukových vln po odrazu od překážky. Proces měření prostoru v okolí vozidla probíhá v podstatě neustále bez přerušení. Program měření je malá smyčka, ve které dochází ke generování zvukové vlny, čekání po dobu než se signál odrazí od překážky a v momentě obdržení signálu dojde k uložení změřené hodnoty. Na základě této hodnoty, která je ve formě milisekund, dojde k přepočtu na centimetry. Toto se opakuje stále dokola.

3.8 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI – INFRAČERVENÉ SENZORY

Pro měření vzdálenosti byl sestrojen obvod, který obsahoval infračervený vysílač a infračervený přijímač, v kombinaci s tranzistory a LED diodami. Tranzistor v tomto obvodu slouží jako zesilovač měřeného signálu, který je řídicím signálem pro otevření tranzistoru a následného rozsvícení LED diody. Důvodem pro použití LED diod jako indikátoru množství vracejícího se světla bylo, aby i v případech, kdy není připojen multimetr, či jiné zařízení schopné měřit napětí, bylo možné vizuálně vyčíst, že je či není přítomno infračervené záření. K měření vzdálenosti sloužil stejný obvod, který byl sestrojen pro snímání vodící čáry.



Obr. 3.27 – Elektrické schéma infračerveného senzoru vzdálenosti

Prováděná měření se odehrála v obyčejné místnosti, kde bylo možné měřit pomocí zapnutého zářivkového osvětlení, dále pak se zapnutou stolní lampou a také bylo možné provést měření za tmy, jelikož okna v místnosti měla k dispozici žaluzie. Celkem se tedy prováděla tři měření. V prvním měření svítilo pouze zářivkové světlo. Při tomto měření se žádným způsobem nemanipulovalo se světelným zdrojem, tudíž nebylo měřeno za extrémních případů jako nastavení zářivky přímo proti senzoru a ozkoušení, zda dojde ke změně měřených hodnot v závislosti na přímém osvětlení. Osvětlení zůstávalo celou dobu konstantní a zářivkové světlo bylo umístěno na stropě ve výšce cca 2,50m.

Při druhém měření byla rozsvícena stolní lampa, která byla umístěna tak, aby během měření oslňovala IR senzor a měření tak pokud možno co nejvíce zkreslila. Opět se během průběhu měření se světelným zdrojem nijak nemanipulovalo, a tudíž oslnění IR senzoru bylo celou dobu konstantní, co se týče okolních zdrojů světla, kterým byla právě stolní lampa.

Poslední měření bylo prováděno za nejvyšší aktuálně dosažitelné tmy, tedy při zatažených žaluziích během zimního dne okolo 8:00 ráno, kdy bylo venku zataženo. Při tomto měření byla v místnosti téměř úplná tma. Měření kvůli tmě probíhalo tím způsobem, že se za světla nastavila vzdálenost měřeného objektu, zhaslo se a došlo k odečtu z multimetru a zapsání naměřené hodnoty.

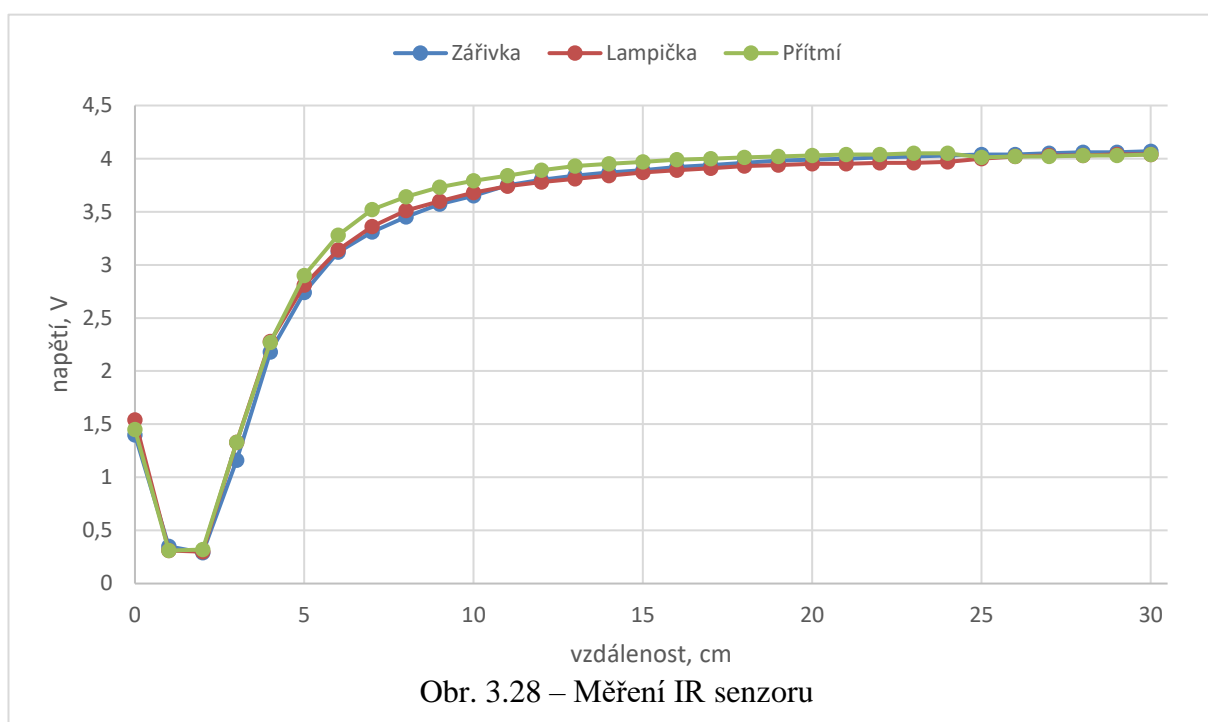
Všechna tři měření probíhala s nastaveným IR snímačem do horizontální polohy a tento snímač byl umístěn na nulovou hodnotu pravítka. Na pravítku byl umístěn předmět, který byl odsouván směrem od snímače po vzdálenosti 1 cm. Na začátku měření byl objekt umístěn na dotek se senzorem, tedy do vzdálenosti 0 cm. Měření probíhalo až do vzdálenosti 30 cm, kdy už rozdíl napětí mezi ± 1 cm vzdáleností byl tak malý, že nelze bezpečně určit vzdálenost.

Z výsledků měření je patrné, že daný senzor není nijak výrazně ovlivňován okolním osvětlením. Napěťový rozdíl mezi měřeními při různých zdrojích světla, viditelný na obr 3.28, lze spíše připsat za vinu lidskému faktoru a nedokonalosti měření. Nedokonalostí měření je myšlen odečet hodnot z multimetru. Multimetr má omezené rozlišení a data jsou tak zkreslena kvantifikací převodníku. Dalším faktorem je zmiňovaný lidský faktor. Při posouvání předmětu směrem od senzoru mohlo dojít k umístění předmětu do špatné vzdálenosti v rozmezí ± 2 mm. Dále také není vyloučeno umístění předmětu od senzoru pod určitým úhlem, který by měření také zkreslil. Nelze vyloučit ani méně vhodné geometrické uspořádání IR vysílače a IR přijímače, které vůči sobě zaujímají pozici pod určitým úhlem a měření je tak od základu odkázáno především na měření bližších vzdáleností. Pro měření větších vzdáleností je lepší použít rozmístění vysílače a přijímače takové, aby vůči sobě zaujímaly vodorovnou polohu. Umístěním do vodorovné polohy by se měřená vzdálenost mohla mírně zvětšit, avšak ne nijak

drasticky. A posledním parametrem, který ovlivňuje výsledek měření je povrch, na který dopadá infračervené záření z emitoru. Z povrchů různých barev a vlastností jako mat, či lesk, se vrací rozdílná množství infrazáření zpět. Pro toto měření bylo použito bílého matného papíru.

Vzhledem k výše zmíněným faktům usuzuji, že rozdíl mezi jednotlivými měřeními byl způsoben kombinací zmíněných faktorů a jen minimálně ovlivněn světelnými zdroji.

Z měření je také patrné, že nejkratší měřitelnou vzdáleností jsou 2 cm. Pro vzdálenosti kratší než 2 cm, dojde k chybě měření způsobené špatnými odrazy infrazáření od měřeného objektu. Dále je vidět, že senzor má nejlepší rozlišení pro vzdálenosti od 2 cm do 7 cm, kdy malá změna vzdálenosti způsobí velkou změnu napětí. Měření lze považovat za relativně bezpečné do vzdálenosti cca 20 cm. Pro vyšší hodnoty je změna napětí na 1cm vzdálenosti přibližně 0,01V a menší a v kombinaci s možným svíráním špatného úhlu snímače vůči měřenému objektu a jeho neznámé barvě už nelze považovat měření za spolehlivé.



Obr. 3.28 – Měření IR senzoru

Z naměřených hodnot je patrné, že lze IR senzor použít pro měření vzdálenosti. Vždy je potřeba v závislosti na aplikaci zvolit správný typ senzoru, protože při špatné volbě by mohlo docházet ke špatnému měření a tím pádem k horším výsledkům dané aplikace. V případě užití těchto senzorů v průmyslu pro monitoring vzdálenosti od robota by mohlo v nejhorším případě dojít i ke škodě na zdraví, či majetku, což je nežádoucí jev.

Pro případy užití jako dálkoměr na robotickém vozítku je tento senzor vhodný pro svou jednoduchost, spolehlivost a schopnost rychlého měření. Pro užití v komerční sféře by bylo nutné senzor vylepšit o ochranu proti přepólování napájecího napětí a přidat ochranu proti výkyvům napájecího napětí, aby senzor dokázal spolehlivě měřit i v případě kolísání napájecího napětí. Míra těchto opatření by byla opět závislá na místě užití, protože pro senzory, které naleznou užití v průmyslu, je potřeba mnohem větší robustnosti celého zařízení, což se projeví na jeho ceně. V případě užití tohoto senzoru v dětské hračce, kde se neuvažuje, že by selhání senzorů způsobilo jakékoli škody na majetku a zdraví osob, je možné tento senzor vytvořit z levnějších součástek, které svou spolehlivostí a životností nedosahují kvalit potřebných v průmyslu.

Jelikož tyto senzory trpí na vlastnosti povrchu, barvu a úhel nastavení měřeného předmětu, doporučuje se užití těchto senzorů v kombinaci s dalšími, třeba právě zmiňovanými ultrazvukovými, které mají také svá negativa, avšak jejich kombinací vzniká relativně dost spolehlivý celek, který pro levnější aplikace najde využití.

3.9 ŘÍDICÍ JEDNOTKA

V hlavní řídicí jednotce dochází k řízení celého chodu vozidla. Nejen že má tato jednotka na starost příjem signálu z dálkového ovládání a jeho následné zpracování, ale zároveň tato jednotka rozdává příkazy všem Slave zařízením nacházejícím se na I2C sběrnici. Zároveň se tato jednotka aktivně dotazuje všech Slave jednotek na potřebné informace pro správný chod vozidla. Mimo komunikační úkony jsou v ní také naprogramovány funkce, které zajišťují správné propočty pro právě zvolený režim. V případě autonomního režimu jsou to propočty spojené s regulátory, které zajišťují správné sledování vodící čáry a zajišťující chod antikolizního systému. V případě ručního režimu jsou zde zpracovávány informace o rychlosti a směru vozidla přicházející z dálkového ovládání. Tato řídicí jednotka je dále zodpovědná za komunikaci a výměnu informací mezi vozidlem a PC.

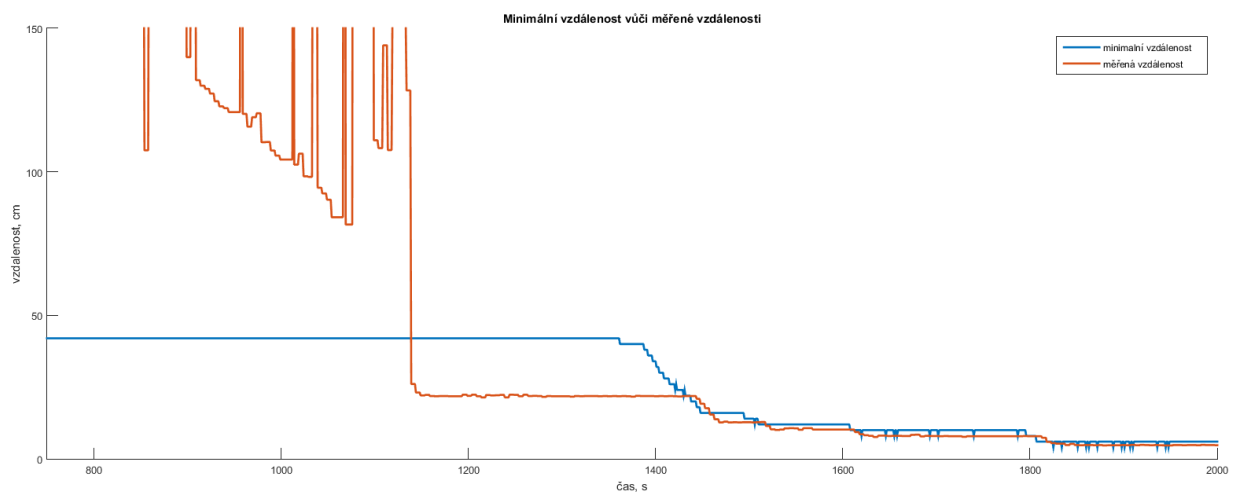
V obou režimech, ať autonomním, či manuálním, je zahrnut softwarový diferenciál, který usnadňuje zatáčení vozidla ve formě úpravy rychlosti otáčení jednotlivých kol. Dále je zde možnost po stisku tlačítka na dálkovém ovládání softwarově odstavit elektromotory a vozidlo se nehýbe, dokud není opět tímto tlačítkem odbrzděno.

Při spuštění autonomního režimu je možnost zapnout samostatně pouze režim sledování vodící čáry, popřípadě lze zapnout či vypnout antikolizní režim zajišťující dodržování bezpečné vzdálenosti od překážky. U vozidla s pouze jednou řídicí jednotkou je funkce naprosto stejná

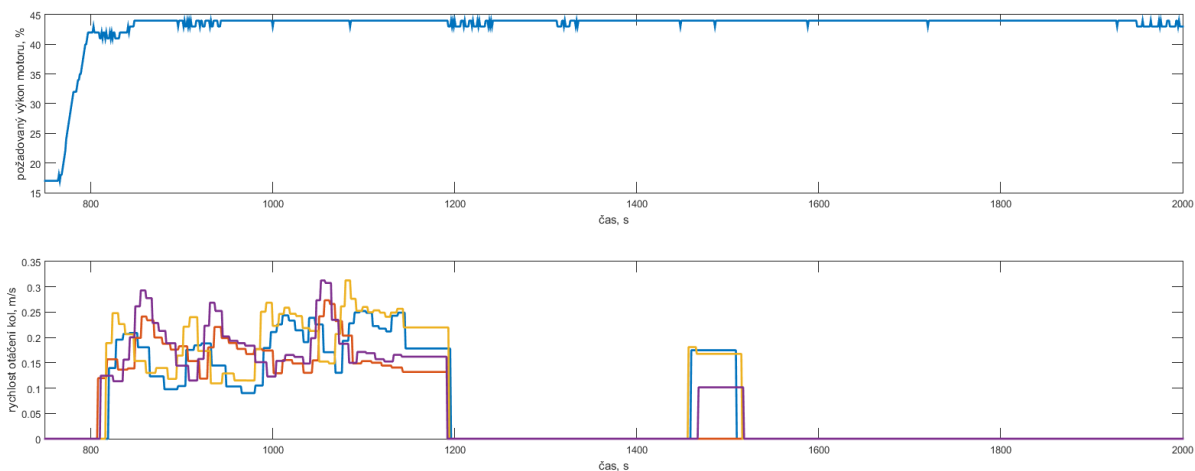
pouze s tím rozdílem, že není třeba vyčítat ze Slave zařízení, protože všechny periferie jsou připojeny přímo na vstupech a výstupech řídicí jednotky.

Pro správný provoz vozidla bez nežádoucích jevů jako náraz do majetku, či osob, je naprogramován asistent, který se stará o bezkolizní provoz. Tedy antikolizní asistent. Jeho funkce je zejména bezpečnostní. Pokud totiž uživatel v ručním režimu, popřípadě vozidlo v autonomním režimu přehlédne překážku, dojde k zásahu antikolizního asistenta, který v závislosti na nastavených podmínkách odstaví motory vozidla a zabrání střetu s překážkou.

Nastavenými podmínkami je myšlena především bezpečná vzdálenost od překážky. Je tedy nastavena limitní vzdálenost od překážky, které když dosáhne měření z ultrazvukových senzorů, dojde k zastavení vozidla. Záznam z takové situace je vidět na obr. 3.29.



Obr. 3.29 – Měření ultrazvukového senzoru v průběhu jízdy po čáře



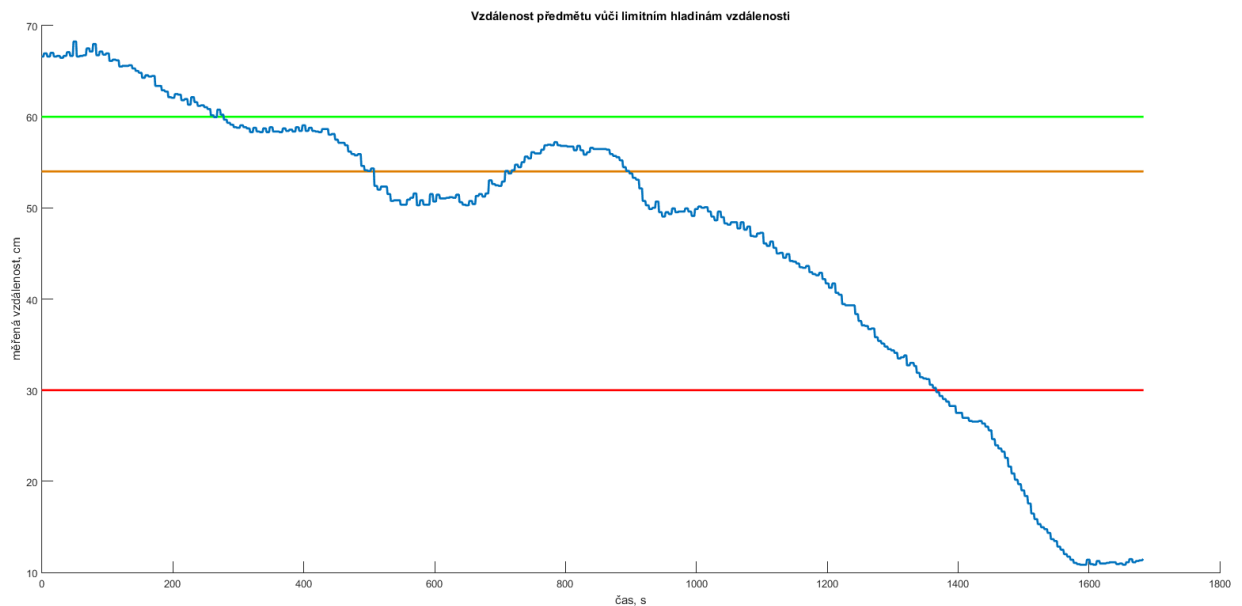
Obr. 3.30 – Rychlost vozidla před a po detekci překážky

V situaci zaznamenané na obr 3.29 a obr 3.30 bylo vozidlo uvedeno do autonomního režimu jízdy po čáře se zapnutým antikolizním asistentem. Požadovaný výkon motorů byl cca 44 %. Vozidlo bylo v pohybu do doby, dokud měřená vzdálenost před vozem nepřesáhla limitní vzdálenost. Ve chvíli, kdy měřená vzdálenost klesla pod minimální přípustnou vzdálenost, došlo k zastavení motorů vozidla, což lze vidět na obr 3.30 znázorňujícím rychlost otáčení kol. Navzdory tomu, že požadovaný výkon motorů byl stále cca 44 %, řídicí jednotka tento požadavek nebrala v potaz, protože bezpečnostní funkce je zde nadřazena požadavku na pohyb motorů.

Pro účely testování byla dále snižována minimální bezpečná vzdálenost. V momentě, kdy došlo k překročení minimální vzdálenosti vůči měřené vzdálenosti, vozidlo se na malý moment dalo opět do pohybu, což zaznamenává obr. 3.30 rychlosti otáčení kol.

Poté následoval stejný případ, kdy řídicí jednotka odstavila napájení motorů, protože situace byla vyhodnocena jako nebezpečná a vozidlo tudíž zastavila.

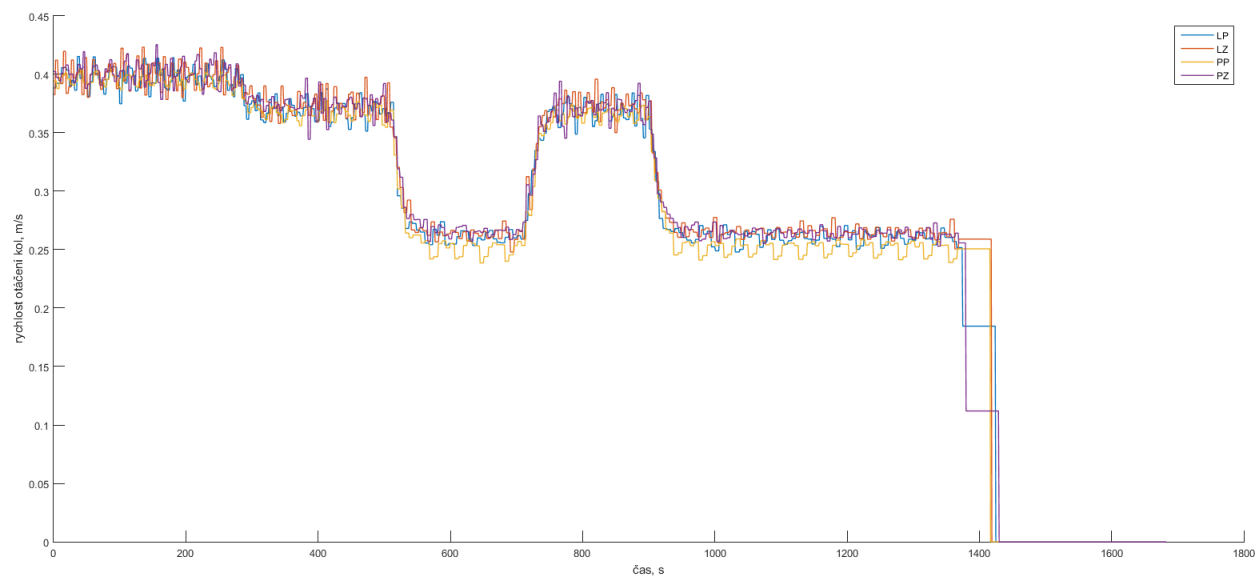
Rozšiřující funkcí tohoto antikolizního asistenta je přidání více limitních hladin, které upravují rychlost vozidla postupně a pomáhají tak dodržet odstup vozidla od překážky, či vozidla jedoucího před vozem autonomním.



Obr. 3.31 – Limitní hladiny antikolizního asistenta

Funkce tohoto asistenta byla experimentálně ověřena a následně použita ve výsledném vozidle, protože se osvědčila, což lze vidět na obr 3.31.

Limitní hladiny mají vliv na to, jak rychle vozidlo pojede. Je nutné, aby reagovalo přiměřeně, protože pokud je limitní vzdálenost nastavena bezpečně daleko, není důvod, proč by vozidlo muselo zastavit okamžitě po zaznamenání překážky. Místo toho jsou přidány dvě hladiny ,při kterých dojde ke zpomalení vozu o 10 %, což v případě, že se nejedná o překážku stojící v cestě, ale pouze jedoucí vozidlo před autonomním vozem, může pomoci, aby nedošlo ke srážce a zároveň nedošlo k zbytečnému brzdění na nulovou rychlost. Druhá hladina zpomalí auto na 50% požadovaného výkonu, protože už existuje potenciální riziko, že snímaný předmět není jedoucí vozidlo, ale opravdu překážka. Pokud ani při tomto zpomalení nedojde k dodržení bezpečného odstupu, dojde k překročení poslední limitní hladiny, která se postará o bezpečné zastavení vozu.



Obr. 3.32 – Změna rychlosti vozu v závislosti na datech z UZ senzoru

3.10 REGULACE JÍZDY

K řízení pohybu robotického vozidla po vodící čáře bylo použito dvou regulátorů. Prvním regulátorem byl tzv. třístavový regulátor, který se i přes svou jednoduchost jevil jako velice vhodná volba pro sledování vodící čáry. Výhodou tohoto regulátoru bylo především to, že po vyjetí robotu z požadované trajektorie dokázal stále vyhledávat vodící čáru a po jejím nalezení opět správně regulovat na správnou polohu.

Regulátor tohoto typu pracuje podobně jako dvupolohový regulátor na typu On/Off. Třípolohový regulátor byl použit z důvodu jeho schopnosti regulovat na obě strany jak v případě regulační odchylky větší než 0, tak v případě regulační odchylky menší než 0. Požadovanou hodnotou je tedy 0 a to je stav, ve kterém se vodící čára nachází přesně uprostřed infračervených senzorů. V případě, že vozidlo začne sjíždět z čáry do levé či pravé strany, začne narůstat regulační odchylka do kladných nebo záporných hodnot. Třípolohový regulátor má nastavený určitý aktivační práh, při jehož překročení dojde k vyvolání akční veličiny, která má za úkol vzniklou regulační odchylku vyrovnat zpět na nulu.

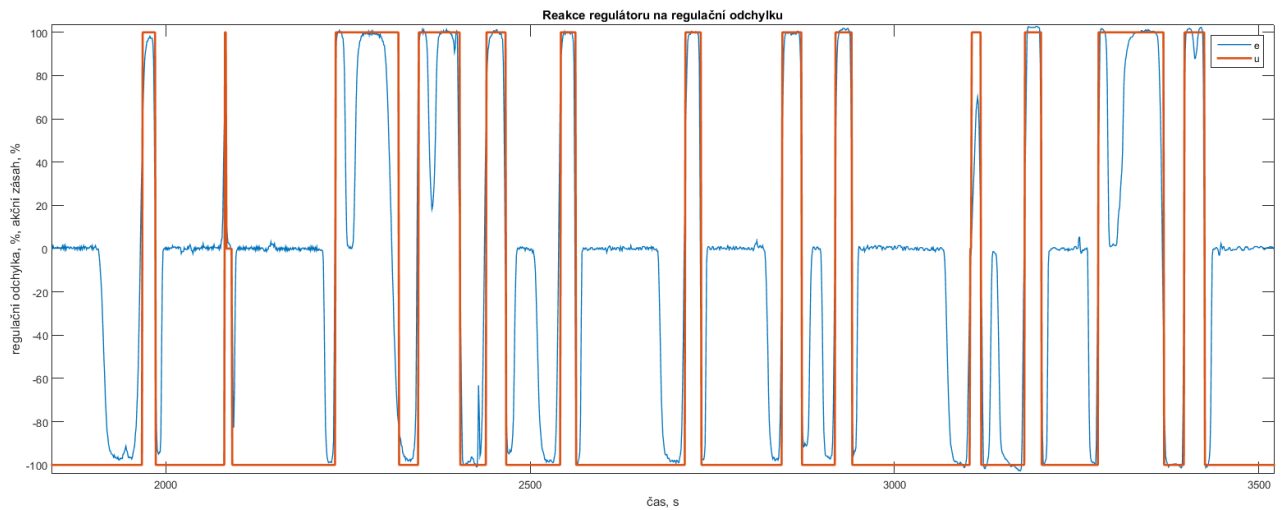
Aby řídicí jednotka považovala vzniklou situaci za vyřešenou, musí dojít k opětovnému překročení vodící čáry. Do této doby překročení bude vozidlo zatáčet maximální možnou mírou, aby našlo ztracenou vodící čáru. Vozidlo je v autonomním režimu s tím regulátorem schopno nastavovat hodnotu zatáčení pouze na středovou polohu, tedy moment, kdy nezatáčí. Poté na maximální hodnotu zatáčení na levou, či pravou stranu.

Robotické vozidlo dokázalo s třípolohovým regulátorem regulovat na požadovanou hodnotu a dokázalo udržet vozidlo na vodící čáře. Testovací okruh robotického vozidla má nepravidelný tvar obsahující zatáčky menšího i většího poloměru, přičemž nejprudší zatáčka respektuje minimální poloměr otáčení, 40 cm, respektive maximální možný úhel zatočení robotického vozidla, který je dán jeho fyzickými dispozicemi. Celý testovací okruh o rozměrech 2x1,8 m je možné vozidlem projet, což bylo otestováno pomocí ručního režimu robotického vozidla.



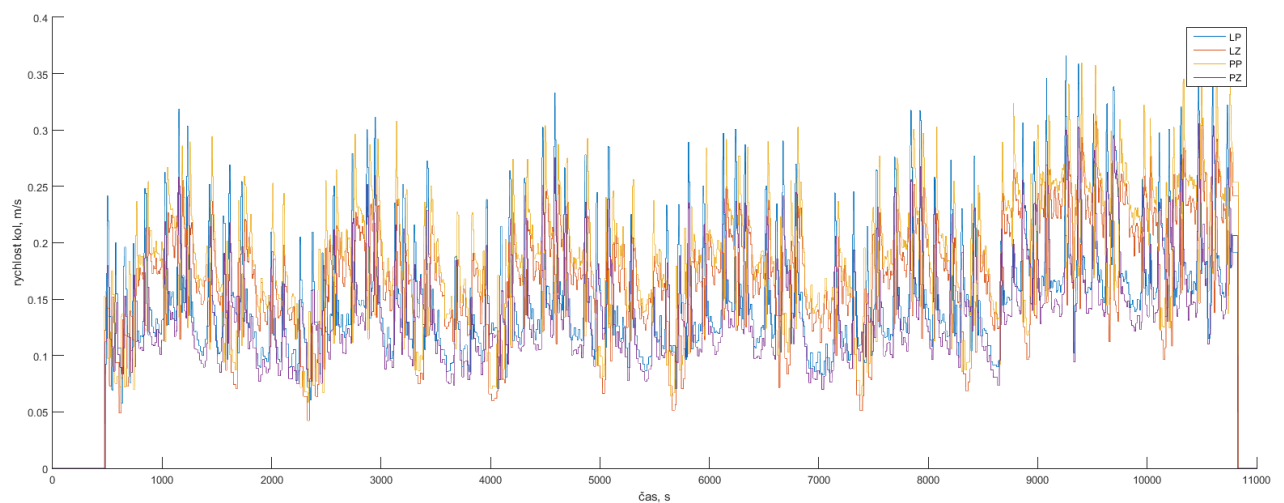
Obr. 3.33 – Testovací okruh robotického vozidla

Na obr. 3.34 je zobrazen záznam regulačního pochodu regulátoru v průběhu jízdy vozidla po vodící čáře.



Obr. 3.34 – Reakce regulátoru na regulační odchylku

Ze záznamu rychlosti otáčení jednotlivých kol vozidla zobrazených na obr. 3.35 lze vidět, jakým způsobem robotické vozidlo zrychlovalo a zpomalovalo v průběhu autonomní jízdy po vodící čáře.



Obr. 3.35 – Rychlost jednotlivých kol při jízdě po okruhu

Druhým testovaným regulátorem byl číslicový PID (PSD) regulátor, který je diskrétní analogií spojitého PID regulátoru. Rozdíl mezi spojitým a číslicovým je ten, že spojitý regulátor není vzorkovaný a používá jako integrační složku integrál regulační odchylky a jako derivační složku používá derivaci regulační odchylky, zatímco u číslicového regulátoru je integrační člen nahrazen sumou regulačních odchylek a místo derivačního členu je použito diferencí regulačních odchylek. Číslicovými regulátory se lze přiblížit jejich spojitým verzím pomocí zkracování vzorkovací frekvence. Toto zkracování s sebou však přináší nevýhody ve formě zanášení parazitního šumu, jenž je dále potřeba řešit filtracemi či numerickým zpracováním signálu.

Tvar PID regulátoru

$$u(t) = k_R \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]. \quad (3.2)$$

Tvar PSD regulátoru

$$u(kT) = k_R \left[e(kT) + \frac{1}{T_I} I(kT) + T_D D(kT) \right]. \quad (3.3)$$

Jak bylo řečeno, integrační složka spojitého regulátoru, tedy integrál plochy pod křivkou je u diskrétních regulátorů nahrazen součtem ploch mezi jednotlivými vzorky regulačních odchylek pod křivkou vzorkované regulační odchylky. Pro tento součet se používá více metod, konkrétně zpětná obdélníková metoda ZOBD, dopředná obdélníková metoda DOBD a lichoběžníková metoda LICHŮ. Pro derivační složku je použito zpětné diference prvního řádu.

Zpětná obdélníková metoda (ZOBD)

$$I(kT) = \int_0^t e(\tau) d\tau \approx T \sum_{i=1}^k e(iT). \quad (3.4)$$

Dopředná obdélníková metoda (DOBD)

$$I(kT) = \int_0^t e(\tau) d\tau \approx T \sum_{i=1}^{k-1} e(iT). \quad (3.5)$$

Lichoběžníková metoda (LICHŮ)

$$I(kT) = \int_0^t e(\tau) d\tau \approx T \sum_{i=1}^k \frac{e(iT) + e[(i-1)T]}{2}. \quad (3.6)$$

Derivační složka regulátoru

$$D(kT) = \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T}. \quad (3.7)$$

Dále se PSD regulátory rozlišují podle tvaru buď na polohový, či přírůstkový tvar PSD regulátoru. V případě polohového regulátoru je nevýhoda nutnost pamatovat si veškeré hodnoty regulační odchylky od začátku regulačního pochodu, což je nutné pro výpočet aktuální hodnoty akční veličiny, a to klade velké nároky na paměť. Pro tento případ je tedy mnohem výhodnější použití druhého tvaru PSD regulátoru, tedy přírůstkového tvaru. Přírůstkový tvar používá k výpočtu aktuální akční veličiny předešlou hodnotu akční veličiny, k níž přičítá změnu, či přírůstek akční veličiny, vypočtenou v aktuálním kroku.

Přírůstkový tvar PSD regulátoru

$$u(kT) = k_R \left[e(kT) + \frac{1}{T_I} I(kT) + T_D D(kT) \right] + u[(k-1)T]. \quad (3.8)$$

PSD regulátor s lichoběžníkovou metodou

$$u(kT) = k_R \left[e(kT) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=1}^k \frac{e(iT) + e[(i-1)T]}{2} + \frac{T_D}{T} e(kT) - e[(k-1)T] \right] + u[(k-1)T]. \quad (3.9)$$

Předchozí hodnota akční veličiny

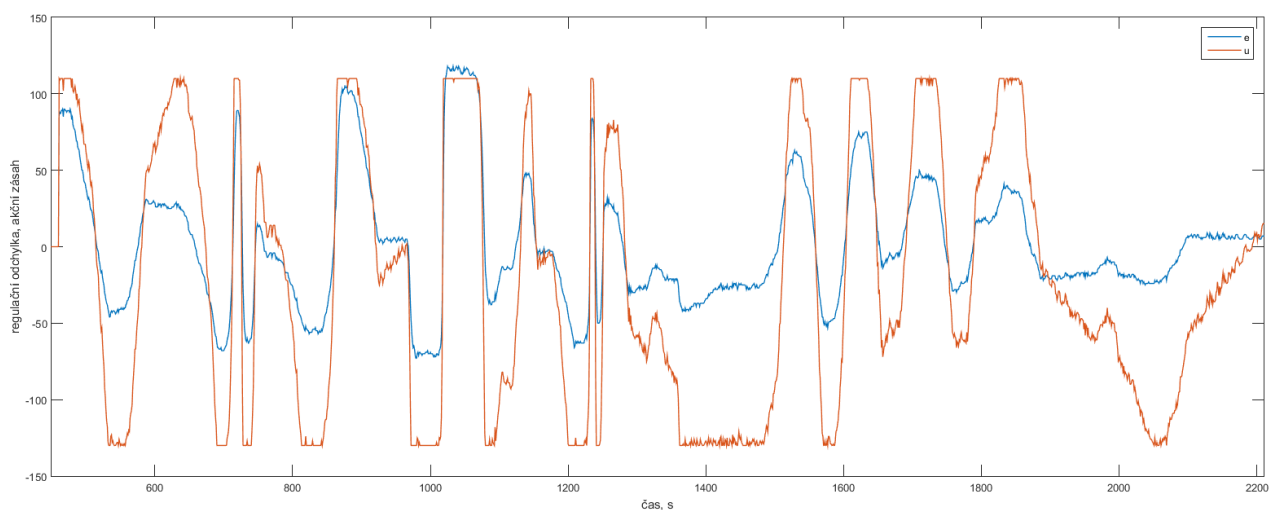
$$u[(k-1)T] = k_R \left[e[(k-1)T] + \frac{T}{T_I} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{e(iT) + e[(i-1)T]}{2} + \frac{T_D}{T} \{e[(k-1)T] - e[(k-2)T]\} \right]. \quad (3.10)$$

Zavedení parametrů q_0, q_1, q_2

$$u(kT) = q_0 e(kT) + q_1 e[(k-1)T] + q_2 e[(k-2)T] + u[(k-1)T]. \quad (3.11)$$

	q_0	q_1	q_2
Zpětná obdélníková náhrada	$r_0 \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right)$	$-r_0 \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} \right)$	$r_0 \frac{T_d}{T}$
Dopředná obdélníková náhrada	$r_0 \left(1 + \frac{T_d}{T} \right)$	$-r_0 \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} - \frac{T}{T_i} \right)$	$r_0 \frac{T_d}{T}$
Lichoběžníková náhrada	$r_0 \left(1 + \frac{T}{2T_i} + \frac{T_d}{T} \right)$	$-r_0 \left(1 + 2 \frac{T_d}{T} - \frac{T}{2T_i} \right)$	$r_0 \frac{T_d}{T}$

Obr. 3.36 – Parametry q_0 , q_1 , q_2 (Balátě, 2004)



Obr. 3.37 – Reakce regulátoru na regulační odchylku

3.11 VIRTUÁLNÍ PROSTOR

Pro vytvoření virtuálního prostoru vhodného pro pohyb auta bylo použito Unity 3D engine. Tento nástroj slouží pro tvorbu her a dalších interaktivních multimediálních aplikací. Je zde možnost hotový projekt exportovat pro více zařízení. Počínaje exportem pro konzole Xbox a Playstation přes mobilní zařízení až po Nintendo. V rámci této práce je nejdůležitější možnost exportovat projekt do spustitelného *.exe souboru, který lze spouštět na osobních počítačích.

V tomto vývojovém prostředí se provádí programování pomocí skriptů. Tyto skripty mohou být tvořeny pomocí vestavěného vývojového prostředí zvaného MonoDevelop, popřípadě v Microsoft Visual studio, které bylo pro tvorbu všech skriptů použito. Důvod k výběru Visual studia od firmy Microsoft byl především fakt, že obsahuje spoustu užitečných nástrojů, které lze využít pro debugging napsaného kódu a celkově je práce s tímto programem pohodlnější. Kód, ze kterého sestávaly všechny použité skripty, byl psán v jazyce C#. Jazyk C# totiž patří mezi vyšší programovací jazyky, které si mimo jiné samy spravují užití paměti a tak programátorovi zjednodušují programování, dále je tento jazyk objektově orientovaný, což je dnes u většiny programovacích jazyků standard.

Veškeré skripty se skládají z několika hlavních metod. Tou nejdůležitější metodou je metoda Update. Tato metoda se cyklicky opakuje 1x při každém volání. Voláním je myšlen tzv. frame, tedy rámeček. Rámce jsou podřízeny počítači a jeho výpočetnímu výkonu. V případě, kdy je výkonný počítač a jednoduchá aplikace, může dojít k volání rámce mnohonásobně vícrát za určité časové období oproti situaci, kdy je složitá aplikace spuštěna na nevýkonném zařízení. Metoda Update je nejčastěji používanou, avšak v některých případech lze volat metodu FixedUpdate, což je metoda, která je nezávislá na délce rámce. Většinou je využívána pro provádění výpočtů, ve kterých na předmět působí síla, například gravitace.

Metody, které je potřeba zavolat při startu aplikace, se jmenuje Awake a Start. Obě metody jsou provedeny pouze jednou jedinkrát, avšak každá z nich v jiném případě. Metoda Awake slouží k načtení důležitých částí aplikace a zavolá se tzv. po probuzení aplikace. Tím je myšlen start kontextu, pro který je metoda, respektive skript obsahující tuto metodu, určena. Každá Awake metoda je spuštěna dříve než Start a používá se k inicializaci nezbytných komponent, které potřebují používat následující metody. Metoda Start je volána až v momentě, kdy je zavolán skript obsahující tuto metodu. Metoda Awake všech skriptů určených pro danou scénu se tedy provede při načtení dané scény, zatímco metoda Start neproběhne do doby, dokud není volán konkrétní skript s touto metodou. Scény jsou poté určité bloky kontextu, které jsou

volány v rámci aplikace. Programátor si ve skriptech může vytvářet své vlastní funkce či metody dle své potřeby. Pro tuto práci bylo použito především metody IEnumerator, někdy také nazývané jako koprogram, anglicky coroutine. Specialitou těchto koprogramů je, že jsou vhodné pro implementaci kooperativního multitaskingu a lze s jejich pomocí vytvářet zajímavé aplikace. V rámci této práce byla tato metoda výbornou volbou pro udržení proudu dat vstupujícího do počítače přes sériovou linku. Tímto proudem jsou myšlena telemetrická data, která tvoří základní zdroj informací o aktuálním stavu systémů autonomního vozidla.

Díky metodě IEnumerator tak mohlo dojít k otevření sériového portu počítače a opakovanému čtení dat z daného portu aniž by se čtení podřizovalo provádění jednotlivých rámců aplikace. Data, která počítač obdrží v rámci komunikace přes sériový port, jsou nezpracovaná data ve formě řetězce obsahující číselné hodnoty oddělené dělicím znakem a konec řetězce obsahuje znak nového řádku v rámci daného programovacího jazyka. Díky této vlastnosti je možné řetězec dat číst jako řádek o určitém počtu číselných hodnot a dělicích znaků, které jsou dále rozříděny do proměnných, jež slouží k dalšímu užití v rámci aplikace. Všechny hodnoty jsou ukládány do textového souboru, který je editován v rámci vykonávání koprogramu sloužícího pro čtení telemetrických dat. Do textového souboru je vždy prováděn zápis s tím, že na začátku při otevření sériového portu a obdržení dat je proveden zápis o zahájení relace, dále je zapsán řetězec s názvem proměnných, aby bylo možné později určit, která číselná hodnota má jaký význam.

Dále pak probíhá zápis číselných hodnot v setříděné formě, kdy každému řádku je předřazena časová hodnota ve formátu „hodina:minuta:sekunda:milisekunda“, aby bylo zpětně rozlišitelné, jak se vozidlo průběžně chovalo. Tyto uchovaná data je pak dále možno zpracovávat a vyhodnocovat v tabulkových procesorech jako Microsoft Excel. Tento způsob ukládání dat do textového souboru tak tvoří důležitou součást a výborný nástroj, díky kterému je možné dále optimalizovat chování autonomního vozidla.

```

data_auto_unity – Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
10:2:22:262 Nový zápis
cas jízda zatáčení vzdálenost tlac1 tlac2 tlac3 tlac4 v_LP v_LZ v_PP v_PZ cara_L cara_P UZ_M UZ_L UZ_P Kp Ki Kd e u P I D cell1 cell2 cell3 current
10:2:22:283 0 -29 68 False False False False 0 0 0 0 221 75 344,029 86,9162 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 126
10:2:22:294 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 344,029 86,9162 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 127
10:2:22:304 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 344,029 86,9162 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 76 75 75 125
10:2:22:312 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 341,4908 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 73 73 73 126
10:2:22:320 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 75 341,4908 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 124
10:2:22:329 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 341,4908 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 127
10:2:22:337 0 -29 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 341,4908 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 74 73 127
10:2:22:345 0 -29 68 False False False False 0 0 0 0 221 77 341,4908 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 75 75 75 126
10:2:22:354 0 -29 68 False False False False 0 0 0 0 220 77 342,314 87,465 99,6072 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 126
10:2:22:362 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 220 77 342,314 87,465 99,6072 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 125
10:2:22:370 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 220 77 342,314 87,465 99,6072 255 0 158 0 0 0 0 0 74 74 74 127
10:2:22:379 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 220 77 342,314 87,465 99,6072 255 0 158 0 0 0 0 0 74 74 74 127
10:2:22:386 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 342,314 87,465 99,6072 255 0 158 0 0 0 0 0 75 75 75 124
10:2:22:395 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 220 77 345,8126 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 125
10:2:22:403 0 -28,75 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 345,8126 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 73 73 126
10:2:22:411 0 -29,25 68 False False False False 0 0 0 0 221 76 345,8126 87,3964 99,127 255 0 158 0 0 0 0 0 74 74 73 127

```

Obr. 3.38 – Ukládaná telemetrická data

Díky výše zmiňovanému má počítač dostatečně velkou základnu dat, ze které lze čerpat pro následné zobrazení ve virtuálním prostoru. Základem tohoto virtuálního prostoru je plocha suplující povrch, po kterém se pohybuje 3D vozidlo, které je umístěno do středu této plochy. Zde umístěné vozidlo je virtuální interpretací skutečného vozidla nacházejícího se ve fyzickém světě. Virtuální vozidlo je uvedeno do tzv. stínujícího módu. Stínujícím módem je myšleno přesné kopírování pohybů fyzického vozidla ve virtuálním světě. Vše, co se odehrává s fyzickým vozidlem v rámci rychlosti, zatáčení, sledování čáry, měření vzdálenosti a reakce regulátoru se zároveň přenáší do virtuálního světa a je přehledně zobrazeno ve vytvořené aplikaci.

Při najetí vozidla na vodící čáru se ve virtuálním prostoru vykresluje cesta, kterou vozidlo projelo a uživatel tak má přehled o chování vozu. Během průjezdu po vodící čáře jsou zároveň vizualizovány překážky, které se vozidlu mohou do cesty postavit. Pro změření těchto překážek se na vozidle nachází ultrazvukové senzory a údaje z těchto senzorů jsou taktéž přenášeny do virtuálního světa pro jejich užití.



Obr. 3.39 – Vizualizace v Unity3D

4 ZHODNOCENÍ

Základem autonomního vozidla je především jeho sensorová síť, díky které dokáže do určité míry vnímat své okolí. V této práci bylo užito ultrazvukových a infračervených senzorů pro sledování okolí robota. Každý z těchto senzorů má své specifické kladné a záporné stránky. Ty záporné je potřeba dostatečně eliminovat, aby nedošlo k selhání systému z důvodu chyby měření a následné škodě na majetku či životě. Infračervené senzory použité v této práci by byly mnohonásobně spolehlivější, pokud by dokázaly snímat větší plochu. Ultrazvukové senzory by větší spolehlivost získaly užitím průmyslových ultrazvukových senzorů, které jsou mírně dražší, ale mají implementovanou funkci triangulace pro přesné určení polohy překážky.

Vozidlo také obsahuje senzor napětí na bateriovém systému a proudový senzor, který měří proud tekoucí z baterie. Oba tyto senzory lze využít pro rozšíření povědomí robota o svém okolí. Například pokles napětí baterie by za stejných teplotních podmínek měl být v průběhu jízdy vždy podobný předešlým jízdám. Pokud by teplota okolí výrazně klesla, je možné tento jev pozorovat právě na snižujícím se napětí baterie. Zároveň lze vozidlo odstavit při poklesu napětí pod danou úroveň, aby nedocházelo k ničení baterie. V případě zkratu na elektrických rozvodech vozidla by bylo možné odstavit bateriový systém v jeho počátku, protože řídicí jednotka má o množství proudu tekoucího do obvodu přehled. Senzorem proudu lze také odhalit případné nárazy do předmětů ve formě výrazných proudových „špiček“, popřípadě odhalit jízdu do kopce, či z kopce.

Enkodéry v kombinaci s proudovým snímačem na motorovém budiči je možné použít k odhalení prokluzování kol či nemožnosti odvalování kol.

Regulace jízdy po čáře s danou konfigurací vozidla je obtížnější oproti dvoukolovým robotům, jejichž kola se mohou odvalovat opačným směrem a vytočit tak mnohem prudší zatáčky, které vozidla s Ackermanovým podvozkem nezvládnou projet. V laboratorních podmínkách to lze řešit vyhledávacími algoritmy a podobnými způsoby. V reálném provozu po pozemní komunikaci by však toto řešení nebylo dostačující.

5 ZÁVĚR

Autonomní robotické vozidlo dokázalo s relativně nevýkonnou řídicí jednotkou plnit funkci autonomní jízdy v definovaných podmínkách. Společně v kombinaci s bezpečnostními prvky antikolizního asistenta a algoritmů dodržování bezpečné vzdálenosti se jedná o nutný základ potřebný pro budoucí nasazení autonomních vozidel na pozemních komunikacích. Vozidlo bylo testováno v laboratorních podmínkách, které se od reálného světa často velice liší. S rozšířením celé senzorické sítě vozidla společně se samoučícími se algoritmy běžících na výkonných procesorech lze v budoucnu vytvořit plně autonomní systém, jehož míra chybovosti bude mnohonásobně nižší, než míra chybovosti člověka za volantem.

POUŽITÁ LITERATURA

- Atmel: Atmel AVR microcontroller ATmega. 2015. [online]. San Jose. [cit: 12. 3. 2018].
Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf
- Autolexicon.net: Ackermannova podmínka. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/ackermannova-podminka/>
- Autolexicon.net: Náprava MacPherson. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>
- Autolexicon.net: Tuhá náprava. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/tuha-naprava/>
- Autolexicon.net: Kyvadlová (úhlová) náprava. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/kyvadlova-uhlova-naprava/>
- Autolexicon.net: Víceprvková náprava. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/viceprvkova-naprava/>
- BALÁTĚ, J. 2004. *Automatické řízení*. Praha: BEN – technická literatura. 654 s. ISBN 80-7300-148-9.
- BRANKO, R. 2012. *Automobil a spalovací motor: Historický vývoj*. Praha: Grada. 160 s. ISBN 978-80-247-3538-2.
- Converter.cz: Závislost rychlosti šíření zvuku ve vzduchu na teplotě. 2002. [online]. Kroměříž. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/rychlost-zvuku-vzduch.htm>
- Elektromobil.vseznamu.cz: Baterie v elektromobilech. 2010. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- Elektroprumysl.cz: Robotika od historie po současnost. 2012. [online]. Brno. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace/robotika-od-historie-po-soucasnost>.
- ITnetwork.cz: Sběrnice. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 2464-6326. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tvy-sbernice>
- KREIDL, M.; ŠMÍD, R. 2006. *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu. 1. vydání*. Praha: BEN – technická literatura. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.
- Pohonnatechnika.cz: K čemu je frekvenční měnič. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/k-cemu-je-frekvencni-menice>
- Rc.305.cz: Co pohání elektromobily Tesla Motors. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <http://rc.305.cz/view.php?cislocclanku=2015050003>
- Sae.org: Levels of autonomy in automated driving. 2018. [online]. Brusel. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf
- Teslafan.cz: Li-ion akumulátory aneb co pohání Teslu. 2018. [online]. Praha. [cit: 12. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/li-ion-akumulatory-aneb-co-pohani-teslu>

Vtm.zive.cz: Vojenské jednotky by mohly doprovázet robotické zásobovací čtyřkolky. 2017. [online]. Brno. [cit: 12. 3. 2018]. ISSN 1213-8991. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/vojenske-jednotky-by-mohly-doprovazet-roboticke-zasobovaci-ctyrkolky/sc-870-a-189926/default.aspx>

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k diplomové práci
Autonomní robotické vozidlo
Radek Řeháček

CD

Obsah

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód zkonstruovaného autonomního robotického vozidla
- 3 Schémata elektronických obvodů použitých v robotickém vozidle
- 4 Tabulka zapojení periférií