



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

Přestavba RC modelu pro autonomní řízení

RC Car Conversion for Autonomous Driving

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Libor Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Libor Novotný
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Michal Janoušek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Přestavba RC modelu pro autonomní řízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autonomní řízení vozidel představuje nový trend v dopravní infrastruktuře a vyžaduje testování a vývoj systémů autonomního řízení. Testování přímo na automobilech je náročné, proto se nabízí testování na zmenšených modelech. Vyberte RC model vhodný pro přestavbu na autonomní řízení.

Cíle diplomové práce:

Vyberte RC model vhodný pro přestavbu na autonomní řízení.

Proveďte konstrukční úpravy umožňující montáž senzorů použitých pro autonomní řízení.

Navrhněte interface mezi akčními členy RC vozidla a řídicím systémem.

Proveďte konstrukční úpravy umožňující montáž senzorů použitých pro autonomní řízení.

Seznam doporučené literatury:

CHENG, Hong. Autonomous intelligent vehicles: theory, algorithms, and implementation. New York: Springer, c2011. Advances in computer vision and pattern recognition. ISBN 978-1-4471-2279-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá přestavbou RC modelu auta vhodného pro implementaci senzorů autonomního řízení. Praktická část diplomové práce je rozdělena do pěti částí. První část se zabývá výběrem vhodného modelu pro přestavbu. Na tuto kapitolu navazuje druhá část práce, kde je detailní analýza vybraného modelu ZMOTO Z3. Třetí část se zabývá výběrem mikrokontroleru, který bude zpracovávat program řízení. Dále jsou popsány konstrukční úpravy modelu. Poslední část práce se věnuje popisu řízení RC modelu pomocí Simulinku.

KLÍČOVÁ SLOVA

RC Model, Simulink, Texas Instruments, Embedded systém, Autonomní řízení, SAE J3016

ABSTRACT

This master's thesis deals with rebuild of RC car model for use of autonomous sensors. Practical part of the thesis is divided to five main parts. The First part deals about selection of suitable RC model. Next part of thesis deals with detailed description of the RC model. The third part of thesis deals about selection of microcontroller which will be processing the model control. The fourth part of thesis deals about construction changes of the model. The last part of thesis deal about Simulink control of the vehicle.

KEYWORDS

RC model, Simulink, Texas Instruments, Embedded system, Autonomous driving, SAE J3016

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOTNÝ, Libor. *Přestavba RC modelu pro autonomní řízení*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121654>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 60 stran. Vedoucí práce Michal Janoušek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Libor Novotný

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Michalu Janouškovi Ph.D. za odborné vedení a rady nejen při zpracování této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat současným i minulým členům týmu TU Brno racing za spolupráci během celé doby mého studia. Rád bych poděkoval rodině, která mi dala možnost studovat na vysoké škole a vždy mě v tom plně podporovala. Největší dík patří mé přítelkyni Michaele Čechové, která mi vždy pomáhala najít rovnováhu mezi profesním a osobním životem.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Autonomní vozidla	12
1.1 Stupně automatizace SAE J3016.....	12
1.2 Stupně propojení vozidel.....	13
1.3 Komerční autonomní vozidla	15
1.3.1 Tesla – Autopilot system.....	15
1.3.2 Uber	15
1.3.3 Cadillac – Super cruise	16
1.3.4 Audi	16
1.4 Sensory používané pro autonomní řízení.....	17
1.4.1 Kamera	17
1.4.2 Stereovize.....	18
1.4.3 LIDAR	18
1.4.4 Radar	19
1.4.5 Sonar	19
1.4.6 Spolupráce všech senzorů	20
1.5 Legislativa	20
2 Model pro autonomní řízení	22
2.1 Výběh modelu pro autonomní řízení	22
2.2 RC10B6.1 team kit	23
2.3 BXR.S1	24
2.4 ZMOTO Z3	25
3 Analýza RC modelu ZMOTO Z3	26
3.1 Schéma zapojení modelu.....	26
3.2 PWM (pulse width modulation) signál	26
3.3 Kinematické parametry modelu.....	27
3.4 PWM signál servořízení	27
3.5 Poloměr otáčení	28
3.6 PWM signál otáček motoru.....	30
3.7 Rychlost modelu	30
4 Mikrokontroler.....	32
4.1 Arduino MEGA 2560	32
4.1.1 Arduino IDE.....	33
4.1.2 LabView	33
4.2 Hardware společnosti National Instruments	34
4.2.1 cRIO.....	34
4.2.2 myRIO.....	35
4.3 TEXAS INSTRUMENTS LAUNCHXL-F28379D	35
4.3.1 GPIO	36
4.3.2 Enhanced PWM (ePWM)	36
4.3.3 Enhanced Capture (eCAP)	36
4.3.4 eCAN	36
4.4 NVIDIA Jetson module	37

4.5	NVIDIA DRIVE AGX Developer Kit.....	37
4.6	Embedded systém pro ovládání RC modelu	38
5	Konstrukční úpravy	39
5.1	Držák vývojové desky a přijímače.....	39
5.2	Platforma pro uchycení senzorů	39
5.3	Držák baterie	41
5.4	Zapojení mikrokontroleru	41
5.5	Finální podoba modelu.....	42
6	Řízení RC modelu pomocí vývojové desky	44
6.1	Hardwarové nastavení.....	44
6.2	Simulink – model řízení	44
6.2.1	Globální data	44
6.2.2	Hardwarové přerušení	45
6.2.3	CAN Bus konfigurace.....	45
6.2.4	Simulink – CAN Bus příjem dat o vozidle	46
6.2.5	Simulink – CAN Bus data pro řízení modelu.....	47
6.2.6	Subsystém senzoru vzdálenosti HC-SR04	47
6.3	Simulink – model řízení vývojové desky	48
6.4	Simulink – komunikační rozhraní.....	49
7	Další vývoj.....	51
7.1	NVIDIA Jetson TX2.....	51
7.2	LIDAR Hokuyo UST-10LX.....	51
7.3	Kamera Stereolab ZED 2	52
7.4	Matlab toolboxy	52
	Závěr.....	53
	Seznam použitých zkratk a symbolů	58
	Seznam příloh.....	60

ÚVOD

V posledních letech jsme svědky překotného rozvoje elektroniky a výpočetní techniky. Tyto změny mají dopad ve všech průmyslových odvětvích, automobilový průmysl nevyjímaje.

Vývoj a testování autonomního řízení přímo na osobních automobilech je však velice nákladné. To se týče pořízení samotného automobilu i senzorů pro autonomní řízení. Obě varianty jsou v cenových hladinách až statisíců, a proto se jeví jako východisko testování vybraných zařízení na zmenšených modelech. Vytvořená platforma by měla sloužit jak pro výukové, tak experimentální účely a měla by být dle potřeby hardwarově i softwarově snadno modifikovatelná.

Cílem práce je přestavět RC model vhodný pro implementaci autonomního řízení. Provedení konstrukčních úprav vozidla tak, aby bylo možné model osadit senzory, které se používají pro autonomní řízení.

Takto přestavěné vozidlo bude kontrolováno pomocí řídicí platformy, která je založená na systému Simulink. Vozidlo bude tak snadno rozšířitelné o další senzory či algoritmy řízení, protože Simulink nabízí velkou škálu rozšíření, co se zpracování obrazu a ovládání periferií týče.

1 AUTONOMNÍ VOZIDLA

V současné době navzdory velkým reklamním kampaním o automobilních vozidlech nemůžeme zakoupit komerční vozidlo, které by bylo skutečně plně autonomní. Ve většině případů se jedná o prvky, které zlepšují bezpečnost řidiče a posádky nebo jde o autonomní řízení při velice specifických podmínkách. Pokud se jedná o plně autonomní vozidlo, je při řízení vždy přítomna posádka, která kontroluje správnou funkci systému a je připravena v jakémkoliv okamžiku zasáhnout do řízení a zabránit tak nehodě.



Obr. 1 Interiér Tesly modelu S během řízení [1]

1.1 STUPNĚ AUTOMATIZACE SAE J3016

Stupně automatizace automobilů jsou definovány organizací SAE [2][1], skládá se celkem ze 6 stupňů různé automatizace vozidla.

Jednotlivé stupně můžeme dále dělit do skupin [3]. Kdy řízení ve stupni 0 až 2 zajišťuje plně řidič. Je definováno, že řidič je zodpovědný za řízení i pokud nemá nohu na brzdném či plynovém pedálu i pokud nemá ruce na volantu. Řidič musí za plné pozornosti zajistit řízení, brždění nebo akceleraci a musí udržovat bezpečnost provozu.

Automatizace stupně 3 je při spuštěném systému schopna zajišťovat sledování provozu, je schopna také řízení vozidla. Pokud je však vozidlem řidič vyzván, musí okamžitě převzít kontrolu nad vozidlem.

Stupeň automatizace 4 a 5 je potom schopný plně autonomního řízení bez aktivní účasti řidiče.

Stupeň 0 – Žádná automatizace – řidič veškeré řízení vykonává sám.

Stupeň 1 – Bezpečnostní asistenti „hands on“ – vozidlo je řízeno řidičem, ve vozidle jsou přítomni asistenti pro větší bezpečnost a lepší jízdní komfort.

Stupeň 2 – Částečná automatizace „hands off“ – vozidlo je schopno samo akcelarovat, brzdit a ovládat volant. Ve většině případů je nutné, aby řidič vozidlo kontroloval a po celý čas sledoval i provoz.

Stupeň 3 – Podmíněná automatizace „eyes off“ – vozidlo dokáže za určitých povětrnostních, světelných a dopravních podmínek schopno samo řídit. Řidič musí být v každém okamžiku schopen převzít řízení automobilu.

Stupeň 4 – Vysoká automatizace „mind off“ – vozidlo je schopno řídit ve většině případů. Řidič má možnost převzít kontrolu nad vozidlem.

Stupeň 5 – Plná automatizace „steering wheel optional“ – vozidlo je schopno plně autonomního řízení za všech okolností, včetně špatných povětrnostních podmínek nebo špatného stavu vozovky. Řidič si může zvolit, zda bude vozidlo sám ovládat.

Dnešní moderní automobily jsou běžně vybaveny funkcemi, které jsou definovány stupněm 0 až 2 dle SAE, známe je pod označením asistenti. Jedná se pak o parkovacího asistenta, tempomat, adaptivní přední světlomety a mnohé další. Někteří výrobci do svých komerčních vozidel implementovali i funkce, které popisuje stupeň 3. Jedná se zejména o systémy a modely jako jsou Tesla Autopilot, General Motors Super Cruise, Audi A8 a další.

V současnosti je také spuštěno několik projektů, které v některých městech zajišťují bezpilotní dopravu. Mezi tyto projekty patří například flotila autonomních vozidel v San Franciscu od společnosti Uber-Volvo, nuTonomy v Singapuru a v neposlední řadě také Lyft v Las Vegas.

Tab. 1 Bezpečnostní a pomocní asistenti [3]

Pomoc	Varování	Asistence	Automatizace
Stupeň 1	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň >2
Noční vidění	Parkovací senzory	Tempomat	Dálniční autopilot
Senzor deště	Senzor mrtvého úhlu	Parkovací asistent	Autopilot v koloně
Zadní kamera	Tlak pneumatik	Hlídání jízdních pruhů	Městský autopilot
Satelitní navigace	„Front assist“	Systém ochrany chodců	Jízda v zástupu
Adaptivní světlomety	Monitorování únavy řidiče	Rozpoznávání dopravních značek	Autonomní parkování

1.2 STUPNĚ PROPOJENÍ VOZIDEL

Dalším trendem při vývoji autonomních vozidel je i vývoj komunikačních technologií. Propojení a přenos dat mezi vozidly a dalšími subjekty by mělo výrazně zefektivnit dopravu.

Digitalizací bylo umožněno sbírat a zpracovávat data mnoha různými přístroji. V současnosti zahrnuje například i mobilní telefony pasažérů, kdy podle toho, jak dlouho se zdrží na určitém segmentu trasy vypočítává nejvhodnější trasu pro navigaci ostatních účastníků dopravního provozu. Data ze senzorů přímo v automobilu, a to i těch, které nejsou vybaveny plně autonomním řízením, jsou potom zdrojem informací pro další vývoj umělé inteligence v dopravě. Největší výhodou propojení je však zvýšení bezpečnosti silničního provozu [4].

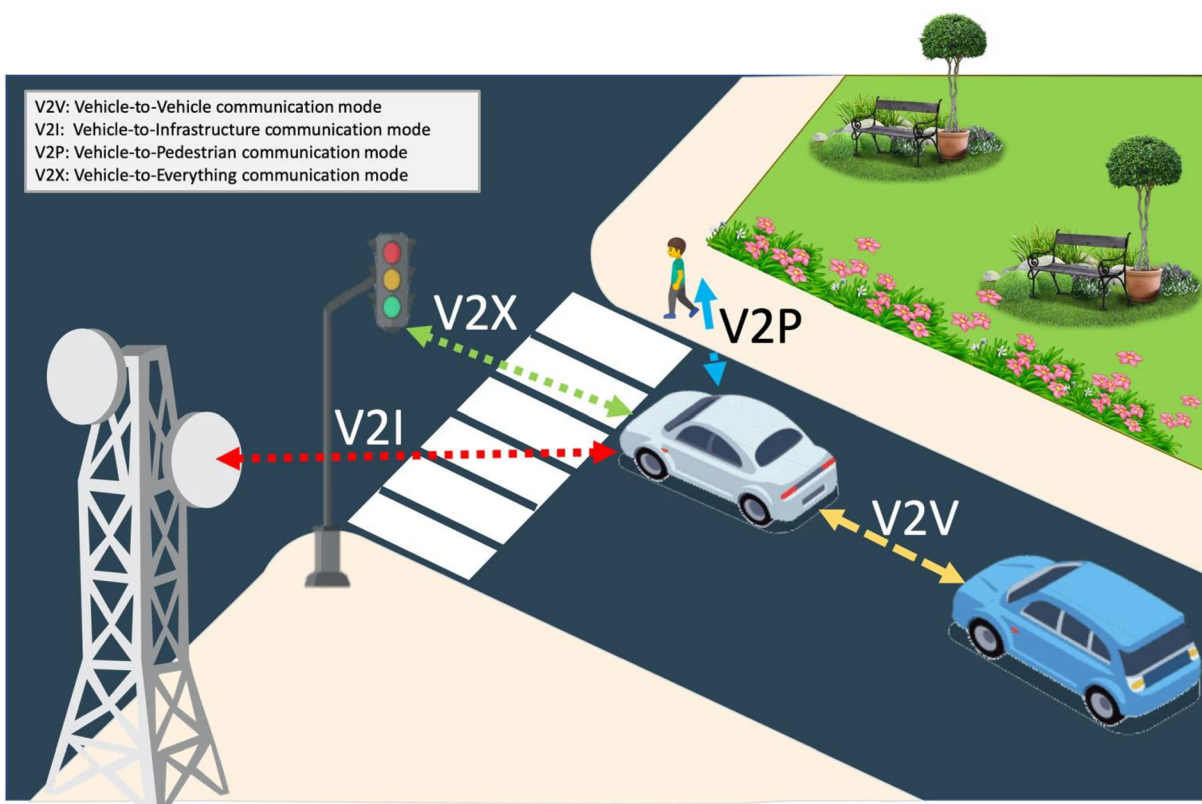
Vozidla dělíme do skupin podle stupně propojení. Jednotlivé skupiny jsou popsány níže [3].

Vehicle-to-Vehicle (V2V) je technologie pro výměnu dat mezi vozidly. Například poskytování varování o dopravních zácpách. V sítích připojených k systému komunikace V2V tak může docházet automaticky k doporučení nové trasy. Pokud na silnici dojde k havárii, systém je opět schopný včas varovat ostatní vozidla. Tím může dojít k výraznému zvýšení bezpečnosti posádky a efektivnější dopravě.

Vehicle-to-Infrastructure (V2I) je technologie pro výměnu dat mezi vozidly a infrastrukturou. Tato technologie poskytuje infrastruktuře varování o možných nebezpečích na silnici jako jsou například nehody. Také je možné automaticky změnit rychlost vozidla podle prostředí v kterém se nachází. Pokud by nastala nehoda ve městech vybavených touto technologií, mohlo by dojít k automatickému uzavření dané oblasti. V případě složek záchranného systému by pak mohl být vytvořen na světelných křižovatkách koridor pro rychlejší průjezd.

Vehicle-to-Pedestrian (V2P) je technologie pro přenos dat mezi vozidly a například chytrými telefony chodců. V budoucnosti by tak vozidla mohly vědět o pohybu chodců nejen z vizuálních či jiných senzorů, ale i z dat odeslaných jejich chytrými zařízeními. Došlo by tak opět ke zvýšení bezpečnosti.

Vehicle-to-Network (V2N) označováno také jako Vehicle-to-Everything (V2X) zastupuje všechny dílčí technologie popsané výše do jedné. Jedná se o globální síť, která by byla propojená se všemi účastníky provozu a provazovala by je pak s chytrými městy.



Obr. 2 Schéma komunikace mezi vozidlem a okolním prostředím [5]

1.3 KOMERČNÍ AUTONOMNÍ VOZIDLA

Jednotlivý výrobci, kteří nabízí autonomní vozidla pro komerční použití jdou často odlišnou cestou. Jedná se hlavně o samotný systém, kdy se některé firmy soustředí na spoustu dílčích činností jako je například autonomní parkování, jiné pak cílí na jeden více propracovaný systém, který však dokáže například zcela obsluhovat jízdu v kolonách.

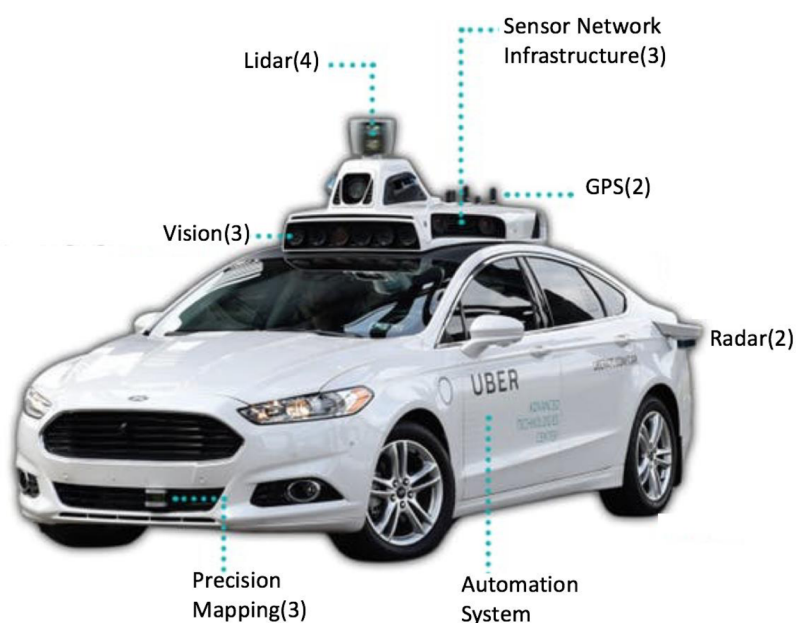
1.3.1 TESLA – AUTOPILOT SYSTEM

Tesla svého autopilota nabízí ve všech svých modelech. Tento systém je schopen současně obsluhovat tempomat, udržovat jízdní pruh a vzdálenost mezi vozidly. V nízkých rychlostech je systém (Autosteer+) schopen také plně autonomního řízení. Fungování systému je však velmi závislé na vnějších vlivech, jako je například počasí nebo stav vozovky. Tesla disponuje také systémem zvaným Enhanced Summon, který dokáže na krátkou vzdálenost vozidlo přivést na lokaci, kde se nachází mobilní telefon, který ji přivolal. Autopilot Tesly však není schopen autonomního řízení na rychlostních silnicích. Při všech činnostech je nutno dle právních předpisů mít ruce na volantu [6][6].

1.3.2 UBER

Společnost Uber je známá především jako poskytovatel taxi služby, na poli autonomních vozidel je ale jedním z leaderů. Nenabízí vozidla, ale jejich řídicí systém.

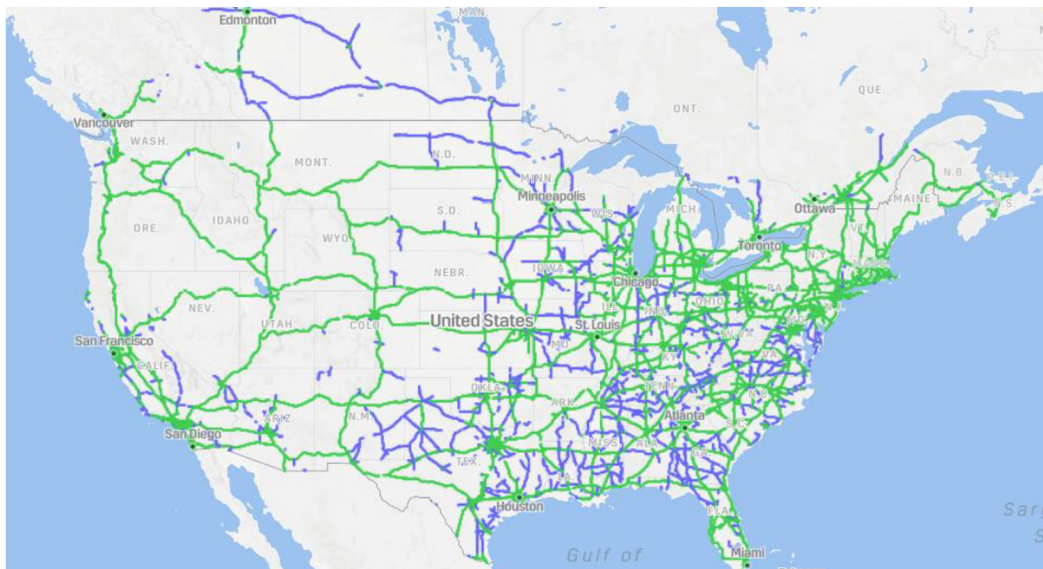
Autonomní divize společnosti Uber je zodpovědná za první smrt na vozovce, která se odehrála v ruce 2018. Chyba podle vyšetřovatelů byla na straně techniky i selhání lidského faktoru [7]. Po této nehodě jsou všechny vozidla Uberu vybavena 2 techniky, kteří kontrolují funkci autonomního vozidla. V různých městech však mají technici odlišné úkoly. Zatímco v Torontu a San Franciscu sbírají data, tedy řídí a sbírají datové podklady pro řízení v těchto městech, v Pittsburgu vozidla zajišťují řízení sama a technici jsou na palubě pouze jako dohled. Toto autonomní řízení je ale limitováno počasím, polohou ve městě a je přístupné pouze přes den [6].



Obr. 3 Vozidlo služby Uber osazené senzory autonomního řízení [8]

1.3.3 CADILLAC – SUPER CRUISE

Cadillac v roce 2017 spustil prodej vozidla CT6. Tento sedan je zároveň vlajkovou lodí této americké společnosti. V současnosti je považován za nejlepší autonomní vozidlo stupně 3 dle SAE a jediné, které nabízí autonomní řízení po zmapovaných úsecích amerických dálnic. Cadillac zmapoval přes 200 000 mil amerických silnic pomocí technologie Lidar s přesností 5 cm [10]. Vozidlo je vybaveno systémem, který monitoruje pozornost řidiče a zajišťuje tak, že během jízdy například neusne. Řidič během doby, co je zapnut autopilot nemusí mít ruce na volantu. Aktivování systému Super Cruise je velmi jednoduché. Nejprve je nutné zapnout adaptivní tempomat, systém následně vyhodnotí, zda se vozidlo nachází na silnici, která je v databázi Super Cruise. Poté systém kontroluje, zda jsou dobře čitelné značky a vodorovné dopravní značení. Pokud jsou splněny všechny požadavky, vozidlo přejde do módu autopilota.



Obr. 4 Zmapovaná silniční síť v USA, kde je možné využít autonomního řízení Super Cruise [9]

1.3.4 AUDI

Evropským zástupcem komerčně dostupných automobilů budiž Audi, která ve svých vozech A8 disponuje Audi AI kolonovým autopilotem. Ten je označován za nejpokročilejší systém, protože je vybaven novou generací senzorů, a to i pokročilého LIDARu, který je vůbec poprvé použit v komerčních vozidlech. Odborníci a recenze tvrdí, že je Audi se svým autopilotem, co se týče komfortu při jízdě, vůbec nejdál. Systém je zabezpečen pomocí vestavěných redundantních řešení v případě selhání některého klíčového prvku. Autopilot přebírá kontrolu nad vozidlem v pomalu jedoucích kolonách (až do 60 km/h) na silnicích, kde je přítomno vodorovné značení a fyzická bariéra mezi jízdními pruhy [11]. Autopilot je schopný plně samostatného řízení, řidič tedy může například číst knihu.

Audi představilo také vůbec prvním komerčně dostupný systém, který predikuje boční náraz vozidla. V případě detekce možného nárazu je systém schopen zdvihnout příslušnou stranu automobilu díky aktivnímu odpružení. Boční strana auta se tak dokáže zvednout až o 7,5 cm a případný náraz je tak veden do pevnější struktury rámu vozidla. Další novou funkcí vozidla je „Intersection assist“ tedy zabránění neúmyslného vjetí do protisměru na dálnicích a přivaděcích. Vůz reaguje pomocí zvukových varování, případně použitím brzd. Audi nabízí také funkce autonomního parkování ať už do garáže nebo podélné či příčné parkování.

1.4 SENZORY POUŽÍVANÉ PRO AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ

Pro správné fungování autonomního řízení je zapotřebí velké množství senzorů, které se navzájem doplňují. Jedná se o obrovské množství dat, které je nutné zpracovávat v reálném čase. Společnost Intel udává, že za hodinu a půl provozu (běžná doba, kterou člověk denně stráví v automobilu) vygeneruje 4 TB dat [12]. Všechny tyto data jsou následně analyzovány (v případě vývoje) za účelem snížit pomocí autonomních vozidel nehodovost na minimum. Nezbytné je tedy pro správnou funkci vozidla i dostatečně výkonný hardware, který tyto signály dokáže zpracovat a následně dle získaných informací řídit vozidlo [13].



Obr. 5 Tok Dat ze senzorů autonomních vozidel [12]

1.4.1 KAMERA

Kamery jsou pasivní senzory (nevyzařují žádný signál jako například LIDAR). Používají se kamery, které mají barevný čip. Snímání barvy je důležité zejména pro správné rozpoznání dopravních značek a semaforů. Jednoduchá kamera se používá k detekci a klasifikaci překážek a také pro detekci čar.

Často bývá použito více kamer o různých ohniskových vzdálenostech. Například vozy Tesla S disponují osmi kamerami. Typicky bývá použita zadní kamera, dvě postranní kamery, širokoúhlá přední kamera, hlavní přední kamera o vysokém rozlišení, která je doplněna dalšími dvěma kamerami, která mají za úkol snímat objekty ve větších vzdálenostech. Dále může být ve voze přítomna 360° kamera, ta však často bývá nahrazena softwarovým výpočtem z dostupných kamerových zařízení.

Výhody kamery jsou dobré rozpoznávání objektů, široké zorné pole a velký dosah. Další výhodou je fakt, že kamera neemituje žádný signál, který by mohl rušit ostatní snímače.

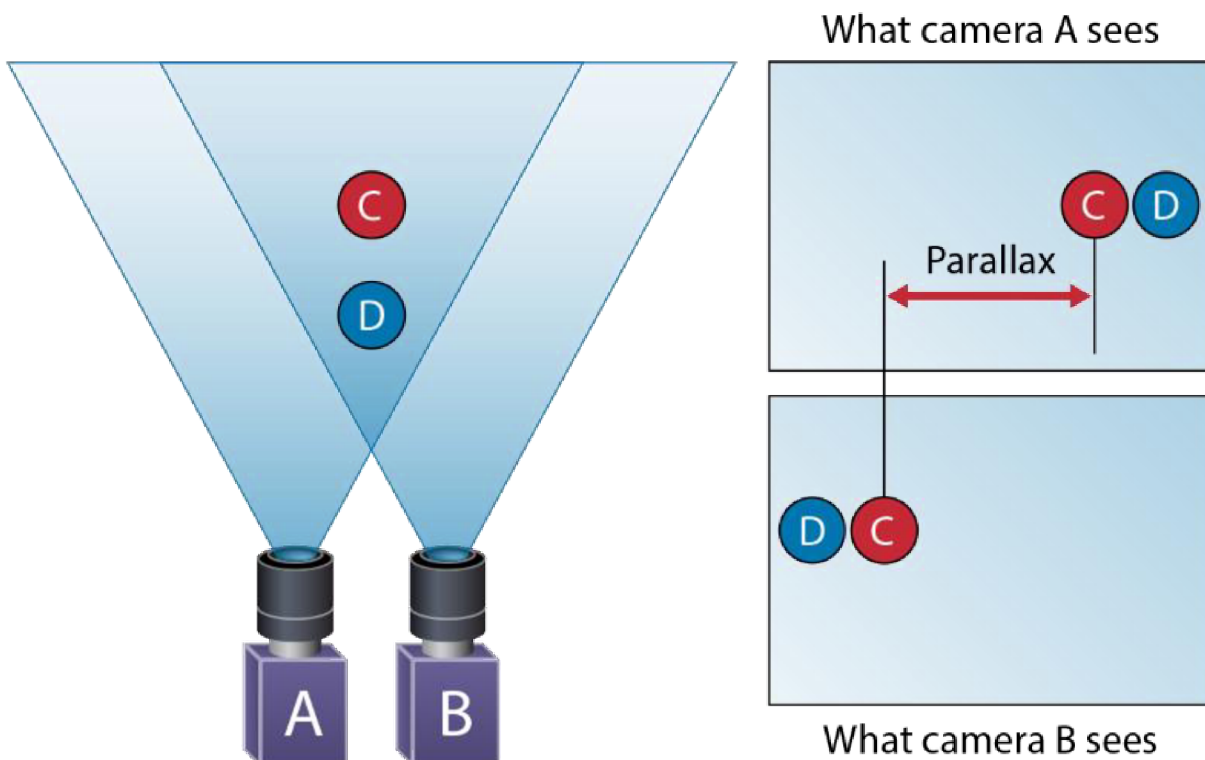
Nevýhodou je pak cena oproti konvenčním senzorům, obtížně měří vzdálenost, špatné rozlišovací schopnosti při horších povětrnostních a světelných podmínkách [12].

1.4.2 STEREOVIZE

Stereovize je dvojice kamer, které jsou vůči sobě umístěny v určité vzdálenosti a porovnávají následně svůj obraz. Stereovize zajišťuje detekci a rozpoznání překážek, detekci čar a 3D mapování.

Výhodou tohoto systému je zejména schopnost rozlišovat objekty (chodce, vozidla, značky apod.), vytvoření „plastičnosti“, kterou není obyčejná kamera schopna docílit. Při použití kamer s vysokým rozlišením pak velká vzdálenost, v které dokáže stereovize pracovat.

Mezi nevýhody patří velmi vysoká cena, špatné rozlišovací schopnosti ve špatném počasí a špatných světelných podmínkách [12].



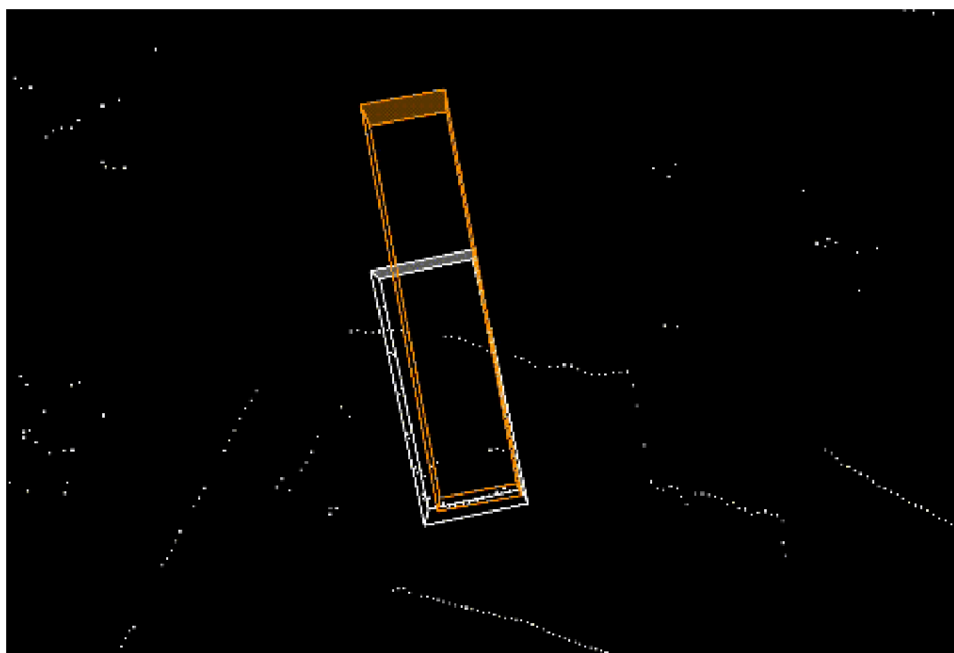
Obr. 6 Princip funkce stereovize [14]

1.4.3 LIDAR

LIDAR (Light Detection And Ranging) využívá laserový paprsek k detekci překážek, 3D mapování a detekci čar. Pod pojmem 3D mapování si můžeme představit to, že LIDAR dokáže určit na rozdíl od kamery i reálnou velikost předmětu, jeho rychlost a směr pohybu. Toto porovnání je znázorněno na obrázku níže. Samotná kamera nedokázala určit správně body, které „nevidí“. K určení správných rozměrů je proto nutná spolupráce s Lidarem (zde se konkrétně jedná od 3D datový soubor poskytnutý společností nuScenes Aptiv). Při noční jízdě pak zpracování samotnou kamerou bylo ještě horší, neboť bez spolupráce s LIDAREm by nedokázala rozpoznat jedoucího motocyklistu na skútru [15]. Jako zdroj světla může být používáno neviditelné infračervené nebo ultrafialové záření, existují však LIDARy které využívají viditelné části světelného spektra. Pracuje na principu měření času mezi vyslaným paprskem a dobou, kdy je od předmětů odražené světlo zachyceno snímačem. Vzdálenost určuje právě časový rozdíl mezi vyslaným a přijatým impulzem.

Mezi jeho hlavní výhodu patří rychlost, na rozdíl od snímačů, které používají zvuk (popsány níže) je totiž světlo řádově mnohokrát rychlejší, z toho plyne že jsou informace z okolí přijímány v mnohem menším časovém intervalu, tím pádem je k dispozici i velmi vysoká přesnost polohy objektů. Další výhody pak jsou přímé měření vzdálenosti a velké zorné pole.

Mezi nevýhody patří zejména omezená funkčnost ve špatném počasí a velmi špatné fungování na vzdálenosti menší než 2 metry [12], dále pak vysoká náročnost na použitý hardware, který zpracovává obrovské množství dat. S tím souvisí i vyšší cena jak už za samotný senzor, tak za další hardware nutný ke zpracování dat.



Obr. 7 Bílá barva LIDAR + video, oranžová barva pouze kamera [15]

1.4.4 RADAR

Radar je technologie založená na vysílání elektromagnetických vln. Při řízení autonomních vozidel se využívá pro detekci překážek.

Mezi jeho výhody patří zejména přímé určení vzdálenosti objektu, široké rozmezí vzdáleností, na které může radar pracovat. Radar také velmi dobře pracuje i za zhoršených povětrnostních podmínek a na rozdíl od kamer mu nevádí ani špatné světelné podmínky.

Nevýhody radaru jsou špatné rozpoznávání chodců a statických objektů. Vlivem interference také může dojít k více odrazů od stejného zdroje, což může způsobit chybu systému [13].

1.4.5 SONAR

Sonar používá zvukové vlny, využívá se pro detekci velmi blízkých překážek. Typicky se využívá jako parkovací asistent.

Výhody sonaru jsou především skvělá funkčnost na velmi malých vzdálenostech a to, že dokáže bez problémů fungovat i za špatného počasí. Nevýhodou je pak špatné fungování ve větších vzdálenostech [13].

1.4.6 SPOLUPRÁCE VŠECH SENZORŮ

Většina výrobců autonomních vozidel používá vlastní koncepční řešení celého systému i senzorů, proto se můžou jednotlivé uspořádání a použité senzory napříč automobilkami lišit (jak je například popsáno výše, jediná automobilka Audi využívá LIDAR). Na obrázku níže můžeme vidět senzory které jsou osazené na vozidle Tesla Model S. Je zde přehledně uvedeno, v jakých vzdálenostech pracují. Dobře je zde patrné i překrytí rozsahu senzorů.



Obr. 8 Spolupráce všech senzorů Tesla Model S [16]

1.5 LEGISLATIVA

Autonomní doprava v současné době čelí mnoha komplikacím. Technologie jako taková nepředstavuje největší potíže. Ty jsou zejména větší pořizovací cena vozidla, nedůvěřivost řidičů a v neposlední řadě také legislativa. Jako příklad může být uvedení vozidla Audi A8 na trh.

Audi A8 byla uvedena na trh v roce 2017, z důvodu legislativy však byly funkce autonomního řízení v Německu dostupné až od začátku roku 2019. Stejná situace nastala i na americkém trhu, kde musí být všechny autonomní systémy schváleny každým státem, kde bude takový automobil provozován. Audi proto do USA tyto vozy dodávala bez hardwaru a softwaru, který je nezbytný pro funkci autopilota. Společnost toto rozhodnutí odůvodnila výrokem, že vše, co se do vozidla přidá navíc, může vést k potenciálnímu selhání systému při autonomním řízení nižší úrovně. Rovněž by se zvýšily náklady na servisní údržbu [17].

Vzhledem k dlouhým soudním tahanicím, infrastrukturním a spotřebitelským faktorům je pravděpodobné, že Audi bude svého Autopilota nabízet až od modelového roku 2020 a výše [17].

Kromě právních restrikcí je pro Audi i velmi náročný vstup na americký trh. Na rozdíl od evropských zemí se totiž může jednotlivé dopravní značení v různých státech USA od sebe lišit. Jednou z nejvyšších investic je přitom správné naprogramování systému tak, aby i na odlišných vozovkách dokázal správně pracovat. (Cadillac těmto problémům předešel tím, že zmapoval dálniční síť v USA, to však vyžadovalo velmi časově náročný sběr a zpracování dat).

Někteří odborníci si dokonce myslí, že komerčně dostupné automobily se stupněm automatizace 3 nejsou dobrý nápad. Řidiči totiž často nedbají vyzvání automobilu, aby převzali řízení. Tvrdí, že dokud se nedosáhne plné automatizace, tedy aspoň stupně 4, bude každý mezistupeň potencionální riziko a nebude tak vést k plošnému snížení nehod, tak jak se k zavedení autonomních vozidel přistupuje.

Může nastat mnoho případů, kdy může dojít k nehodě při jízdě autonomních vozidel, to je vlastně důvod, proč je legislativa kolem autonomních vozidel natolik složitá [18].

Je nutné pamatovat, že při jízdě autonomním vozidlem lidé nemusí plně věnovat kontrolu řízení. Může také nastat situace kdy vůz v autonomním režimu bude vyžadovat ihned zásah řidiče, to může být problém například u osob se sníženou pohyblivostí a podobně.

Při jízdě v klasickém konvenčním automobilu jde vina za způsobenou nehodu vždy za řidičem, nikdy ne za společností, která automobil vyrobila. Autonomní řízení je však stále nová technologie a může se tak porouchat na různých úrovních. Může nastat klasická mechanická porucha, ta může být však poměrně snadno dokazatelná. Horší je to v případě nepředvídaných reakcí softwaru, který nemusí správně vyhodnocovat podmínky ze všech senzorů. Dalším potencionálním problémem může být případ, kdy vozidlo rozpozná nebezpečí, řidič však nebude schopný dostatečně včas reagovat na vzniklou situaci a už nedokáže odvrátit dopravní nehodu.

Z nejen výše popsaných důvodů je zřejmé, že legislativa je velký problém, s kterým se potýkají jak samotní výrobci, tak celé země, popřípadě regiony, v kterých má být spuštěn provoz autonomních vozidel.

2 MODEL PRO AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ

Testování autonomních systému na osobních automobilech je velmi finančně i časově náročné. Proto se jeví výběr zmenšeného modelu jako dobrá alternativa. Z finančního hlediska odpadá pořízení samotného automobilu, z toho časového jde o úsporu hlavně v oblasti montáže senzorů a ověřování funkčnosti navrhnutého softwaru.

2.1 VÝBĚR MODELU PRO AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ

Jedním z klíčových rozhodnutí je vybrání vhodného RC modelu pro přestavbu. Na trhu je nepřehledné množství variant, co se týče karoserie, typu pohonu, výkonem motorů nebo kapacitou akumulátorů.

Vhodný model by měl splňovat tyto kritéria:

- Vhodný zástavbový prostor
- Snadná modifikace
- Dostupnost náhradních dílů
- Příznivá cena
- Měřítko 1:10

Zástavbový prostor je důležitý z hlediska umístění platformy pro řízení. To znamená vhodné místo pro uložení vývojové desky, snímačů a aktuátorů.

Vzhledem k tomu, že model bude v budoucnosti modifikovaný a budou přidány dodatečné senzory, je nutné, aby tato úprava byla snadná. Přednost dostali šroubové spoje namísto plastových částí nalisovaných do sebe. Dále také modely s pohonem dvou kol nebo s možností odebrání kardanu.

Ne každá změna modelu může vést správným směrem, proto je důležité, aby byly dostupné náhradní díly v co největší míře.

Model bude v budoucnosti nejspíše sloužit jako vstupní platforma pro další testování. Proto je výhodnější vybírat z větších modelů. Menší modely by mohly mít problém unést potřebné senzory a aktuátory.

Jedním z kritérií je pak samotná cena modelu.

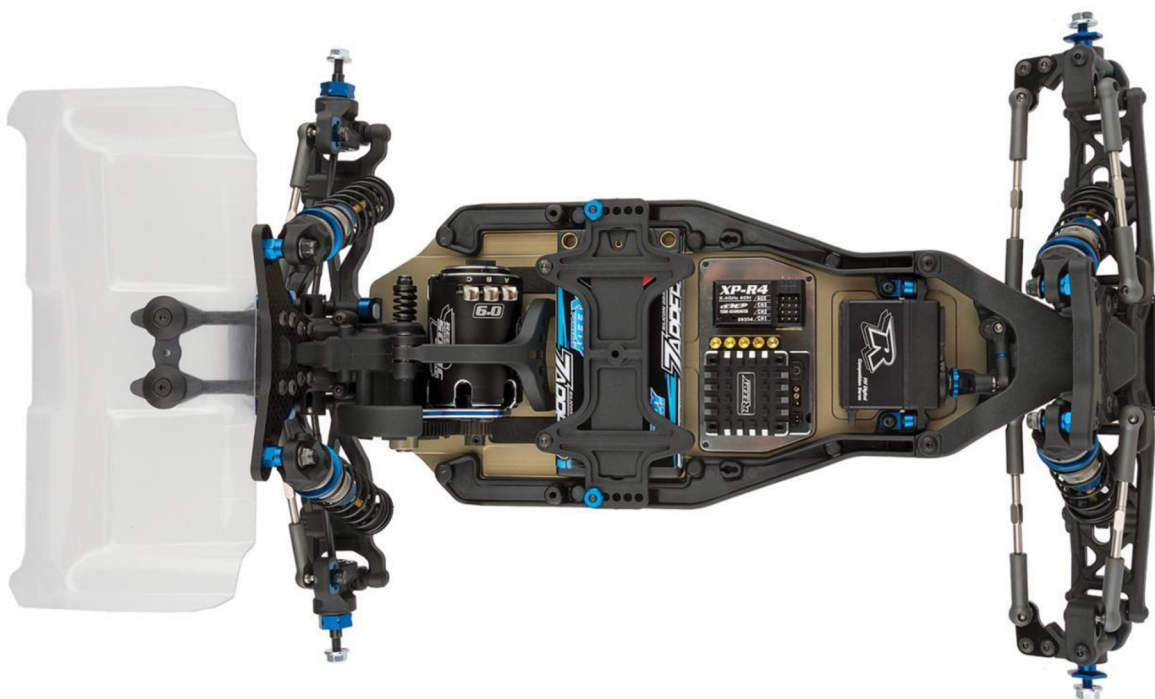
Po stanovení si kritérií, jaké by měl výsledný model splňovat, byl učiněn výběr modelů. Výše zmíněná kritéria splnilo více modelů, které byly následně porovnány mezi sebou.

2.2 RC10B6.1 TEAM KIT

RC10B6.1 Team Kit je stavebnicí od výrobce Team Associated s poháněnou zadní nápravou. Protože se jedná o kompletní stavebnici, nabízí skvělou možnost modifikace již při samotné stavbě modelu. Zároveň je zde velice elegantně řešen vnitřní prostor, který je velmi prostorný a vhodný pro umístění platformy pro řízení. Team Associated je renomovaný výrobce a nabízí velké množství originálních náhradních dílů v prodejnách s RC modely. Jedná se ale pouze o šasi bez jakékoliv elektroniky a kol včetně pneumatik, všechny tyto díly by se musely dokoupit. Tím rapidně narůstá už tak vysoká cena modelu. To jediné se však může tomuto modelu vytknout.

Tab. 2 Výhody a nevýhody modelu RC10B6.1 Team kit

RC10B6.1 team kit	
Cena: 8002 Kč	
+	-
Dostupnost dílů	Cena
Vnitřní prostor	
Snadná úprava	



Obr. 9 Stavebnice Team Associated RC10B6.1 Team Kit [19]

2.3 BXR.S1

BXR.S1 jedná se o výrobek společnosti Hobbytech, který je takzvaný „RTR“ model – Ready to race. To znamená, že veškeré příslušenství a elektronika potřebná ke zprovoznění modelu je součástí balení. Není tak zapotřebí další investice pouze do dílů, nezbytně nutných pro pohon auta. Snadná dostupnost náhradních dílů je samozřejmostí. Nevýhodou tohoto modelu byl shledán velmi nevhodně řešený vnitřní prostor. Velmi obtížně by se zde uchycovala vývojová deska. Z dostupných materiálů také není jasné, jestli půjde modifikovat pohon pouze na jednu nápravu. Jako další nevýhodu můžeme uvést cenu, která není tak vysoká jako v případě kompletní stavebnice, protože tento RC model zahrnuje už náklady na pořízení elektroniky.

Tab. 3 Výhody a nevýhody modelu BXR.S1

BXR.S1	
Cena: 6641 Kč	
+	-
RTR	Vnitřní prostor
	Cena
	Modifikovatelnost



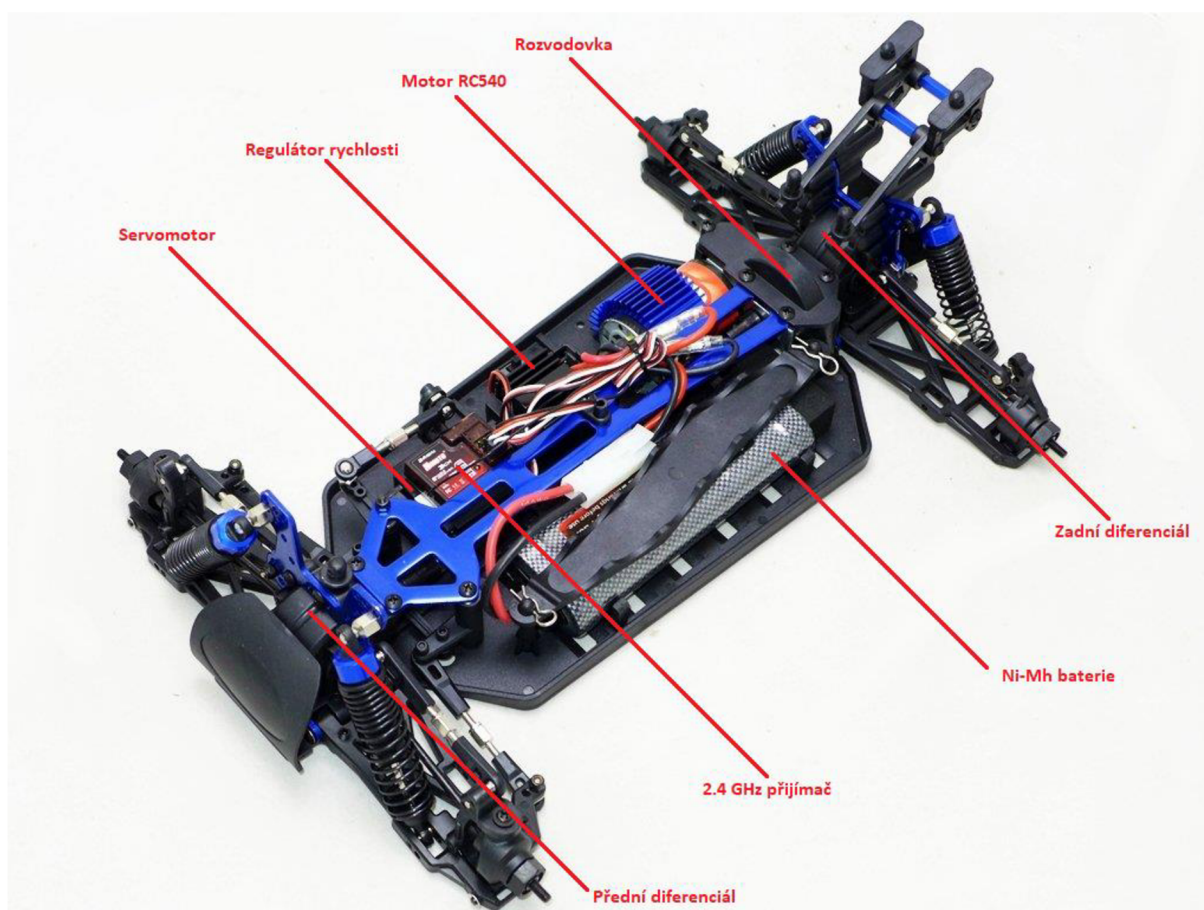
Obr. 10 RTR model BXR S1 [20][20]

2.4 ZMOTO Z3

Model s pohonem všech čtyř kol od výrobce HIMOTO ve verzi RTR, odpadá tedy nutnost nákupu dalších komponentů pro řízení vozidla. Komponenty jsou uvnitř vhodně rozmístěné, a i bez úprav je možná implementace řídicí desky. Motor je v zadní části auta, jeho výstup jde přímo do skříně rozvodovky. Odtud je vyveden kardan do předního diferenciálu. Kardan je pouze na závlačkách, takže lze snadno demontovat.

Tab. 4 Výhody a nevýhody modelu ZMOTO Z3

ZMOTO Z3	
Cena: 3791 Kč	
+	-
RTR	
Cena	
Snadná úprava	



Obr. 11 RTR Model HIMOTO ZMOTO Z3 [21]

Nejlépe všem podmínkám vyhovuje model ZMOTO Z3, který ani v jednom hodnoceném kritériu nepropadnul. V jeho prospěch také hraje velice příznivá cena. Byl proto vybrán jako nejvhodnější model pro tuto diplomovou práci.

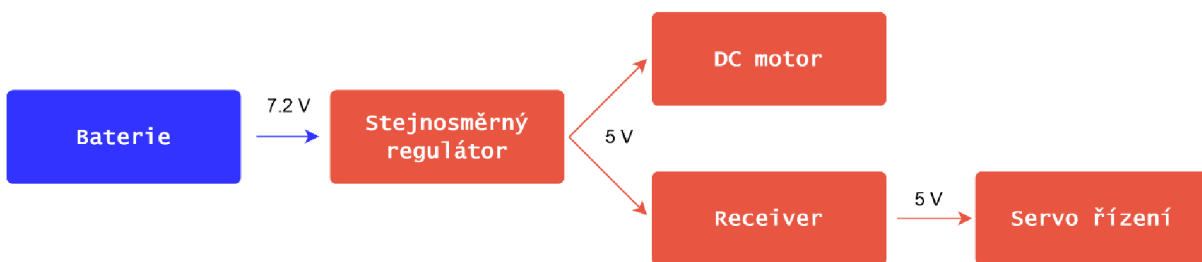
3 ANALÝZA RC MODELU ZMOTO Z3

RC model ZMOTO Z3, jak už je zmíněno výše, je v konfiguraci RTR. Elektronika nutná pro řízení auta je tedy součástí balení. Bylo by zbytečné nahrazovat již funkční komponenty, a proto je logické v maximální možné míře zachovat hardware, který byl zakoupený přímo s modelem.

Protože bude model řízen pomocí mikrokontroleru, je nutné zjistit, jakým způsobem jsou přenášena data od vysílačky k řízeným akčním členům. Za účelem zjištění jízdní dynamiky je provedena základní analýza podvozku.

3.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ MODELU

Níže je zobrazeno schéma zapojení modelu. Důležité je mít na paměti, že baterie, která model napájí má provozní napětí 7,2 V – 10,8 V, je proto nezbytný stejnosměrný regulátor napětí k tomu, aby bylo možné napájet ostatní komponenty modelu. Z regulátoru je napětí přivedeno přímo na DC motor a na tří kanálový přijímač. Ten se potom stará o distribuci 5 V napětí.



Obr. 12 Schéma zapojení modelu

V základním zapojení je signál z vysílačky zpracován pomocí přijímače a následně přeposlán k akčním členům. Obecně jsou možné dvě varianty ovládání, jde o analogové a digitální řízení. V tomto případě je model řízen pomocí digitálního PWM signálu.

3.2 PWM (PULSE WIDTH MODULATION) SIGNÁL

Pulse Width Modulation (PWM) signál je metoda generování analogového signálu použitím digitálního zdroje. PWM signál se skládá ze 2 hlavních složek, a to duty cycle (anglicky ekvivalent českého „střída“) a frekvence signálu.

Duty cycle popisuje čas, kdy je signál ve stavu high, tedy na „vysoké“ úrovni, jako procento celkové doby, která je potřeba k dokončení jednoho cyklu. Cyklus, kdy dojde k přenosu jednoho duty cycle se nazývá perioda.

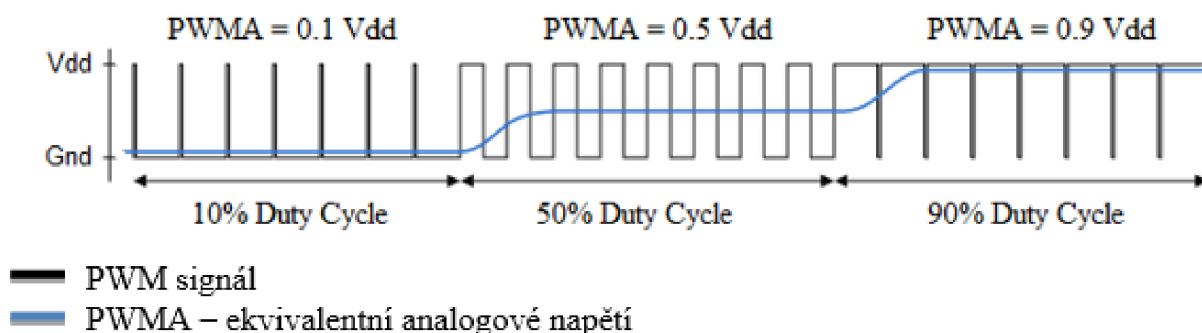
Frekvence popisuje, jak rychle PWM dokončí jeden cyklus, tedy jak rychle je přepnuto mezi stavem vysokou a nízkou úrovní signálu. Dostatečně rychlým spínáním digitálního signálu s přesně stanoveným duty cycle se výstup signálu podobá konstantnímu analogovému signálu, který by ovládal zařízení [22].

Pro vytvoření napětí 0,9 V může digitální zdroj použít pouze hodnoty vysoké úrovně signálu, která odpovídá 1 V nebo nízkou hodnotu, která odpovídá 0 V. Pro vytvoření analogového napětí

0,9 V je tedy použitý 90 % duty cycle. Pokud je digitální signál spínán dostatečně rychlou frekvencí, tak se na výstupu jeví jako spojitý analogový signál. Pokud je nízká úroveň rovna napětí 0 V (ve většině případů), tak průměrné analogové napětí je vypočítáno podle vztahu:

$$U_A = U_H \times DUTY \quad (1)$$

Kde U_A je analogové napětí na výstupu, U_H je napětí vysoké úrovně signálu a DUTY poměr signálu ve vysokém stavu vůči celkové periodě signálu.



Obr. 13 Průběh PWM signálu a závislost analogového napětí [23]

3.3 KINEMATICKÉ PARAMETRY MODELU

Základní kinematické veličiny modelu jsou důležité k získání informací o pohybu vozidla. Pomocí známých vztahů tak lze dopočítat poloměr otáčení a rychlost vozidla.

Tabulka 5 Kinematické parametry modelu

Rozchod [mm]	225
Rozvor [mm]	275
Průměr ráfku [mm]	62

3.4 PWM SIGNÁL SERVOŘÍZENÍ

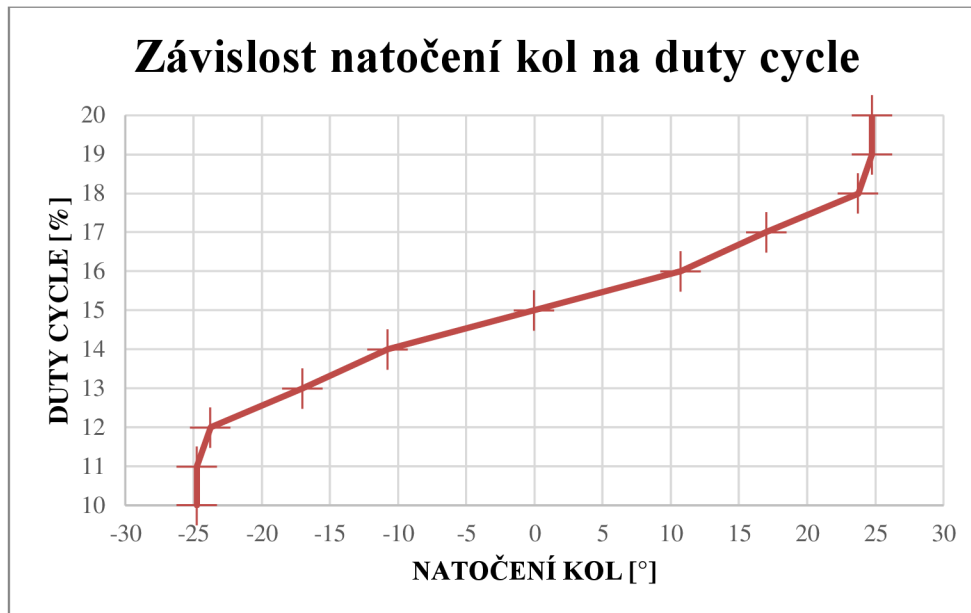
Parametry PWM signálu byly zjištěny pomocí osciloskopu, který byl připojen mezi vysílač a servořízení. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafu.

Tab. 6 Parametry PWM signálu servořízení

	PWM signál řízení
Frekvence [Hz]	100
Amplituda napětí [Vpp]	2,8
Duty cycle [%]	Viz graf č.1
Typ [-]	čtvercová vlna

Ze závislosti je patrné, že rozsah hodnot duty cycle pro řízení natočení kol je od 10 % do 20 %. Kdy 10 % duty cycle odpovídá kolům plně natočeným doprava, 20 % duty cycle pak odpovídá kolům plně natočeným doleva. Při hodnotě 15 % je natočení kol v neutrální pozici.

Graf 1 Závislost natočení kol na duty cycle



Ze změřené závislosti natočení kol na duty cycle je patrné, že servomotor řízení má velice úzké rozmezí hodnot, v kterých pracuje. To je poměrně nevýhodné z pohledu regulace natočení kol, kdy i malá změna PWM signálu znamená výraznou změnu na natočení kol.

Mezi hodnotami duty cycle 12 až 18 % má závislost téměř lineární průběh. V hodnotě 11, potažmo 19 % dosahuje natočení kol maxima, které se při maximální hodnotě signálu jen nepatrně zvýší.

Tento fenomén je způsoben tím, že při hodnotě 19 % duty cycle je dosaženo maximálního natočení z pohledu kinematiky modelu, při zvýšení hodnoty duty cycle na 20 % se tak už jen v podstatě vymezí značné vůle v modelu, nedojde ale už ke zvýšení úhlu natočení kol jako takového.

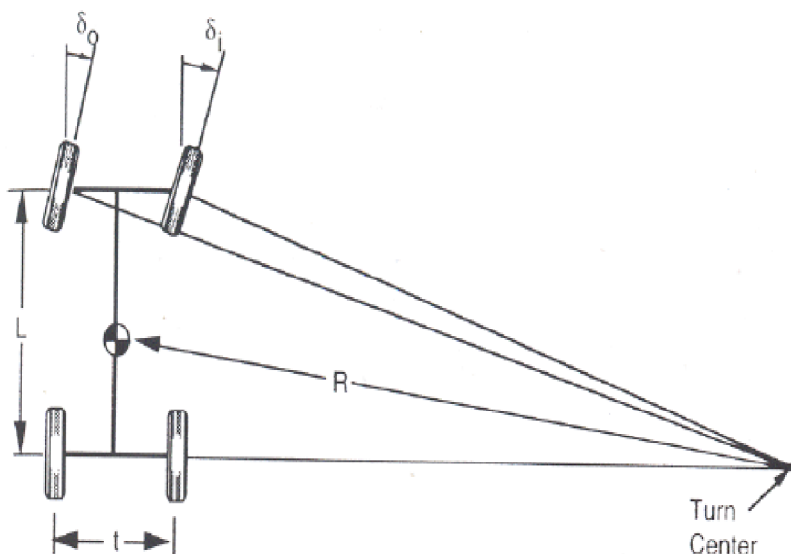
3.5 POLOMĚR OTÁČENÍ

Pro ovládání autonomního řízení je výhodné znát poloměr otáčení vozidla pro různé úhly natočení kol. Výpočet poloměru otáčení vychází z Ackermanovi teorie řízení. Ta je obecně použitelná pouze při malých rychlostech. Předpokládá se, že pneumatiky nepřenáší boční sílu, kola se tedy odvalují bez smýkání (bez vzniku směrové úchylky). Střed otáčení musí být na průmětu osy zadní nápravy. Kolmice předních kol musí procházet středem zatáčení. To vše model při modelování autonomního řízení bude splňovat.

Ackermanův úhel (průměrný úhel předních kol):

$$\delta = \frac{L}{R} \quad (2)$$

Výpočty se obecně dají udělat dva, a to takzvaný Curb-to-curb radius, který si můžeme představit jako poloměr, který opíše pneumatika. Karoserie je ale na kružnici vzdálenějším bodem, toto zohledňuje druhý výpočet Wall-to-wall radius. Zde je použit výpočet Curb-to-curb radiusu.

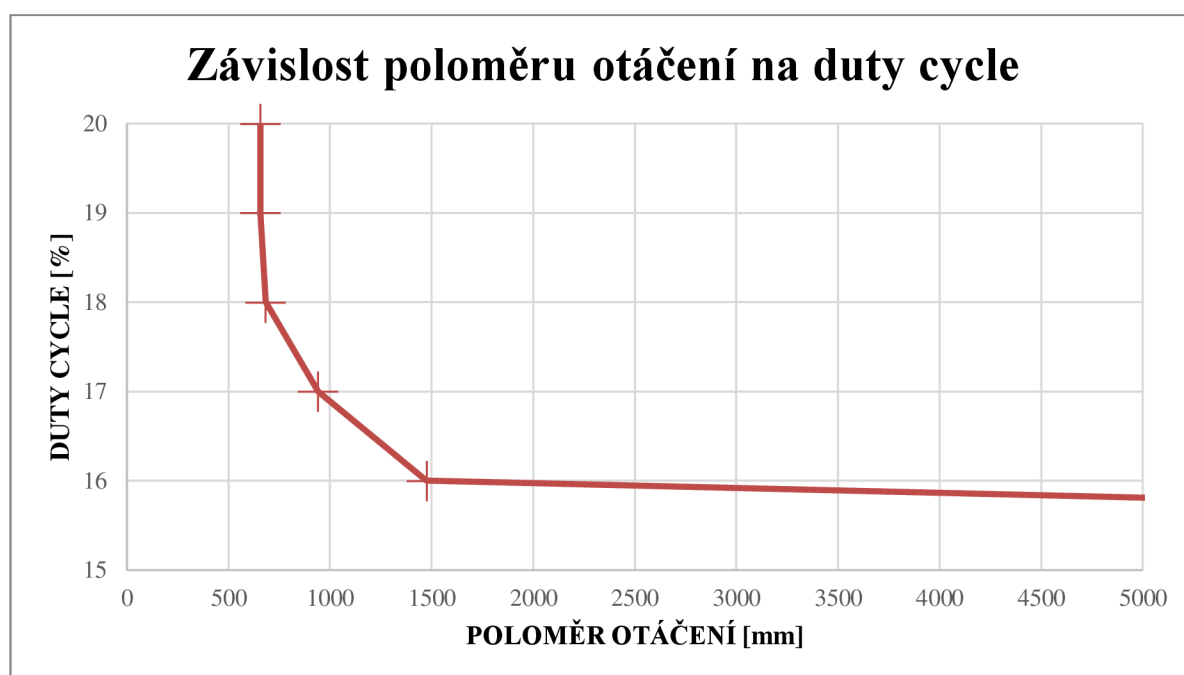


Obr. 14 Zatáčení při nízké rychlosti [25]

Měření této závislosti probíhalo pomocí Simulinku, kdy byl na výstup z mikrokontroleru převeden PWM signál a daném duty cycle. Poté byl odměřen úhel obou předních kol a vypočítán jejich průměr δ . Poloměr otáčení se potom vypočítá podle Ackermanovi rovnice.

V grafu závislosti průměru otáčení lze opět pozorovat, téměř totožné hodnoty poloměru otáčení pro hodnoty duty cycle 19 a 20 %. Jak je zmíněno výše, je to způsobeno dosažením maximálního natočení z pohledu kinematiky modelu a dále už jen vymezení vůlí v řízení. Protože je kinematika pro obě strany natočení symetrická, je graf vynesena pouze v jednom směru.

Graf 2 Závislost poloměru otáček na duty cycle



3.6 PWM SIGNÁL OTÁČEK MOTORU

Pro zjištění parametrů PWM signálu pro řízení motoru byl použit stejný postup. Sonda osciloskopu byla připojena mezi výstup z vysílače a vstup do regulátoru otáček.

Tabulka 7 Parametry PWM signálu motoru

	PWM signál řízení
Frekvence [Hz]	100
Amplituda napětí [Vpp]	2,8
Duty cycle [%]	Viz graf č.3
Typ [-]	čtvercová vlna

3.7 RYCHLOST MODELU

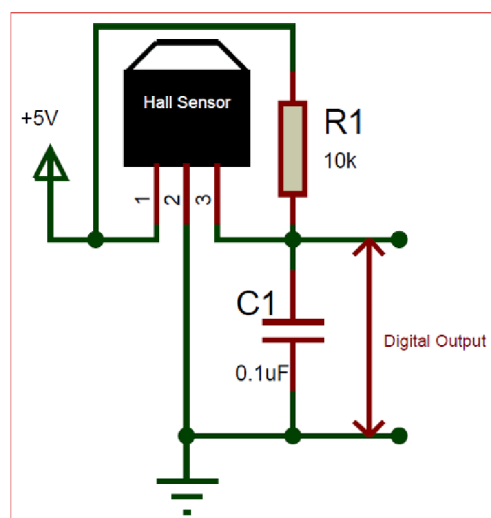
Stejně tak jako poloměr otáčení se dá rychlost modelu mnohem lépe zpracovat při modelování jízdy.

Vypočítat rychlost vozidla lze více způsoby. Jedním z nich je snímání otáček stejnosměrného motoru, který pohání model a přes celkový převodový poměr dopočítat otáčky kol. To je ale kvůli konstrukci motoru poměrně náročné.

Další možností je využít přímo otáček kol. U tohoto měření bude využito Hallova jevu, kdy jsou na kole osazeny magnety a pomocí mikrokontroleru zpracováván signál z Hallova senzoru.

Konkrétně je použit unipolární Hallův senzor TLE4905L. Snímač má digitální výstup a hodí se pro snímání střídajícího magnetického pole.

Pokud snímač detekuje magnetické pole, jeho výstup je na úrovni low, v opačném případě zůstává ve stavu high. Je nutné použít pull up rezistor k udržení výstupu na high úrovni, pokud chceme, aby výstup zůstal v tomto stavu i když není magnetické pole detekováno. Pokud by tento rezistor nebyl zapojen, výstup by nezůstal ve stavu high, když by kolo mělo nulové otáčky. [26]



Obr. 15 Schéma zapojení Hallova snímače [26]

Použity jsou neodymové magnety o rozměrech 2,5x1 mm. Ty jsou nalepené na ráfku RC modelu. Pro správnou funkci je důležité, aby všechny magnety měly stejnou polaritu. Pokud by byly některé nalepeny opačně, senzor nebude snímat jejich magnetické pole. U některých typů senzorů by mohlo dojít dokonce k jeho poškození.



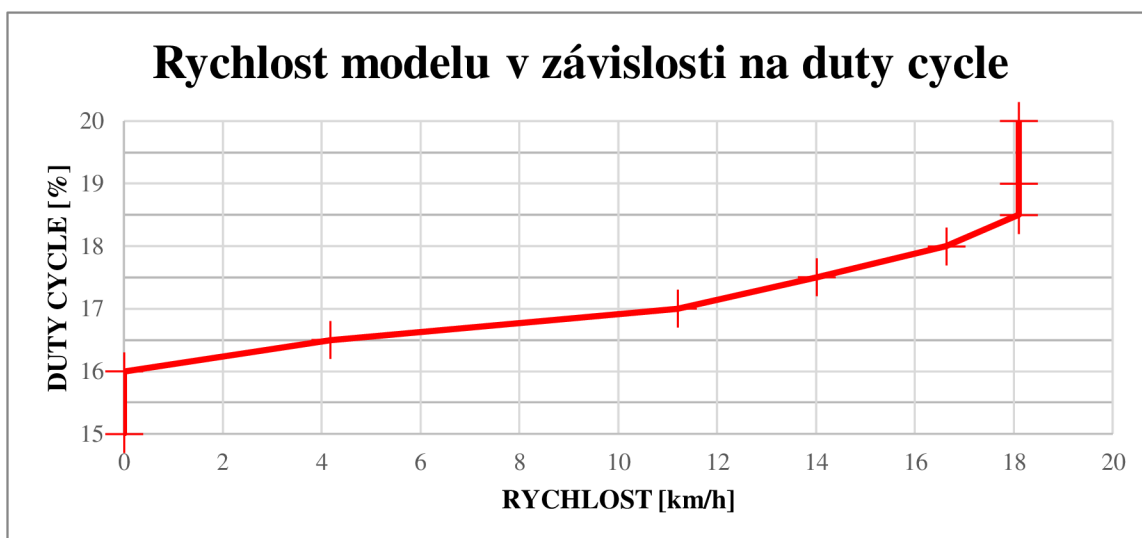
Obr. 16 Ráfek kola s neodymovými magnety

Rychlost modelu se vypočítá z obvodové rychlosti ráfku, na kterém jsou nalepené magnety podle vztahu:

$$v = \frac{n D \pi}{60} \quad (3)$$

V závislosti rychlosti na duty cycle je vidět, že do 16 % duty cycle je rychlost nulová. To je způsobeno tím, že motor nemá dostatečný krouticí moment na překonání odporů v hnacím ústrojí. Od hodnot 16,5 % až 18,5 % lze pozorovat poměrně lineární průběh zrychlování. Od hodnoty 18,5 % však nastává maximum rychlosti, které se nemění až do hodnoty maximální hodnoty duty cycle, která je 20 %. Maximální rychlost, kterou model při tomto koncovém převodu dokáže vyvinout je lehce přes 18 km/h. Tento fenomén je možné odstranit snížením odporů v hnacím ústrojí.

Graf 3 Rychlost modelu v závislosti na duty cycle



4 MIKROKONTROLER

Výběr mikrokontroleru, potažmo vývojové desky je pro tuto práci velmi důležitý. Existuje více možností, kterými se lze při výběru platformy vydat. Jednou z nich je vyvinout vlastní platformu, která by byla postavena na komerčně dostupných procesorech. To je jak časově, tak finančně ale mnohem nákladnější, navíc pro projekt tohoto rozsahu není potřeba vyvíjet vlastní řešení vývojové desky. Proto se nabízí druhá varianta o to využít komerčně dostupných vývojových desek.

Vhodná vývojová deska by měla splňovat tyto kritéria:

- Dostatečný výpočetní výkon
- Možnost programování v Simulinku
- Dobrá konektivita
- Digitální vstupy a výstupy
- Cena

Dostatečný výpočetní výkon je klíčový pro zajištění dobré odezvy celého systému. Některé platformy sice nabízejí dostatečný výpočetní výkon, ale pouze v případě, že jsou programovány v jazyce C.

Dalším kritériem souvisejícím s dostatečným výpočetním výkonem je možnost programování v Simulinku. Simulink je v dnešní době velmi populární systém na tvorbu simulací i ovládání embedded systému třetích stran. Samotný program disponuje velkým množstvím toolboxů, které jsou schopny například zpracovávat obraz, popřípadě se zabývají jízdní dynamikou vozidel. Využití těchto toolboxů se tedy přímo nabízí v budoucím rozšiřování této práce.

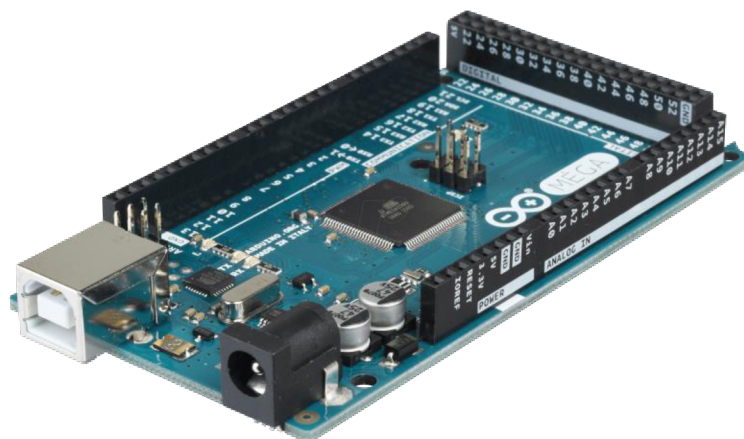
Dobrá konektivita systému je významná z hlediska rozšiřování o další periférie. Naprostou nezbytností je přítomnost CAN sběrnice, která je v automobilním průmyslu velmi využívána. Některé platformy jsou sice schopny číst CAN zprávy, potřebují k tomu ale další zařízení. Výhodou je tedy, když bude CAN rozhraní obsahovat přímo vývojový kit.

Digitální vstupy a výstupy jsou pak nezbytnou součástí vývojové desky pro ovládání periférií jako jsou serva, motory a jim podobné aktuátory. Jsou také zapotřebí pro zpracování vstupních signálů.

Posledním kritériem je pak cena. Jednotlivé vývojové platformy se dají pořídit v řádech od stovek do tisíců korun.

4.1 ARDUINO MEGA 2560

Arduino MEGA 2560 je populární platforma na vývoj řídicích systémů. Deska obsahuje velké množství analogových i digitálních vstupů, v případě digitálních se jedná i o výstupy. Pro ovládání vnějších periférií zajišťuje ovládání pomocí PWM výstupů. Tato vývojová deska se v průběhu vývoje ukázala nevhodná z důvodu nedostatečného výpočetního výkonu, když byl program kompilován z LabView a nemožnosti programování z prostředí Simulink.



Obr. 17 Vývojová deska Arduino MEGA 2560 [27]

Specifikace [28]:

Processor: ATmega2560

Taktovací frekvence: 16 MHz

Vstupní napětí: 7-12 V

Digitální I/O: 70

Analogové vstupy: 16

Flash paměť: 256 kB

Komunikace: SPI, I2C, UART

4.1.1 ARDUINO IDE

Arduino IDE je vhodné pro velmi jednoduché programy, které zde jdou velmi rychle a efektivně vytvořit, jejich kompilace a nahrání trvá zlomek toho co v Simulinku. Po nainstalování není nutné žádných dalších aplikací pro správnou komunikaci s Arduino deskami. Největší problém může být vyhledání správného typu knihoven pro zařízení, které jsou připojeny k Arduino.

Jednotlivé dílčí programy, jako například ovládání serva a motoru, jdou ovládat pomocí vestavěného komunikačního kanálu. Při skládání dílčích programů do jednoho většího, který by obsluhoval všechny periferie, ale nastává problém v nepřehlednosti programu. Z tohoto důvodu byla realizace celého projektu v prostředí Arduino IDE zavrhnuta a byl zvolen přechod na výkonnější software.

4.1.2 LABVIEW

LabView bylo zvoleno, protože v době psaní této práce byl Simulink add-on pro práci s Arduinem nestabilní a platforma Arduina se tak stala pro práci se Simulinkem nepoužitelnou. Nastává už složitější zprovoznění vývojové desky. Samotná kompilace a nahrávání programu do Arduina také trvá déle než při programování v Arduino IDE. LabView nabízí pro Arduino dva plug-iny. Jedná se o Arduino Toolkit a LINX.

LINX je plug-in, který je určen pro ovládání různých mikrokontrolerů, nejen Arduina. Jako slabinu LINXu byl shledán výběr hardwaru, který se musí volit pokaždé, když se výsledný program nahrává do zařízení. Ten navíc potřebuje svůj zavaděč, který musí být nahrán přes Arduino IDE. Výsledné nahrání programu je tak značně komplikované. Jakýkoliv složitější

program navíc způsobuje to, že odezva zařízení je velmi pomalá, a to například tak jednoduchý program jako je zobrazování vzdálenosti z HC-SR04 senzoru a generování PWM signálu.

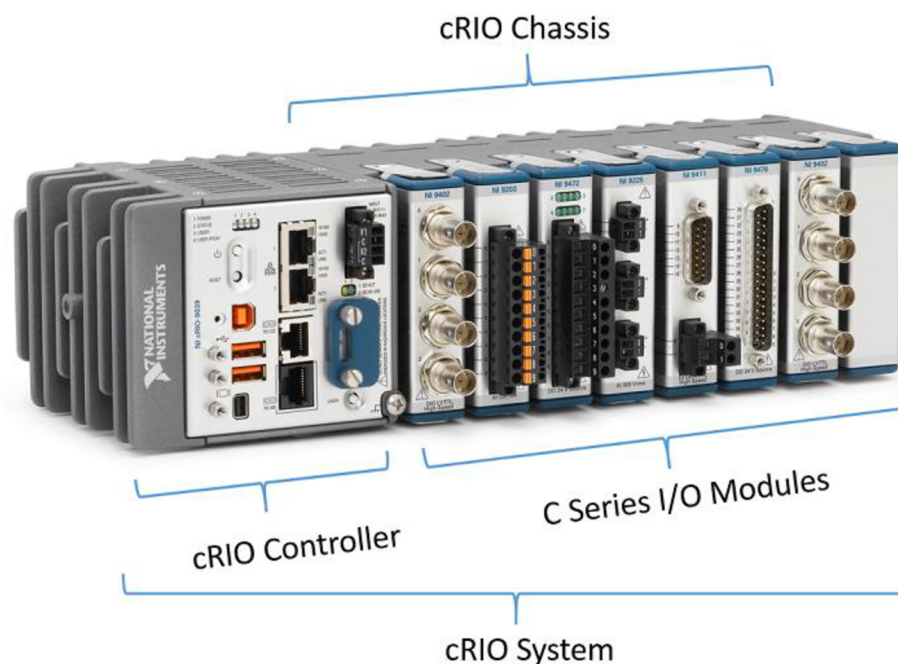
Tento jev je pravděpodobně způsoben buď nedostatkem výpočetního výkonu Arduino desek nebo neefektivním zkompilováním kódu pro potřeby Arduina, případně kombinací obou zmíněných důvodů.

4.2 HARDWARE SPOLEČNOSTI NATIONAL INSTRUMENTS

Společnost National Instruments má na trhu svůj vlastní hardware. Omezení v tomto případě je, že veškerý hardware National Instruments je pevně svázaný s používáním LabView jako programovacího jazyku. To by v počátečních fázích tohoto projektu nemusel být velký problém, nicméně s komplexností projektu a použitím reálných autonomních senzorů na bázi LIDARu a kamer, by mohlo dojít k potížím se zpracováním signálu těchto senzorů.

4.2.1 cRIO

Pokud pomineme programovací prostředí, nabízí NI velké množství modulárních stavebnic pod názvem CompactRIO. Jedná se o zařízení určené především jako průmyslové počítače, které splňují všechny průmyslové požadavky a normy. CompactRIO může být doplněno o moduly které měří napětí a elektrický proud, stejně tak jako mnoho dalších neelektrických veličin. Samozřejmostí jsou různé komunikační moduly. O výpočetní výkon zde není nouze, neboť jsou všechny CompactRIO moduly vybaveny minimálně dvoujádrovým procesorem Intel Atom o taktu 1,3 GHz [29].



Obr. 18 Systém cRIO [30]

Pro účely tohoto projektu není však CompactRIO vhodné. Jedná se totiž o velmi robustní a těžký systém, pro který na RC modelu jednoduše není zástavbový prostor. Navíc je zde velmi vysoká pořizovací cena.

4.2.2 MYRIO

Jako levnější alternativou cRIO může být vývojová deska myRIO. Primárně se jedná o učební pomůcku, která disponuje v základu analogovými a digitálními vstupy i výstupy. Komunikace s deskou probíhá prostřednictvím sériové linky. K dispozici jsou také rozšiřující shieldy, které však nejsou pod oficiální distribucí NI. Výpočetní výkon se dá předpokládat velmi slušný, je zde osazený dvoujádrový procesor Xilinx Z-7010 o taktu 667 MHz [31]. Pořizovací cena tohoto zařízení je však stále vysoká, navíc nespĺňuje požadavek na konektivitu se Simulinkem a tak i tato deska vypadává z výběru.



Obr. 19 Embedded systém MyRIO [31]

4.3 TEXAS INSTRUMENTS LAUNCHXL-F28379D

Mikrokontroler je osazen procesorem, který je vhodný na použití v průmyslu, proto je k němu i volně dostupný profesionální softwarový nástroj, a to Code Composer Studio, kde se mikrokontroler programuje pomocí jazyka C. V této diplomové práci je ale využita plná kompatibilita vývojové desky s prostředím Simulink. Specifikace hardwaru pocházejí z informačních zdrojů [32] a [33].

Specifikace:

Procesor: 2 procesory TMS320C2839D (32 bitový procesor)

Taktovací frekvence: 200MHz

Vstupní napětí: 5V

Digitální I/O: 57

Analogové vstupy: až 4 12/16 bitové (softwarově přepínatelné)

Flash paměť: 1MB

Komunikace: 2 CAN, 3 SPI, 4 SCI/UART, 2 I2C

4.3.1 GPIO

Tento embedded systém obsahuje velké množství digitálních pinů GPIO (General Purpose Input and Outputs), které se dají softwarově nastavit jako vstupní anebo výstupní. To je nutné pro zpracování signálu ze senzorů nebo ovládání výstupních zařízení. Deska také nabízí možnost napájení 5 V a 3,3 V stejnosměrného napětí. Většina těchto pinů se dá nastavit na alternativní funkce, ty nejdůležitější jsou popsány níže.

4.3.2 ENHANCED PWM (EPWM)

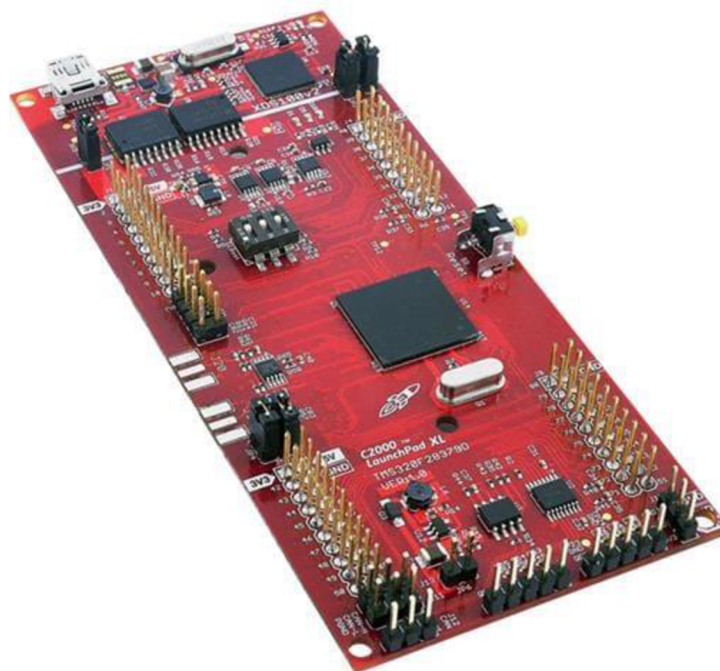
Tato periferie umožňuje generovat PWM signál, který se používá k ovládání velkého množství průmyslových elektrických systémů. Pomocí ePWM výstupu je v tomto případě ovládán tzv. Trigger port ultrazvukového senzoru vzdálenosti. Tato deska nabízí dohromady 12 ePWM výstupů.

4.3.3 ENHANCED CAPTURE (eCAP)

Vývojová deska disponuje 6 eCAP moduly. Tyto moduly jsou využívány pro přesné měření času, které způsobuje externí přerušení. Modulem eCAP je snímána perioda a duty cycle PWM signálu, který je vysílán z vysílačky, popřípadě pomocí zařízení PEAK CAN z prostředí Simulinku. Dále je pomocí tohoto modulu ovládané servo a motor, a to v softwarově přepínatelném režimu APWM, kdy jsou tyto moduly schopny pracovat jako generátory PWM signálu.

4.3.4 eCAN

Obrovskou výhodou tohoto zařízení je přítomnost CAN rozhraní, přes který lze s deskou komunikovat i jiným způsobem než jen přes sériovou linku. Tohoto je využíváno při komunikaci v rozhraní Simulink.



Obr. 20 Vývojová deska TI LaunchXL-F28379 [32]

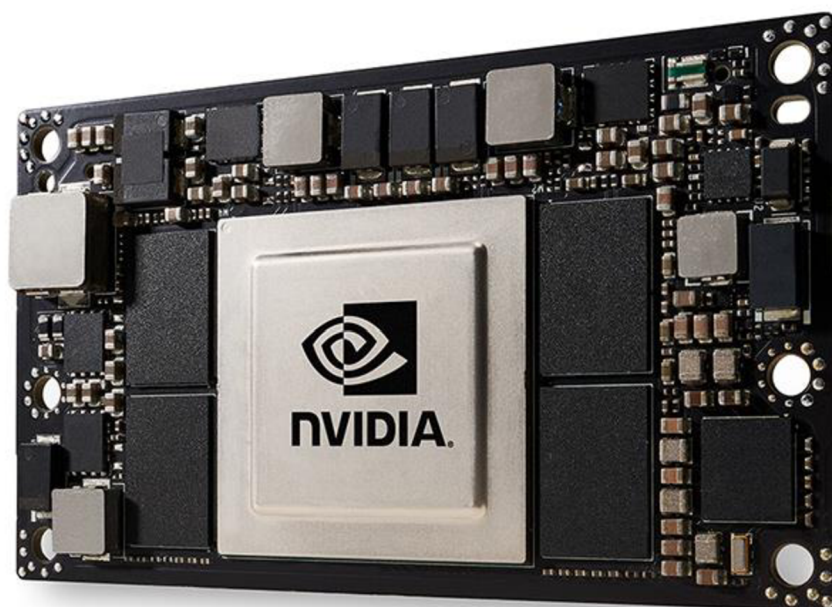
4.4 NVIDIA JETSON MODULE

Společnost NVIDIA, která je jeden z lídrů na poli grafických karet a zpracování vizuálního signálu, nabízí vlastní embedded systém v řadě Jetson.

Zařízení jsou velmi malá (rozměry zhruba kreditní karty) a tak se výborně hodí pro aplikaci na RC modelu. Zároveň jsou poměrně málo energeticky náročná. Zařízení v sobě obsahují výkonné procesory a grafické karty, které jsou schopné už v základní konfiguraci provést až 472 GFLOPS operací. Jsou tak vhodné pro tvorbu neuronových sítí. Dostatečná operační paměť a úložiště jsou samozřejmostí. Základní konfigurace dokáže obsluhovat až 4 kamery. Disponuje mimo jiné také rozhraním Ethernet, přes které typicky komunikují LIDARy.

U vyšších řad výkon řádově narůstá při zachování poměrně nízké ceny. Rozměry jednotlivých řad zůstávají také podobné.

Bohužel nedisponují PWM výstupy, proto se nehodí pro řízení RC modelu jako takového. [34]



Obr. 21 NVIDIA Jetson TX2 [35]

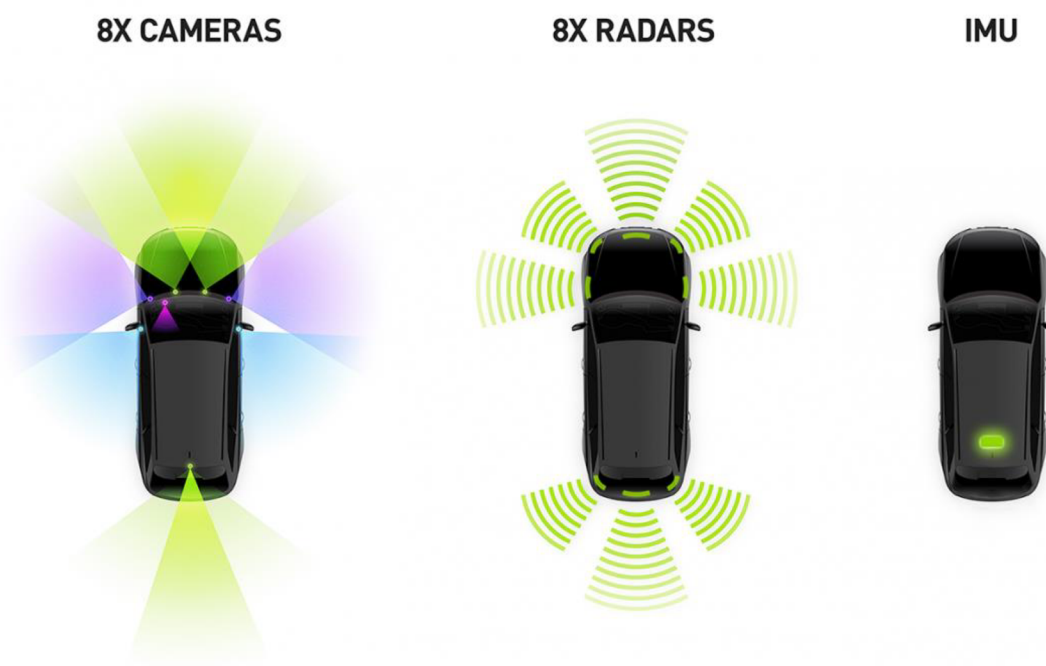
4.5 NVIDIA DRIVE AGX DEVELOPER KIT

NVIDIA DRIVE AGX Developer Kit je vývojový balíček od společnosti NVIDIA, který obsahuje hardwarové i softwarové řešení pro řešení autonomních vozidel od stupně 2 a výše. Tato architektura splňuje velmi přísné bezpečnostní standardy (např. ISO 26262) a regulační požadavky (např. NHTSA, Euro NCAP), hodí se tak pro plnohodnotný vývoj autonomních vozidel.

Softwarovou sadu pak tvoří systémy nutné pro autonomní řízení, monitorování ovladačů a vizualizaci.

Hardware obsažený v tomto balíčku je velmi výkonný, uzpůsoben tak, aby mohl bez problémů zpracovávat velké datové toky vizuálních dat z kamer, dále je počítáno s využitím neuronových

síti. Součástí je sada senzorů zahrnující 7 externích kamer (kde jsou 2 kamery používány pro přední část vozidla, 3 kamery pro boční strany a zadní část vozidla, další 2 kamery jsou využívány v městském provozu, tyto externí kamery doplňuje 1 interiérová kamera. Dále je k dispozici 8 radarů které jsou rozmístěno takto: 1 přední centrální radar, 4 rohové radary, 2 radary pro městský provoz a 1 zadní pro rychlou změnu pruhu. Inerciální jednotka zde snímá zrychlení a úhlové rychlosti vozidla.



Obr. 22 Sensory obsažené v NVIDIA kitu [36]

Tento vývojový kit není pro RC model vhodný. Jeho rozměry jsou příliš velké, nevýhodou je i celková finanční náročnost.

4.6 EMBEDDED SYSTÉM PRO OVLÁDÁNÍ RC MODELU

Ze všech výše popsaných systému byla zvolena vývojová deska Texas Instruments LAUNCHXL – F28379D. Nabízí dostatečný výpočetní výkon, disponuje dostatečným množstvím digitálních vstupů a výstupů. Výstupní periferie se dají ovládat pomocí PWM signálu. Co se týče konektivity, tak je přímo na desce přítomen hardware pro zpracování CAN zpráv. Deska je plně konfigurovatelná v prostředí Simulink.

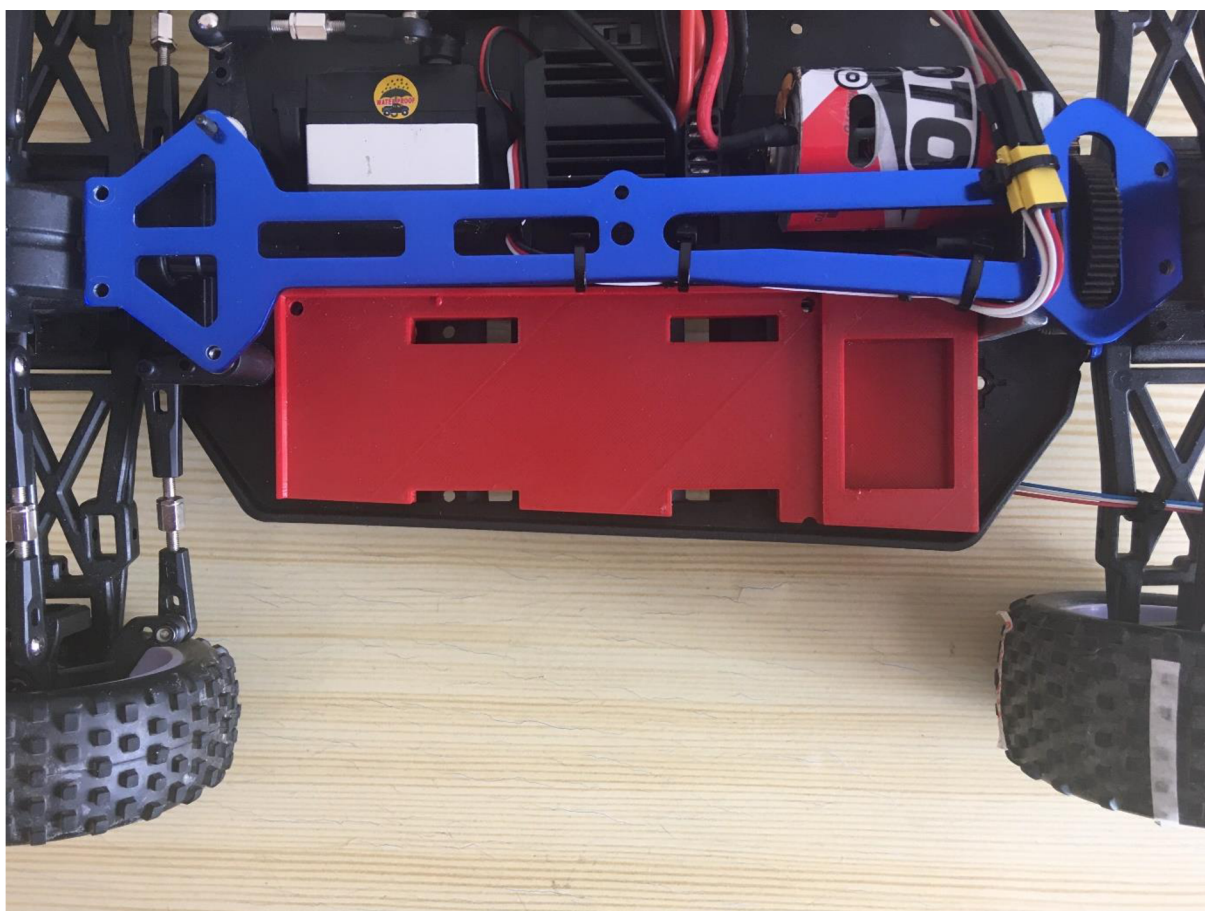
Oproti ostatním systémům nabízí vše potřebné pro řízení akčních členů RC modelu v přijatelné velikosti a ceně, přitom s dostatkem výpočetního výkonu, který zaručí, že může být projekt postupně rozšiřován.

5 KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY

Vybranou vývojovou desku je na stávající model zapotřebí uchytit. Držáky jsou vyrobeny z plastu PET-G na 3D tiskárnách Průša MK3 ve StrojLabu. Díky použití této technologie bylo v krátkém časovém rozmezí možné vytvořit více variant prototypů a vyzkoušet je tak přímo na modelu. Dále je nutné zajistit dostatečnou plochu pro bezpečnou montáž autonomních senzorů.

5.1 DRŽÁK VÝVOJOVÉ DESKY A PŘIJÍMAČE

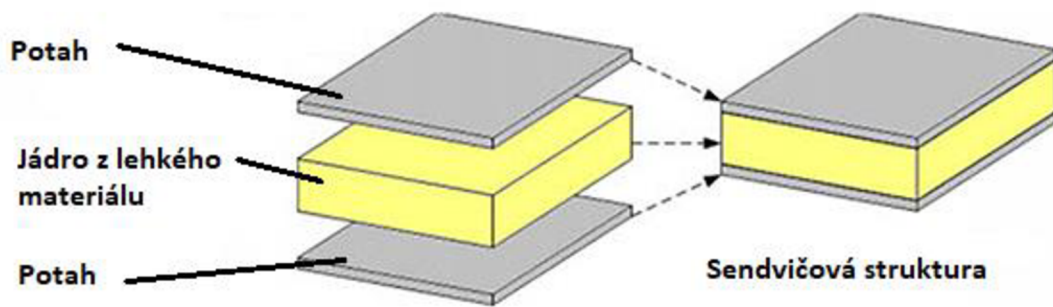
Pro vývojovou desku bylo nejnütnější najít vhodné místo, a to ze dvou důvodů. Tím hlavním je alespoň částečné odstínění od magnetického pole DC motoru, druhým důvodem je velký rozměr samotné vývojové desky, proto je vhodné ji umístit tak, aby zabírala co nejméně místa. Nejvhodnější se ukázalo místo, kde původně byla baterie. Pro uchycení držáku bylo využito děr, které byly v modelu pro původní držák baterie. Obdelníkový tvarový prvek pro přijímač je na tomto držáku umístěn z toho důvodu, aby v přední části, kde byl nalepený na servu nepřekážel případným senzorům.



Obr. 23 Držák vývojové desky a přijímače umístěný na vozidle

5.2 PLATFORMA PRO UCHYCENÍ SENZORŮ

Materiálem pro výrobu platformy uchycení senzorů byla zvolena karbonová sendvičová struktura. Sendvičová struktura se skládá z vnějších potahů, které tvoří pevné vrstvy. Mezi tyto potahy je vloženo lehké jádro, v tomto případě se jedná o velmi lehký materiál Airex, pro dosažení větších tuhostí ale může být použito například i hliníkových voštin.



Obr. 24 Sendvičová struktura [37]

Nejdříve bylo nutné odříznout úhlovou bruskou ze sendvičové struktury karbon – airex – karbon plát karbonu podle rozměrů modelu. Následovala estetická úprava rovnoběžnosti protilehlých stran na pásové brusce na přesný rozměr. Poslední úpravou bylo vyvrtání děr pro uchycení k RC modelu.

Pro uchycení senzorů se jeví jako nejlepší použít samolepící suchý zip Dual-Lock™ od společnosti 3M™. Zip se může upravit přímo na rozměr použitých senzorů a příslušenství, kdy různí výrobci mají různé rozměry těchto zařízení. S upevněním na hladkém karbonovém podkladu ani s upevněním na zařízeních není problém. Tento systém uchycení se ukázal jako velmi spolehlivý pro uchycení řídicí jednotky a dataloggeru ve více generacích studentských formulích Dragon.



Obr. 25 Karbonová platforma senzorů

5.3 DRŽÁK BATERIE

Držák baterie je umístěn na držáku zadního křídla. K vozidlu je přichycen pomocí zdrhovacích pásek. Toto umístění nejlépe využívá zástavbového prostoru, neboť baterie nesnižuje užitnou plochu karbonové platformy pro uchycení senzorů.



Obr. 26 Držák baterie umístěný na vozidle

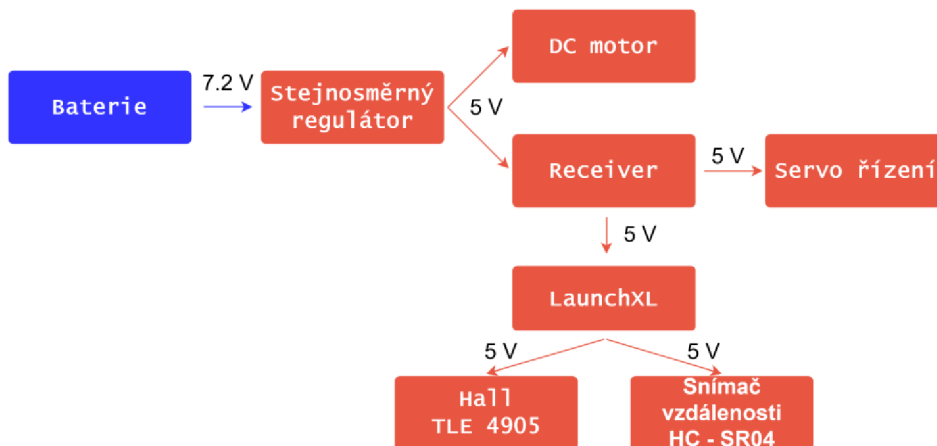
5.4 ZAPOJENÍ MIKROKONTROLERU

Je nutné vyřešit fyzické propojení mikrokontroleru a zbytku modelu. Využívá se základního popisu zapojovacích tabulek dodaných výrobcem. V tabulce číslo 8 jsou uvedeny piny, které jsou použity pro ovládání RC modelu. Pro rozsáhlost tabulky je zde pouze její část, zbylá část tabulky je uvedena v příloze diplomové práce.

Tab. 8 Část zapojení mikrokontroleru

TI	Zařízení	TI LAUNCHXL-F28379D	
	Pin	Signál	Destinace
	54	Servo signal VSTUP	CH1:Signal
	53	Motor signal VSTUP	CH2:Signal
	51	Hall signal	Hall:Signal
	80	HC-SR04 TRIGGER	SR04:TRIGGER
	11	Motor signal VÝSTUP	Motor:Signal
	36	Servo signal VÝSTUP	Servo:Signal
	19	HC-SR04 ECHO	SR04:ECHO
	J12	CAN High	Peak:2
	J12	CAN Low	Peak:7
	GND	GND	CH3:-

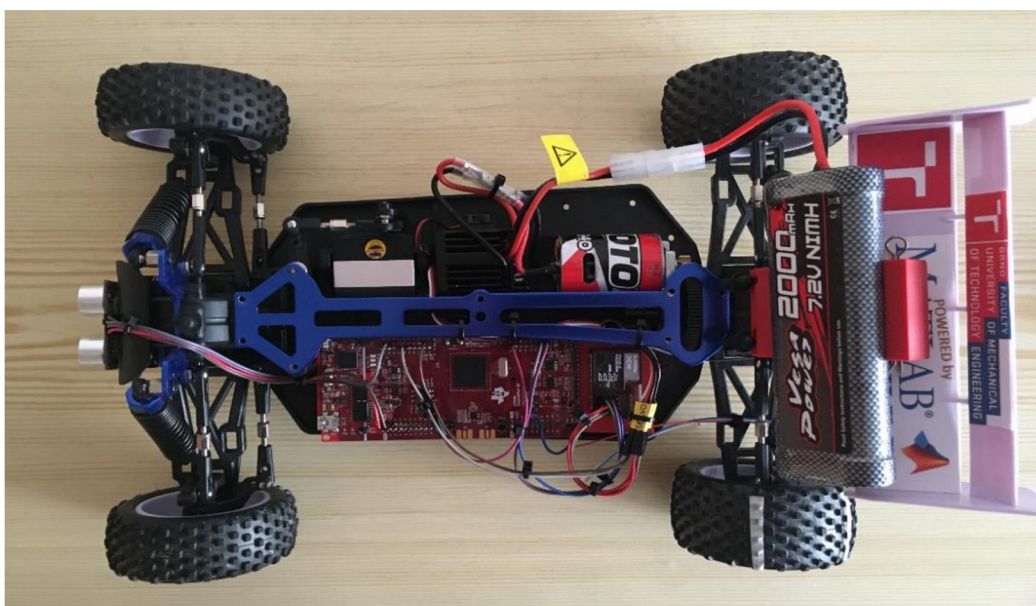
Dále bylo potřeba modifikovat schéma napájení. Oproti původnímu schématu přibyla deska TI, ta je napájena primárně pomocí USB kabelu připojeného k počítači. V rámci modelu to ale není dostatečné řešení, protože by byl potřeba dlouhý USB kabel v případě pohybujícího se modelu. Existuje zde ale i možnost napájet vývojovou desku přímo z volného slotu receiveru. Deska TI slouží pro připojení signálu z Hallova snímače pro snímání rychlosti otáčení kol a signálu ze senzoru vzdálenost. Výhodou desky je integrovaný zdroj stabilizovaného 5 V napětí. Včetně připojení signálu ze senzorů je tedy dokáže zároveň napájet.



Obr. 27 Výsledné schéma napájení

5.5 FINÁLNÍ PODOBA MODELU

Zkompletovaný model je vidět na obrázku níže. Držák vývojové desky a přijímače je přichycen k původnímu šasi modelu. V něm zasazený mikrokontroler je uchycen pomocí šroubů M3 k držáku. Rádiový přijímač drží tvarovým stykem v držáku. Pro pojištění je uchycen navíc oboustrannou lepící páskou. Elektrické připojení je realizováno v rámci prototypu pomocí propojovacích kabelů, které jsou k sobě stáhnuty pomocí zdrhovacích pásek. Kde to zástavbový prostor dovolil, jsou kabely přichyceny ještě k šasi vozidla.



Obr. 28 Řešení vnitřního prostoru stavebnice

Následně byla na kompletní šasi usazena karbonová platforma pro uchycení budoucích senzorů. Karbonová platforma byla konstruována tak, aby poskytla co největší prostor pro montáž snímačů a zároveň tak, aby ležela v obálce vozidla a nemohlo dojít k jejímu poškození při nárazu. Zároveň tak nedojde k poškození senzorů, které by ideálně neměly být umístěny za její okraj.

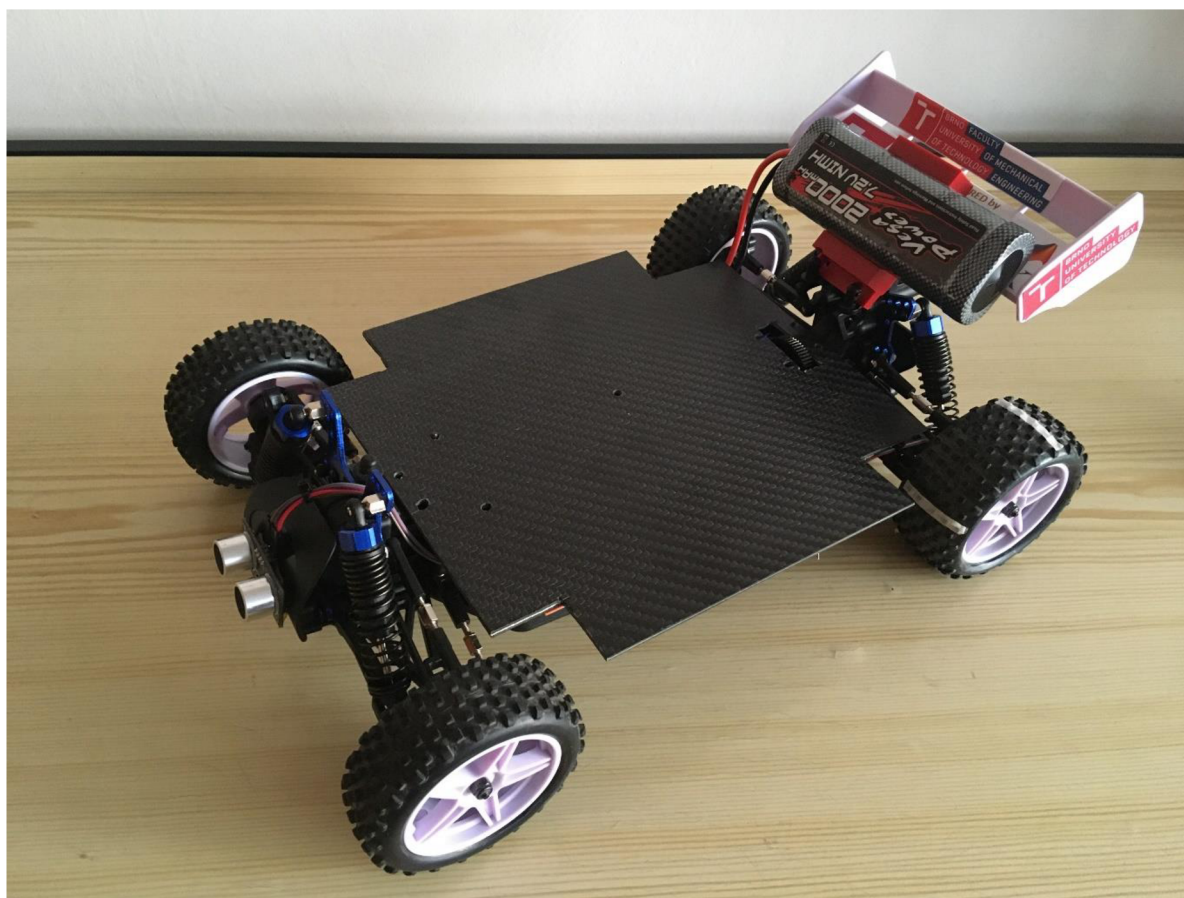
Při konstrukci platformy bylo nutné brát v ohled i natočení kol. Není totiž žádoucí jejich pohyb omezovat. Je tedy možné natočení kol v plném rozsahu. Zároveň je možný i pohyb mechanických částí řízení.

Parametry desky:

- Délka: 23 cm
- Šířka: 22 cm
- Plocha: 506 cm²

Na přední části vozidla je připevněn snímač vzdálenosti.

Držák baterie je přichycen na držáku zadního křídla. Mohl by být umístěn i na karbonové platformě, výrazně by se ale zmenšila užitná plocha desky. Pro uchycení senzorů pro autonomní řízení bude použit samolepící suchý zip Dual-Lock™, který umožňuje snadné sundávání senzorů. Při použití senzorů o vyšší hmotnosti, je možné do karbonové platformy vyvrtat otvory a připevnit senzory pomocí šroubů.



Obr. 29 Kompletní model stavebnice

6 ŘÍZENÍ RC MODELU POMOCÍ VÝVOJOVÉ DESKY

Kompletní logika řízení modelu je vytvořena v prostředí Simulink. Matlab nabízí prostředí Simulink jako svoji nadstavbu pro grafické modelování, simulaci a analýzu dynamických systémů. Kód v Simulinku se skládá z bloků, které reprezentují matematické operace, operace pro modelování spojitých i diskrétních systémů, logické operace, bloků pro monitorování probíhajících dějů a tak dále [39].

Simulink nabízí podobné možnosti jako LabView, podporuje také embedded platformy třetích stran, jako je právě Texas Instruments. Nabízí také velké množství knihoven a modulů pro případné rozšíření projektu v budoucnosti, jsou to knihovny na zpracování obrazu z kamery a podpora senzorů pro plně autonomního řízení.

Kód vychází z programu Remote Control Racecar using Simulink® and Texas Instruments C2000 [40], který je volně dostupný jako example na stránkách Mathworks.

Cílem vytvořeného programu je to, aby bylo možné RC model ovládat jak pomocí vysílačky, tak pomocí programu vytvořeného v Simulinku.

6.1 HARDWAROVÉ NASTAVENÍ

Pro tvorbu modelu v Simulinku je nejdříve potřeba vytvořit správné hardwarové nastavení vývojové desky. Bez správného přiřazení vstupních a výstupních portů totiž i správně naprogramovaný kód nebude fungovat.

Připojené vstupy a výstupy jsou přiřazené tak aby korespondovaly s dokumentací výrobce, kde jsou uvedené vlastnosti jednotlivých pinů [38].

Tab. 9 Hardwarové nastavení

PERIFERIE	GPIO	PIN	POUŽITÍ
ECAP1	61	19	SR04:ECHO
ECAP2	25	51	Hall SIGNAL
ECAP3	26	53	Motor VSTUP
ECAP4	64	54	Servo VSTUP
ECAP5	21	36	Servo VÝSTUP
ECAP6	23	11	Motor VÝSTUP
EPWM4	6	80	SR04:TRIGGER

6.2 SIMULINK – MODEL ŘÍZENÍ

Pro ovládání zařízení a čtení dat ze senzorů se využívá prostředí Simulink. Hlavní program se skládá z více subsystému, které jsou popsány níže.

6.2.1 GLOBÁLNÍ DATA

Globální data jsou uložena v hlavním systému. Globální data jsou proměnné, které se používají napříč všemi subsystémy. Data musí být nejdříve zpracovány jedním subsystémem a pak se ukládají do těchto proměnných a následně jsou přístupné z kteréhokoliv místa v programu. Lze s nimi tedy pracovat i mimo bloky, kde jsou tyto proměnné zpracovány. Subsystémy tak nemusí

být zatíženy dodatečnými vstupy a výstupy. To značně zjednodušuje programování, výsledný program je po zkompilování kódu méně náročný na výpočetní výkon mikrokontroleru.

6.2.2 HARDWAROVÉ PŘERUŠENÍ

V tomto subsystému jsou definovaná hardwarová přerušení. Jsou zde snímány PWM signály serva řízení a otáček motoru. Dále výstupní signál senzoru vzdálenosti a výstup z Hallova senzoru, který snímá otáčky. Výhodou eCAP subsystémů je to, že uvnitř systému je rovnou řešeno matematické zpracování signálu tak, aby s ním bylo možné pracovat v dalších bodech programu.

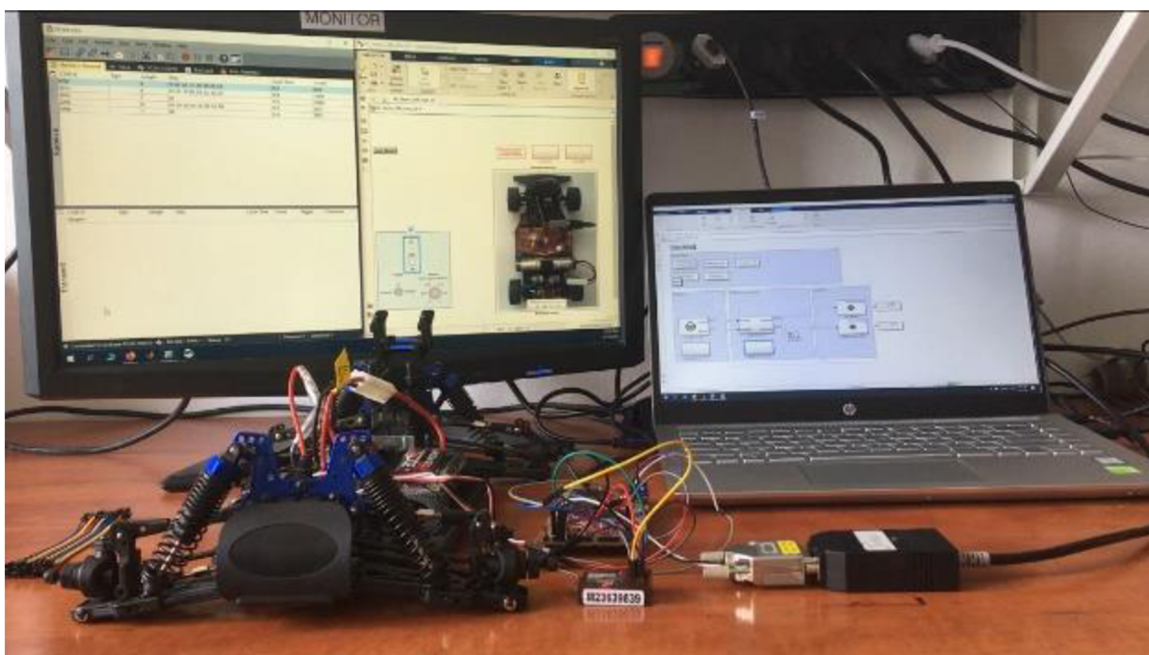
6.2.3 CAN BUS KONFIGURACE

Správné nastavení tohoto bloku je nezbytné pro komunikaci mezi Simulinkem a vývojovou deskou. Je nutné nastavit zařízení, které se bude pro komunikaci používat, v tomto případě PEAK-System PCAN-USBBUS1. Rychlost sběrnice je nastavena na 1Mbit/s.

Pro komunikaci mezi Simulinkem a modelem se využívá zařízení PEAK-CAN. Pro identifikaci zpráv se využívá dbc soubor, v kterém jsou všechny potřebné údaje ke správnému dešifrování CAN zprávy. Mezi tyto údaje zejména patří jméno a ID zprávy, její délka a způsob jakým jsou posílány jednotlivé kanály zprávy. V případě kanálu to jsou počáteční bity zprávy a jejich délka.

Zprávy posílané po sběrnici jde rozdělit na dvě skupiny. Jednu skupinu tvoří data posílané z řídicí desky do počítače, druhá skupina je pak tvořena daty, které putují opačným směrem.

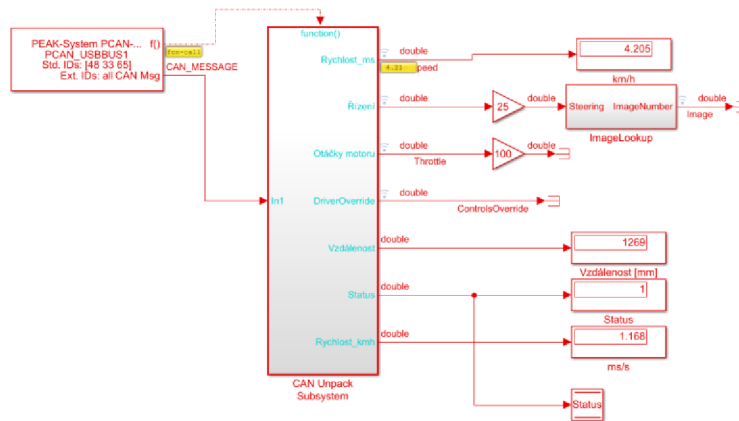
Na obrázku níže je vidět výsledná komunikace mezi počítačem a modelem. Její funkce byla ověřena zařízením PEAK CAN, který zároveň slouží jako diagnostika práv. Data však zobrazuje v hexadecimální číselné soustavě, nejdou tedy přímo číst. Tento úkol je však řešen právě v Simulinku, kde jsou data rozbaleny a následně zobrazeny standartně v desítkové soustavě. Veškerá vstupní data pro ovládání aktuátorů jsou dostupná i při přerušení CAN komunikace, neboť jejich přenos probíhá na sériové lince.



Obr. 30 CAN komunikace mezi modelem a počítačem

6.2.4 SIMULINK – CAN BUS PŘÍJEM DAT O VOZIDLE

V tomto subsystému je řešen příjem a zpracování dat, které jsou posílány z vývojové desky. Ty jsou následně zobrazené na informačním panelu. Na informačním panelu jsou data zobrazovány s výrazným zpožděním, proto jsou všechny hodnoty zobrazeny také zde jako výstupy bloků.



Obr. 31 Zpracování přijímaných CAN zpráv

Následující tabulka popisuje proměnné, které jsou touto formou komunikace posílány. Celkem jsou posílány tři zprávy. Každá ze zpráv má rozdílné identifikátory, dále s sebou nese informaci o názvu proměnných, které jsou přenášeny uvnitř zprávy.

Tab. 10 Data posílaná po CAN sběrnici z vývojové desky Texas Instruments

ID Zprávy	33						
Jméno zprávy	Aktuální hodnota						
Délka (byte)	8						
Proměnná	Start bit	Délka (bit)	Pořadí bytů	Data typ	Offset	Min	Max
Natočení kol	0	16	LE	single	0	-3.4e38	3.4e38
Otáčky motoru	16	16	LE	single	0	-3.4e38	3.4e38
Vzdálenost	32	16	LE	single	0	-3.4e38	3.4e38
Status	48	16	LE	single	0	0	1

ID Zprávy	48						
Jméno zprávy	Rychlost otáčení kol						
Délka (byte)	8						
Proměnná	Start bit	Délka (bit)	Pořadí bytů	Data typ	Offset	Min	Max
Rychlost [ms^{-1}]	24	32	BE	single	0	-3.4e38	3.4e38
Rychlost [kmh^{-1}]	56	32	BE	single	0	-3.4e38	3.4e38

ID Zprávy	65						
Jméno zprávy	Ovládání modelu						
Délka (byte)	8						
Proměnná	Start bit	Délka (bit)	Pořadí bytů	Data typ	Offset	Min	Max
Ovládání	0	8	BE	single	0	0	1

Zpráva s ID 33 – Aktuální hodnota nese informaci o aktuálním stavu vozidla. Posílá informaci o aktuálním natočení kol, rychlosti motoru, vzdálenosti modelu od překážky a statusu. Funkce posledních dvou zmíněných proměnných bude podrobně vysvětlena v další podkapitole této práce.

Zpráva s ID 48 – přenáší data o rychlosti otáčení kol v jednotkách ms^{-1} i kmh^{-1} .

Zpráva s ID 65 – přenáší data o druhu ovládání. Pokud je tato hodnota v logické 1, je možné model řídit právě přes rozhraní v Simulinku, které je popsáno níže.

6.2.5 SIMULINK – CAN BUS DATA PRO ŘÍZENÍ MODELU

V tomto subsystému jsou zpracovány data pro přenos do modelu.

Ve zprávě s ID 32 se jedná se o požadavky na natočení řízení a otáčky motoru, tyto hodnoty jsou aktivní pouze v případě, že je aktivováno řízení prostřednictvím Simulinku.

Zpráva s ID 64 pak signalizuje stav o tom jaké řízení je aktivní. Tedy jestli je model řízen pomocí vysílačky nebo pomocí Simulinku.

Tab. 11 Data posílaná po CAN sběrnici do vývojové desky Texas Instruments

ID Zprávy	32						
Jméno zprávy	Požadavek na hodnotu						
Délka (byte)	8						
Proměnná	Start bit	Délka (bit)	Pořadí bytů	Data typ	Offset	Min	Max
Otáčky motoru	0	32	LE	single	0	-3.4e38	3.4e38
Natočení kol	32	32	LE	single	0	-3.4e38	3.4e38

ID Zprávy	64						
Jméno zprávy	Ovládání modelu						
Délka (byte)	8						
Proměnná	Start bit	Délka (bit)	Pořadí bytů	Data typ	Offset	Min	Max
Ovládání	0	8	BE	single	0	0	1

6.2.6 SUBSYSTÉM SENZORU VZDÁLENOSTI HC-SR04

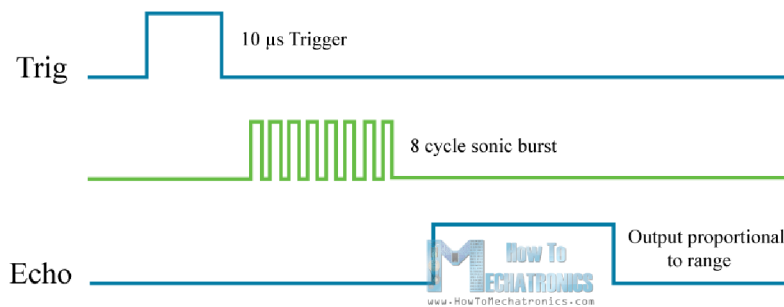
Aby bylo možné bezpečně umístit potřebné komponenty pro řízení do vozidla je nutné zamezit otřesům a nárazům. Pokud by byly na vozidle umístěny reálné snímače pro autonomní řízení, mohl by případný náraz do překážky způsobit velmi značnou materiální škodu. Proto nad řídicím modelem běží bezpečnostní algoritmus pro zamezení kolize modelu s překážkou.

Je použit ultrazvukový senzor vzdálenosti HC – SR04. Modul se skládá z vysílače, přijímače a jednotky, která signál zpracovává.

Umožňuje měření vzdálenosti v rozmezí 2 – 400 cm, přesnost tohoto zařízení může dosahovat až 3 mm. Úhel, v kterém snímač měří, je 15° [41]. Snímač je napájen 5 V přímo z vývojové desky TI.

Princip činnosti je následující [42][41]:

- 1) Trigger pin reaguje na náběžnou hranu TTL signálu o nejkratším času 10 mikrosekund.
- 2) Modul automaticky vyšle osm ultrazvukových vln o frekvenci 40 kHz a čeká za jaký čas se odražený signál dostane zpět k přijímači.
- 3) V okamžiku zachycení signálu je výstupní pin Echo ve stavu High po dobu času t .



Obr. 32 Princip činnosti ultrazvukového senzoru [42]

Výsledná vzdálenost se pak vypočítá podle rovnice:

$$s = \frac{(0,034t)}{2} \quad (4)$$

Kde t je čas, který je Echo pin ve stavu High. Hodnota 0,034 je přepočítaná rychlost zvuku ve vzduchu tak, aby výsledná vzdálenost byla v cm. Celý výraz je dělený hodnotou 2, protože zvuková vlna musí urazit cestu k objektu, kde se odrazí a následně putuje stejný čas zpět k snímači.

Jak komunikační rozhraní model – Simulink, tak program pro vývojovou desku jsou ošetřeny funkcí zastavení. Před výstupní blok pro otáčky motoru je předřazený přepínač, který zpracovává data ze senzoru vzdálenosti. Pokud je vzdálenost větší než 20 cm, přes přepínač prochází nezměněný signál pro otáčky motoru. Pokud je však tato vzdálenost menší, přepínač okamžitě změní hodnotu výstupního signálu pro otáčky motoru tak, aby se motor zastavil.

Dále je senzor využit k zobrazení statusu modelu. Pokud model stojí před překážkou a je tak znemožněno jeho ovládání, je hodnota statusu 0.

6.3 SIMULINK – MODEL ŘÍZENÍ VÝVOJOVÉ DESKY

Kompletní program pro vývojovou desku Texas Instruments LaunchXL – F28379D je znázorněn na dalším obrázku.

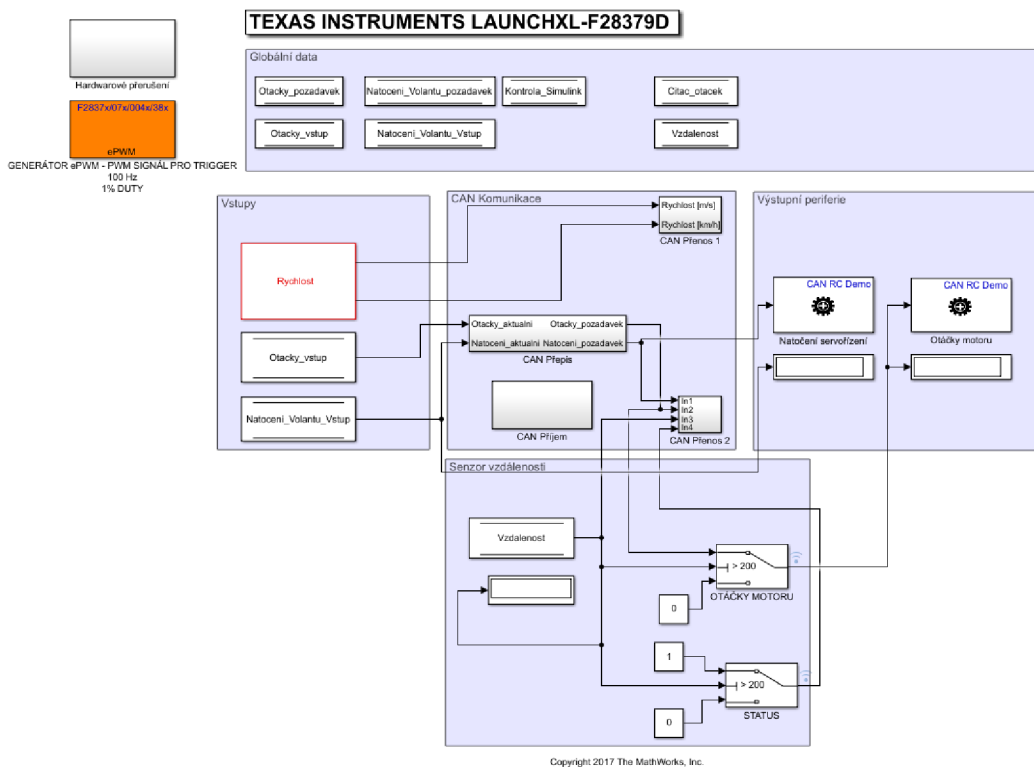
Kromě již popsaných bloků se zde nachází také ePWM blok pro generování PWM signálu pro trigger senzoru vzdálenosti. Tento blok generuje PWM signál na příslušném výstupu o frekvenci 100 Hz. Duty cycle je nastaven na hodnotě 1 % tak, aby respektoval požadavky na spuštění měření.

V oblasti programu pojmenované „Vstupy“ se zpracovávají vstupní signály. Jedná se o rychlost vozu, která se zpracovává z otáček hnaných kol. Dále se zde zpracovávají vstupní signály z vysílačky pro otáčky motoru a natočení řízení.

Oblast CAN komunikace zajišťuje přenos a příjem dat po této sběrnici. Blok CAN přepis zpracovává CAN zprávu s proměnnou „Ovládání“. Pokud je tato hodnota v logické hodnotě 1 program ignoruje signál generovaný vysílačkou a řízení probíhá a v komunikačním rozhraní Simulinku.

Data se senzoru vzdálenosti jsou zpracovány rovněž v hlavním programu včetně proměnné „Status“.

Posledním oblastí je potom „Výstupní periferie“, zde jsou požadované hodnoty PWM signálu poslány na výstupní piny a zobrazeny jejich aktuální hodnoty.



Obr. 33 Výsledný program nahraný ve vývojové desce TI LaunchXL - F28379D

6.4 SIMULINK – KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ

Cílem diplomové práce bylo vytvoření komunikačního rozhraní v Simulinku, přes které půjde ovládat RC model. Jeho vizuální podoba je znázorněna na dalším obrázku.

Nachází se zde CAN konfigurace, která je nastavena pro rozhraní PEAK – CAN na příslušné komunikační rychlosti. Následně jsou zde bloky, které zpracovávají příjem a přenos dat po této sběrnici.

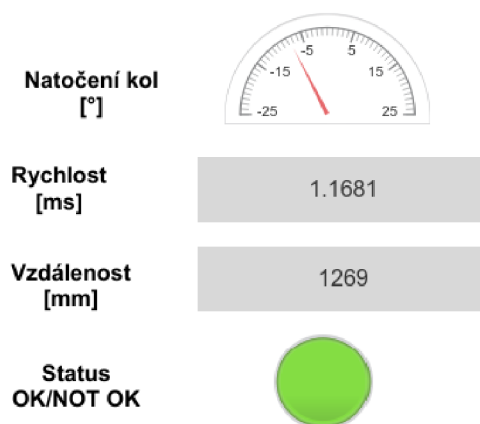
Na zobrazovacím panelu je možné vidět aktuální hodnoty výstupních periférií. Průměrné natočení kol ve stupních, rychlost vozidla a vzdálenost od nejbližší překážky. Statusová LED

dioda signalizuje možnost ovládání modelu. Pokud svítí zeleně, model se nenachází před žádnou překážkou. V opačném případě svítí červeně a model nelze ovládat.

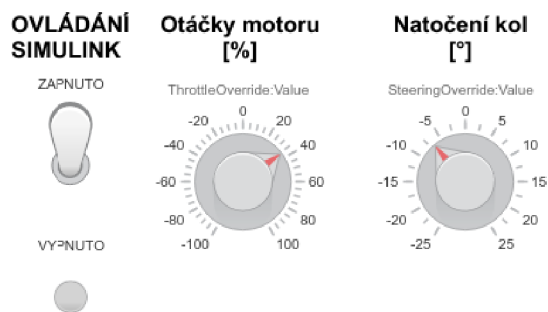
Pro požadované hodnoty se zde nachází interaktivní rozhraní, přes které jde vozidlo ovládat. Toto ovládání je nutné mít aktivováno pomocí páčkového přepínače. Pomocí otočných tlačítek lze potom ovládat jednotlivé výstupní periferie.



SKUTEČNÉ HODNOTY:



POŽADOVANÉ HODNOTY



Copyright 2017 The MathWorks, Inc.

Obr. 34 Simulink – komunikační rozhraní

7 DALŠÍ VÝVOJ

Další vývoj se může ubírat několika směry. Pravděpodobně by ale měla následovat implementace samotných senzorů, které se dají využít pro autonomní řízení. Veškeré vylepšení může čerpat ze základů již navrženého ovládání. Jako příklad pro další vývoj je uveden volně dostupný projekt z amerického MIT. Využití již funkčního řešení je zajímavou alternativou k výběru vlastních součástí. Při výběru vlastních komponentů totiž může snadno dojít k nekompatibilitě jednotlivých částí systému, což v lepším případě může znamenat jen potíže při vývoji, v tom horším, zbytečně utracené finance. Následující popis komponentů vychází právě z tohoto projektu.



Obr. 35 Platforma z univerzity MIT [43]

7.1 NVIDIA JETSON TX2

Jak už bylo v zmněno kapitole 4.4 je NVIDIA Jetson skvělý pro zpracování obrazu, ale nedisponuje PWM výstupy pro kontrolu vozidla jako takového. Pokud by se stávající řešení doplnilo o NVIDIA Jetson TX2, tak by se tento modul staral o zpracování dat ze snímačů a stávající vývojová platforma by pracovala v režimu slave a obsluhovala by veškeré výstupní periferie. Komunikace mezi těmito zařízeními by probíhala na sběrnici CAN, kterou disponují obě zařízení.

7.2 LIDAR HOKUYO UST-10LX

Vozidlo by bylo vhodné v budoucnosti také osadit LIDARem. Vybraný LIDAR plně postačuje pro použití v tomto projektu. Disponuje kompaktními rozměry, přesností a rychlostí zpracování informací. Nutno podotknout, že tento LIDAR není úplně vhodný pro zástavbu v reálném automobilu, neboť jeho maximální skenovací vzdálenost je 10 m.



Obr. 36 Lidar Hokuyo UST-10LX [44]

7.3 KAMERA STEREO LAB ZED 2

Tato duální kamera kombinuje 3D snímání s vlastní umělou inteligencí k rozpoznávání objektů. Objektům dokáže přiřazovat identifikátory, lokalizovat je a nadále sledovat. Disponuje také zabudovanou inerciální měřicí jednotkou, akcelerometrem a gyroskopem. Pro použití na modelu je velmi vhodná, protože má velmi široký úhel záběru. Kamera používá připojení přes USB konektor, který opět musí být připojen k modulu od NVIDIA. Výrobce také garantována plná podpora přímo v Matlabu.



Obr. 37 Kamera ZED 2 [45]

7.4 MATLAB TOOLBOXY

Implementace výše zmíněných zařízení by měla proběhnout v Matlabu a to hlavně v těchto dvou toolboxech, které Matlab pro zpracování obrazu nabízí.

Základním toolboxem je Image Acquisition toolbox, který umožňuje připojit kamery a LIDARy k rozhraní Matlabu a Simulinku. Umožňuje automatizovat snímání a rozpoznávání obrazových dat. Díky tomuto nástroji lze synchronizovat více informačních kanálů, pokud je použito více než jedno vstupní zařízení [46].

Dalším nástrojem je Computer Vision toolbox. dokáže rozpoznávat objekty podle jejich tvaru a lokací. Dokáže identifikovat například chodce i dopravní značky. Rozpoznaným tvarům dokáže přiřadit identifikátor, dokáže je lokalizovat, sledovat a měřit vzdálenost od objektů, kterých může být v záběru několik. Dokáže také eliminovat fyzické vady objektivů kamer. Nekvalitní obraz dokáže zbavit šumu, pokud byl například pořízen při špatném osvětlení nebo zostřit rozostřený obraz. Toolbox lze využít ke strojovému učení a tvoření neuronových sítí, kdy na základě vstupních obrazových dat dokáže s určitou přesností identifikovat objekt. Tento toolbox lze využít jak na zpracování 2D, tak 3D dat [47].

ZÁVĚR

Po stanovení základních kritérií byly ze široké nabídky vybrány tři RC modely. Následně z nich byl vybrán model HIMOTO Z3, který splňoval požadavky na zástavbový prostor, snadnou modifikaci, dostupnost dílů i příznivou cenu. Další důležité kritérium bylo to, že je model v modifikaci RTR, obsahuje tedy veškerou elektroniku a příslušenství potřebné k fungování.

Experimentálním měřením byly zjištěny parametry nutné pro řízení aktuátorů. Pomocí osciloskopu byly zjištěny parametry PWM signálu pro ovládání modelu. Za účelem lepšího modelování jízdy byly zjištěny závislosti PWM signálu na rychlosti a natočení kol.

Byl vybrán embedded systém Texas Instruments LaunchXL – F28379D, který dokáže ovládat RC model dvěma způsoby. První způsob představuje zpracování PWM signálu odeslaným z vysílačky do modelu. RC model je však možné ovládat také pomocí CAN komunikace. Řízení modelu pomocí vývojové desky je realizováno v prostředí Simulink. V tomto prostředí je naprogramováno i rozhraní pro ovládání modelu, jeho součástí je i zobrazení aktuálních jízdních parametrů vozidla, jako jsou rychlost, natočení kol, vzdálenost od překážky a možnost pohybu vozidla, pokud by stálo příliš blízko před překážkou.

Nezbytným krokem této diplomové práce byly také konstrukční úpravy modelu. Vývojová deska je pomocí držáku uchycena přímo na šasi modelu v místě kde se nacházela baterie. Hlavní modifikací je karbonový platforma na uchycení senzorů, které se používají pro autonomní řízení. Její plocha je 506 cm².

Zhotovený funkční model vyhovuje použití pro výukové i experimentální účely. Je tak možné stávající řešení doplnit o skutečné senzory autonomního řízení.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HEATH, Nick. Tesla's Autopilot: Cheat sheet. *Techrepublic* [online]., 2018, 1. 8. 2018 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.techrepublic.com/article/teslas-autopilot-cheat-sheet/>
- [2] SHUTTLEWORTH, Jennifer. SAE Standards News: J3016 automated-driving graphic update. In: *SAE International* [online]., 2019, 2019-01-07 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>
- [3] COPPOLA, Pierluigi a Esztergár-Kiss DOMOKOS. Autonomous vehicles and future mobility solutions. SILVESTRI, Fulvio a Pierluigi COPPOLA. *Autonomous Vehicles and Future Mobility*. Elsevier, 2019, 1–15. ISBN 978-0-12-817696-2.
- [4] WEISS, Christian. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Computer Networks*. Elsevier, 2011, 2011(55), 3103–3119. DOI: V2X communication in Europe – From research projects towards standardization and field testing of vehicle communication technology. ISSN 1389-1286.
- [5] ZEADALLY, S, J GUERRERO a J CONTRERAS. A tutorial survey on vehicle-to-vehicle communications. *Telecommunication Systems*. 2020, (73), 469–489. DOI: 10.1007/s11235-019-00639-8.
- [6] KASLIKOWSKI, Adam. Everything you need to know about autonomous vehicles. *Digital Trends* [online]., 2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cars/the-current-state-of-autonomous-vehicles/>
- [7] KAPLAN, Jeremy, Lulu CHANG, Stephen EDELSTEIN a Glon RONAN. Deadly Uber crash was ‘entirely avoidable’ had the driver not been watching Hulu. *Digital Trends* [online]., 2018 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cars/self-driving-uber-crash-arizona/>
- [8] KARBHARI, Vimarsh. Uber Case Study — The State of Autonomous Transport. *Medium* [online]., 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://medium.com/acing-ai/uber-case-study-the-state-of-autonomous-transport-42bf2da90fb3>
- [9] Super Cruise: Hands-Free Driving, Cutting Edge Technology. *Cadillac* [online]., 2017 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.cadillac.com/ownership/vehicle-technology/super-cruise>
- [10] GLON, Ronan. What is Cadillac Super Cruise? *Digital Trends* [online]., 2020 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cars/the-current-state-of-autonomous-vehicles/>
- [11] The new Audi A8 – conditional automated at level 3. *Audi Mediacycenter* [online]., 2017 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/on-autopilot-into-the-future-the-audi-vision-of-autonomous-driving-9305/the-new-audi-a8-conditional-automated-at-level-3-9307>

- [12] WINTER, Kathy. For Self-Driving Cars, There's Big Meaning Behind One Big Number: 4 Terabytes. *Intel* [online]., 2017, 14. 4. 2017 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/editorials/self-driving-cars-big-meaning-behind-one-number-4-terabytes/#gs.2sb2dl>
- [13] VAN BRUMMELEN, J., M. O'BRIEN, D. GRUYER a H. NAJJARAN. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow: Najjaran H. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier, 2018, 2018(89), 384–406. DOI: 10.1016/j.trc.2018.02.012. ISSN 0968090X.
- [14] Stereo Vision. *AMS* [online]., [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://ams.com/stereovision>
- [15] HAYFLICK, Nathan. Is Elon Wrong About LiDAR? *Scale* [online]., 2019, 12. 8. 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://scale.com/blog/is-elon-wrong-about-lidar>
- [16] Autopilot. *Tesla* [online]., [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/autopilot?redirect=no
- [17] PAUKERT, Chris. Why the 2019 Audi A8 won't get Level 3 partial automation in the US. *Cnet* [online]., 2018 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/roadshow/news/2019-audi-a8-level-3-traffic-jam-pilot-self-driving-automation-not-for-us/>
- [18] GURNEY, Jeffrey. Sue My Car Not Me: Products Liability and Accidents Involving Autonomous Vehicles. *Journal of Law, Technology and Policy 2013*. U. Ill. J.L. Tech. & Pol'y 247, 2013, 2013(2), 101-131. DOI: ssrn.com/abstract=2352108.
- [19] Stavebnice Team Associated RC10B6.1 Team Kit. In: *Associated Electric* [online]., [cit.2020-03-27]. Dostupné z: https://img2.associatedelectrics.com/pictures/cars_and_trucks/RC10B6.1/Team/photos/90020_B61_Str_Down-gallery_lg.jpg
- [20] RTR model BXR S1. In: *MZ-Racing* [online]., [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.mz-racing.net/galerie/1_55275/1-bxr-s1-rtr-bxr-s1-buggy-brushless-4wd-2-4ghz-rtr-original.jpg
- [21] RTR model HIMOTO ZMOTO3. In: *HIMOTO* [online]., [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.himoto.cz/user/shop/big/1952-8_p01.jpg?582ec05b
- [22] What is a Pulse Width Modulation (PWM) Signal and What is it Used For? In: *National Instruments* [online]., 2019 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019OkFSAU&l=cs-CZ>
- [23] *Real Digital: Pulse Width Modulation* [online]., [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.realdigital.org/doc/333049590c67cb553fc7f9880b2f79c3>

- [24] *VirtualBench All – in – One Instrument Product flyer: National Instruments* [online]. National Instruments, 2019 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/virtualbench-all-in-one-instrument.pdf>Test1
- [25] GILLESPIE, Thomas D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. R114. SAE International, 1992. ISBN 9781560911999.
- [26] A3144 Hall effect Sensor. *Components 101* [online]., 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://components101.com/a3144-hall-effect-sensor>
- [27] ARDUINO MEGA: Arduino Mega 2560. In: *Reichelt elektronik* [online]., [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/B300/ARDUINO_MEGA_A01.png
- [28] Arduino MEGA 2560 Rev3. *Arduino store* [online]., [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- [29] CompactRIO Controller. *National Instruments* [online]., [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/shop/select/compactrio-controller>
- [30] CompactRIO Systems. *National Instruments* [online]., [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/shop/compactrio.html>
- [31] MyRIO Student Embedded Device. *National Instruments* [online]., [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/shop/select/myrio-student-embedded-device>
- [32] SCHACHTER, Kenneth W. The TMS320F2837xD Architecture: Achieving a New Level of High Performance. *Texas Instruments* [online]., 2016 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sprr720/sprr720.pdf>
- [33] TMS320F2837xD Dual-Core Microcontrollers. *Texas Instruments* [online]., 2020 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/sprs880l/sprs880l.pdf>
- [34] Embedded Systems Developer Kits & Modules from NVIDIA Jetson. *NVIDIA* [online]., [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/>
- [35] High Performance AI at the Edge| NVIDIA Jetson TX2. *NVIDIA* [online]., [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-tx2/>
- [36] NVIDIA DRIVE Hyperion Developer Kit. *NVIDIA* [online]., [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/drive/drive-hyperion>
- [37] Sandwich Steel Panels: Part One. *Total materia* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=484>
- [38] C2000 Delfino MCU F28379D LaunchPad™ development kit. In: *Texas Instruments* [online]., [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.ti.com/tool/LAUNCHXL-F28379D#technicaldocuments>

- [39] Simulink. *Humusoft* [online]., [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.humusoft.cz/matlab/simulink/>
- [40] MATHWORKS STUDENT COMPETITIONS TEAM (2020). Remote Control Racecar using Simulink® and Texas Instruments C2000: MATLAB Central File Exchange. *MATLAB Central File Exchange* [online]. Mathworks, 2017, 06. 10. 2017 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63857-remote-control-racecar-using-simulink-and-texas-instruments-c2000>
- [41] Ultrasonic Ranging Module HC – SR04. *Sparkfun* [online]., [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [42] Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial. *How to mechatronics* [online]., [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- [43] Platform. *Racecar MIT* [online]., [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://racecar.mit.edu/platform>
- [44] Hokuyo UST-10LX Scanning Laser Rangefinder. *Acroname* [online]., [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://acroname.com/products/HOKUYO-UST-10LX-LASER?sku=R359-UST-10LX#downloads>
- [45] ZED 2. *Stereolabs* [online]., [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.stereolabs.com/>
- [46] Image Acquisition Toolbox. *Matlab* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/image-acquisition.html>
- [47] Computer Vision Toolbox. *Matlab* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

B	[-]	Byte
CAN	[-]	Sběrnice (Controller Area Network)
D	[m]	Průměr
DC	[A]	Stejnoseměrný proud
ECAN	[-]	Pin – pokročilá CAN sběrnice
ECAP	[-]	Pin – pokročilé snímání
ECU	[-]	Elektronická řídicí jednotka
EPWM	[-]	Pin – pokročilá pulzně šířková modulace
FLOPs	[-]	Počet operací s pohyblivou desetinnou čárkou za jednu sekundu
f	[Hz]	Frekvence
GPIO	[-]	Vstupní či výstupní piny pro obecné použití
GPS	[-]	Globální poziční systém
I/O	[-]	Vstup nebo výstup
I2C	[-]	Sběrnice (Inter-Integrated Circuit)
ID	[-]	Identifikátor
IDE	[-]	Integrované vývojové rozhraní
IMU	[-]	Inerciální měřicí jednotka
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro standardizaci
L	[m]	Rozvor
LIDAR	[-]	Light Detection and Ranging
n	[min ⁻¹]	Otáčky
NCAP	[-]	Evropský program pro posuzování nových vozidel
NHTSA	[-]	Americká správa silniční bezpečnosti
NI	[-]	National Instruments
PET-G	[-]	Polyethylentereftalát – modifikovaný glykol
PWM	[-]	Pulsně šířková modulace
PWMA	[V]	Analogová Pulsně šířková modulace
R	[m]	Poloměr
RADAR	[-]	Radio Detection and Ranging
RC	[-]	Rádiové řízení
RTR	[-]	Ready to Race
s	[m]	Dráha

SAE	[-]	Společnost automobilových inženýrů (Society of Automotive Engineers)
SONAR	[-]	Sound Navigation and Ranging
SPI	[-]	Sběrnice (Serial Peripheral Interface)
TI	[-]	Texas Instruments
TTL	[-]	Tranzistor – tranzistor logika signálu
U_A	[V]	Napětí analogové
UART	[-]	Sběrnice (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)
U_H	[V]	Napětí ve stavu high
v	[m·s ⁻¹]	Obvodová rychlost kola
V2I	[-]	Přenos informací mezi vozidlem a infrastrukturou
V2N	[-]	Přenos informací mezi vozidlem a sítí
V2P	[-]	Přenos informací mezi vozidlem a lidmi
V2V	[-]	Přenos informací mezi vozidly
V2X	[-]	Přenos informací mezi vozidlem a chytrými zařízeními
V_{pp}	[V]	Napětí (Peak to Peak)
δ	[°]	Ackermanův úhel

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Zapojení mikrokontroleru

PŘÍLOHA 1: ZAPOJENÍ MIKROKONTROLERU

TI	Zařízení	TI LAUNCHXL-F28379D	
	Pin	Signál	Destinace
	54	Servo signal VSTUP	CH1:Signal
	53	Motor signal VSTUP	CH2:Signal
	51	Hall signal	Hall:Signal
	80	HC-SR04 TRIGGER	HC-SR04:TRIG
	11	Motor signal VÝSTUP	Motor:Signal
	36	Servo signal VÝSTUP	Servo:Signal
	19	HC-SR04 ECHO	HC-SR04:ECHO
	J12	CAN High	Peak:2
	J12	CAN Low	Peak:7
	GND	GND	CH3:-
	GND	GND	VCC:-
	GND	GND	HC-SR04:GND
	GND	GND	Hall:GND
	5V	5V	HC-SR04:VCC
	5V	5V	Hall:5V

HC-SR04	Zařízení	HC-SR04	
	Pin	Signál	Destinace
	GND	HC-SR04:GND	TI:GND
	ECHO	HC-SR04:TRIG	TI:19
	TRIG	HC-SR04:ECHO	TI:80
	VCC	HC-SR04:VCC	TI:5V

SERVO	Zařízení	Servo	
	Pin	Signal	Destinace
	Signal	Servo signal VÝSTUP	TI:36
	+	5V	CH1:+
	-	GND	CH1:-

MOTOR	Zařízení	Motor	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Motor signal VÝSTUP	TI:11
	+	5V	CH2:+
	-	GND	CH2:-

PEAK	Zařízení	Peak CAN	
	Pin	Signál	Destinace
	2	CAN Low	J12
	7	CAN High	J12

HALL	Zařízení	Hall	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Hall signal	TI:51
	+	5V	TI:5V
	-	GND	TI:GND

CH1	Zařízení	Receiver: Channel 1	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Servo signal VSTUP	TI:54
	+	5V	Servo:+
	-	GND	Servo:-

CH2	Zařízení	Receiver: Channel 2	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Motor signal VSTUP	TI:53
	+	5V	Regulator:+
	-	GND	Regulator:-

CH3	Zařízení	Receiver: Channel 3	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Nepřipojeno	Nepřipojeno
	+	Nepřipojeno	Nepřipojeno
	-	TI:GND	TI:GND

VCC	Zařízení	Receiver: VCC	
	Pin	Signál	Destinace
	Signal	Nepřipojeno	Nepřipojeno
	+	Nepřipojeno	Nepřipojeno
	-	TI:GND	TI:GND