



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

**METODY ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ SENZORŮ
AUTONOMNÍCH VOZIDEL**

SENSORS SIGNAL PROCESSING METHODS OF THE AUTONOMOUS VEHICLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Kostih

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Kučera, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Petr Kostiha**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Kučera, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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 bakalářské práce:

Metody zpracování signálů senzorů autonomních vozidel

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLEMATIKY ÚKOLU:

Vypracujte rešerši popisující metody zpracování signálů senzorů autonomních vozidel.

CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Autonomní vozidla
Senzory autonomních
vozidel Zpracování signálů

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

TUČKOVÁ, Jana. Vybrané aplikace umělých neuronových sítí při zpracování signálů. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04229-8.

CHEN, Wuwei, Hansong XIAO, Qidong WANG a Linfeng ZHAO. Integrated vehicle dynamics and control. 1. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley, 2016. ISBN 978-1-118-37999-8.

HANSEN, John H. L. Digital signal processing for in-vehicle systems and safety. 1. London: Springer, 2012. ISBN 978-1441996060

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne 21. 5. 2021

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá autonomními vozidly a jejich systémy vnímání okolí. Práce obsahuje popis jednotlivých senzorů, které autonomnímu vozidlu slouží k vykreslení prostoru kolem něj. Dále pojednává o funkci senzorů, a především o způsobu zpracování dat získaných sledováním těchto senzorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Autonomní vozidla, senzory, zpracování signálů, neuronové sítě, vnímání autonomního vozidla

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with autonomous vehicles and ways of perception their surrounding environment. The thesis contains description of the sensors, which autonomous car uses to draw the surroundings. Furthermore, the thesis is focused on working of the sensors and primarily on signal processing methods which sensors generates.

KEYWORDS

Autonomous vehicles, sensors, signal processing, deep neural networks, perception of autonomous vehicle

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSTIHA, Petr. *Metody zpracování signálů senzorů autonomních vozidel*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132310>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Pavel KUČERA.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Pavla Kučery a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Petr Kostiha

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Pavlovi Kučerovi PhD. za rychlou odezvu při komunikaci, ochotu konzultovat a odborně mě vést při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při dosavadním studiu.

Petr Kostiha

OBSAH

Úvod	10
1 Autonomní vozidla.....	11
1.1 Vnímání autonomních vozidel	11
1.2 Klasifikace autonomních vozidel.....	12
1.2.1 Dělení podle SAE	12
1.3 Dělení technologií podle NHTSA.....	14
1.3.1 Úroveň 0	14
1.3.2 Úroveň 1	15
1.3.3 Úroveň 2	16
1.3.4 Úroveň 3	16
1.3.5 Úroveň 4	17
2 Senzory autonomních vozidel	18
2.1 Exteroceptivní senzory	18
2.1.1 LiDAR	18
2.1.2 Radar.....	19
2.1.3 Kamera.....	20
2.1.4 Ultrazvukový senzor.....	21
2.2 Proprioceptivní senzory	21
2.2.1 GPS	21
2.2.2 IMU	22
3 Zpracování signálů senzorů	23
3.1 LiDAR	23
3.1.1 Principy laserového měření vzdáleností	23
3.1.2 Přenos a příjem laseru.....	24
3.1.3 Systém vnímání lidarů	25
3.2 Radar.....	27
3.2.1 Fungování radaru.....	27
3.2.2 Clustering and tracking.....	27
3.3 Kamery.....	28
3.3.1 Stereo kamera	28
3.3.2 Rozpoznávání a sledování objektů pomocí kamer	30
3.3.3 Sledování dopravního značení pomocí kamer.....	31
3.3.4 Vidění ve zhoršených podmínkách.....	33
Závěr.....	34
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	38

Úvod

Autonomní vozidla jsou tématem moderní doby, především díky potenciálu zvýšit bezpečnost na silnicích ruku v ruce s větším komfortem cestujících. Výrobci automobilů z celého světa se u svých vlajkových modelů předhánají, kdo přijde s lepší technologií, která pomůže rozvíjet svět autonomního řízení. V současné době se jedná stále spíše o asistenční systémy pomáhající řidiči při řízení než o systémy sloužící k řízení vozidla zcela bez zásahu člověka. Důvodem není ani tak nedostatek technologií, jako zajištění naprosté bezpečnosti použití takového systému v provozu. S tím souvisí také uzpůsobení legislativy států úpravou právních předpisů a zavedením nových opatření. K těmto úpravám by v EU mělo dojít do roku 2025 [1].

Nejznámějšími výrobci na poli autonomních vozidel jsou Tesla, která ve svých autech běžně využívá systému Autopilot, nebo Google se svým projektem Waymo, což je koncept vozidla kompletně bez řidiče, bez volantů a pedálů. Najdou se však i další výrobci jako Volvo, Voyage nebo dokonce Apple.

Motivace vývoje autonomních vozidel spočívá ve zvýšení bezpečnosti provozu díky zamezení velkého počtu nehod způsobených lidskou chybou. S příchodem nových technologií u CAVs (connected-autonomous vehicles) by mělo dojít ke zpříjemnění jízdy zvýšením plynulosti, udržováním bezpečných vzdáleností, kontrole akcelerace a brždění a v neposlední řadě také ke snížení spotřeby paliva. Těmito technologiemi jsou například AEB (Autonomous Emergency Braking) nebo CICAS (Cooperative Intersection Collision Avoidance System).

Autonomní řízení je velice složitý logistický problém a k jeho vyřešení je zapotřebí nejnovějších vědeckých poznatků z fyziky, při vývoji a zdokonalování jednotlivých senzorů, přes informatiku, při zpracování nepřehledného množství dat pomocí neuronových sítí, až po strojírenství, při implementaci všech senzorů do vozidla.

1 AUTONOMNÍ VOZIDLA

Autonomní vozidla jsou obecně vozidla, která jsou schopna vnímat své okolí na základě signálů získaných z implementovaných senzorů. Zároveň jsou schopna svévolného pohybu bez většího zásahu člověka.

1.1 VNÍMÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL

Autonomní vozidlo je takové vozidlo, které dokáže vnímat okolní prostředí kolem sebe. Je to jedna z vlastností, která pomáhá vozidlu zamezit kolizím mezi vozidly a zároveň sledovat jakékoliv jiné druhy překážek v dráze vozidla. K vnímání tohoto vnějšího prostředí vozidlo využívá různých senzorů. Jejich signály zpracuje a následně vyhodnotí. Nejdůležitější senzory jsou lidar, radar, mono kamery, stereo kamera a GPS. Pomocí lidar vozidlo zjišťuje vzdálenosti objektů. Lidar je možné nahradit stereo kamerou, ale ty v současné době nejsou na takové úrovni, aby dokázaly odolávat nepříznivým podmínkám a nemají takovou přesnost jako lidary. Radar vozidlu slouží také k určování vzdáleností a jeho důležitou vlastností je určení relativní rychlosti. Mono kamery se používají k identifikaci jednotlivých objektů, ale i ke sledování dopravního značení, jízdních pruhů atd. [2]



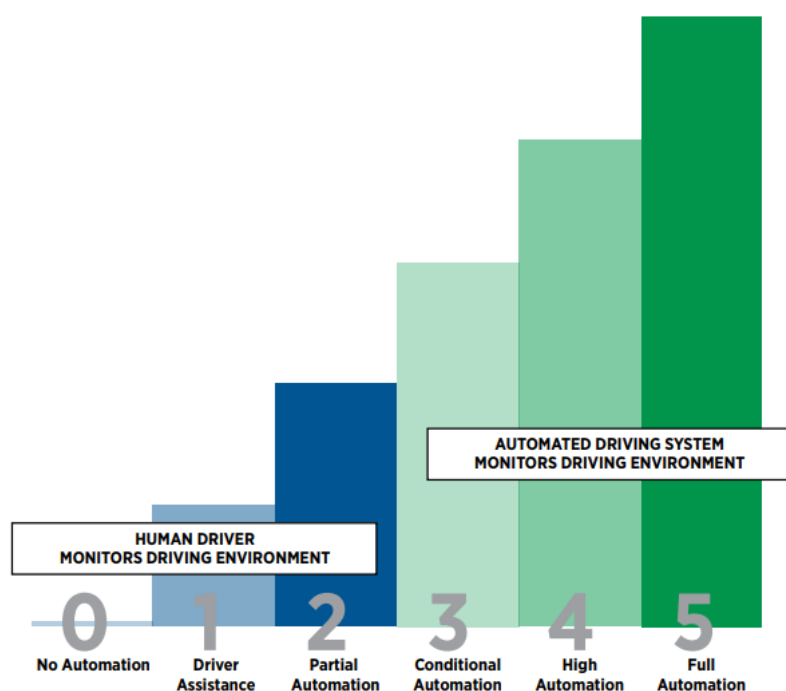
Obr. 1 Kamery a senzory na vozidlech Tesla [19]

1.2 KLASIFIKACE AUTONOMNÍCH VOZIDEL

Podle míry automatizace se autonomní vozidla dělí na 6 stupňů. Původně toto rozdělení provedla NHTSA, která zavedla pouze 5 stupňů. V roce 2016 se však přijalo rozdělení od Society of Automotive Engineers (SAE) na zmiňovaných 6 stupňů.

1.2.1 DĚLENÍ PODLE SAE

Stupně jsou od 0 - bez automatizace, tedy auto plně ovládané člověkem, až po stupeň 4 a 5, tedy plně automatizované.



Obr. 2 Stupně automatizace dle SAE [26]

Podle standardu SAE J3016 je automatizace rozdělena následovně: [3]

- **Úroveň 0** – Senzory a systémy slouží pouze k varování řidiče na situaci na silnici. Jedná se například o systém hlídání mrtvého úhlu, kdy systém upozorní řidiče, který se chystá opustit jízdní pruh, že se v jeho mrtvém bodě zpětného zrcátka nachází jiné vozidlo.
- **Úroveň 1** („hands on“) – Znamená to, že řidič sdílí kontrolu nad vozidlem s automatickým systémem. Do této úrovně se dá zařadit adaptivní tempomat (ACC), který zajišťuje ovládání rychlosti, ale o řízení se stará řidič.
- **Úroveň 2** („hands off“) – V tomto případě to znamená, že se systém stará o akceleraci, brzdění a také řízení, avšak řidič stále musí sledovat situaci a musí být připraven okamžitě reagovat.
- **Úroveň 3** („eyes off“) – „Eyes off“ se dá volně přeložit tak, že řidič nemusí neustále sledovat dopravní situaci. Vozidlo je schopno reagovat na situace, kdy je zapotřebí nouzově zabrzdít. Je ale nezbytné, aby byl řidič schopen převzít řízení ve výrobcem stanoveném časovém limitu.
- **Úroveň 4** („mind off“) – Na této úrovni už není nutná žádná pozornost ze strany řidiče. Řidič tedy může za jízdy i usnout. Těchto systémů může řidič využít jen ve vymezených oblastech. Mimo tyto oblasti by mělo být vozidlo schopno samo zaparkovat, dokud nebude řidič schopen převzít řízení.
- **Úroveň 5** – Není nutný jakýkoliv zásah řidiče do řízení. Tzn. vozidlo se dá využít jako „osobní řidič“.

	Úroveň podle SAE*	Popis úrovně	Řízení vozidla	Sledování dopravní situace	Reakce na dynamickou dopravní situaci	Režimy jízdy (např. dálnice, město)
Dopravní situace sledována řidičem	0	BEZ AUTOMATIZACE - vozidlo řídí výlučně řidič - řidič zároveň sleduje dopravní situaci a reaguje na ni				žádné
	1	ASISTENCE ŘIDIČE - automat provádí úkony spojené buď s příčným pohybem, nebo s podélným pohybem vozidla (nikoli však obojí současně) - řidič neustále sleduje dopravní situaci a musí být připraven v případě potřeby převzít řízení				omezené
	2	ČÁSTEČNÁ AUTOMATIZACE - automat provádí úkony spojené jak s příčným pohybem, tak s podélným pohybem vozidla současně - řidič neustále sleduje dopravní situaci a musí být připraven v případě potřeby převzít řízení				omezené
Dopravní situace sledována vozidlem	3	PODMÍNĚNÁ AUTOMATIZACE - veškeré úkony jsou prováděny automatem - řidič musí být schopen v případě nutnosti převzít řízení				omezené
	4	VYSOKÁ AUTOMATIZACE - veškeré úkony jsou prováděny automatem bez nutnosti zásahu řidiče - automat pracuje v omezených režimech jízdy				omezené
	5	PLNÁ AUTOMATIZACE - veškeré úkony jsou prováděny automatem bez nutnosti zásahu řidiče (řidič neexistuje) - automat pracuje ve všech režimech jízdy				všechny

Obr. 3 Tabulka rozdělení stupňů automatizace dle SAE [1]

1.3 DĚLENÍ TECHNOLOGIÍ PODLE NHTSA

Dříve, než se začalo uznávat rozdělení podle SAE, platilo rozdělení podle National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) z roku 2013 pouze na 5 úrovní. Toto rozdělení zahrnuje také rozdělení technologií podle jednotlivých úrovní automatizace. [4]

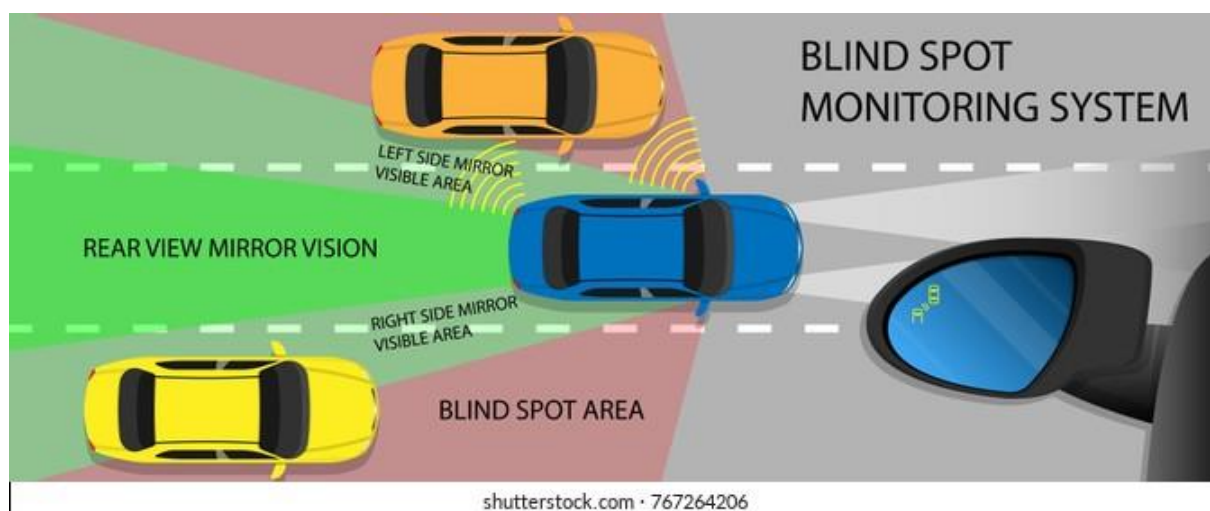
1.3.1 ÚROVEŇ 0

SYSTÉM VARUJÍCÍ PŘED PŘEDNÍ KOLIZÍ

Podle NHTSA je systém forward collision warning (FCW) definován jako systém, který řidiči pomáhá pasivně vyhnout se srážce pomocí zvukové, vizuální nebo také haptické odezvy, anebo kombinací těchto prvků. Systém k detekci využívá kamery, radaru nebo také lidar. [4]

SLEDOVÁNÍ MRTVÉHO ÚHLU

Existují dva typy monitoringu, aktivní a pasivní. Aktivní využívá především radar nebo kameru k zaznamenání blízkosti jiného vozidla. V případě zaznamenání takového vozidla, systém řidiče upozorní. Podle míry nebezpečí se zvyšuje intenzita upozornění. Pasivní sledování mrtvého úhlu spočívá pouze v přidání přídavných zrcátek, která by měla zahrnout i právě zmiňovaný slepý neboli mrtvý úhel. [4]



Obr. 4 Systém hlídání mrtvého úhlu [20]

SLEDOVÁNÍ VYBOČENÍ Z JÍZDNÍHO PRUHU

Tento systém funguje obdobně jako systém sledování mrtvého úhlu. Sleduje vozidla ve vedlejším jízdním pruhu a upozorní řidiče na možné nebezpečí při změně jízdního pruhu. Může jej také upozornit na možné nežádoucí vybočení z aktuálního jízdního pruhu. [4]

ROZPOZNÁNÍ DOPRAVNÍHO ZNAČENÍ

Slouží k rozpoznání a zobrazení následujícího dopravního značení, které by mohl řidič přehlédnout. K detekci je využívána kamera, rozpoznávací systém, který se stará o identifikaci významu značek zachycených kamerou pomocí rozpoznávání obrazu, a dále displej. V zásadě se systém potýká se třemi hlavními nedostatky jako špatné světelné podmínky a viditelnost, stínění jinými objekty a provedení dopravního značení. [4]

LEFT-TURN ASSIST

Left-turn assist (LTA) k fungování využívá kameru a GPS. Slouží k upozornění řidiče při pokusu o odbočení vlevo v křižovatce, kde nejsou bezpečné podmínky. Pomocí laserových snímačů umístěných vpředu vozidla je systém schopen sledovat protijedoucí vozidla až na vzdálenost 100 metrů. Je navržen pro fungování při nízkých rychlostech do 10 km/h. [4]

ADAPTIVNÍ SVĚTLOMETY

Adaptivní světlomety jsou schopny měnit směr a intenzitu osvětlení, aby co nejlépe osvětlily okolí. Zároveň jsou schopné přizpůsobit osvětlení tak, aby co nejméně oslnily jiná vozidla. Tato funkce pozitivně přispěla k většímu bezpečí provozu. [4]



Obr. 5 Adaptivní světlomety General Motors [21]

1.3.2 ÚROVEŇ 1

ADAPTIVNÍ TEMPOMAT

Umožňuje vozidlu udržovat konstantní rychlost stejně jako klasický tempomat. Oproti klasickému tempomatu umožňuje adaptivní tempomat vozidlu přizpůsobit se rychlosti pomaleji jedoucího vozidla před ním a udržovat od tohoto vozidla bezpečnou vzdálenost. Jakmile před vozidlem není žádné vedoucí vozidlo, systém automaticky akceleruje na původně nastavenou rychlost. Adaptivní tempomat k určení vzdálenosti a rychlosti vedoucího vozidla nejčastěji využívá radar a digitální procesor. [4]

AUTOMATICKÉ NOUZOVÉ BRZDĚNÍ

Už podle názvu systému je možné předtušit jeho funkci. Systém hlídá prostor před vozidlem a je schopen okamžitě začít automaticky brzdit a zabránit tak bezprostřední srážce. AEB systém využívá senzory schopné rozpoznat vzdálenost, kontrolní systémy ke zpracování dat ze senzorů, automatické ovládání brzd ke zpomalení nebo k úplnému zastavení vozidla. [4]

SYSTÉM UDRŽOVÁNÍ JÍZDNÍHO PRUHU

Tento systém brání vozidlu na dálnici vybočit z jízdního pruhu. Je navržen spíše k zajištění bezpečnosti, než jako hands-free mechanismus. Adaptivní systém lane-centering zajišťuje, aby se vozidlo udržovalo uprostřed pruhu s využitím elektronického řízení. Data k řízení systém získává z kamery umístěné na čelním skle, která sleduje značení jízdních pruhů, jak bílých, tak žlutých. [4]

ELEKTRONICKÁ KONTROLA STABILITY

Electronic stability control (ESC) je pravděpodobně pro bezpečnost nejvíce prospěšná, dosud představená technologie. Je navržena tak, aby zajistila řidiči vždy plnou kontrolu nad vozidlem tím, že předchází smyku a převrácení vozidla, které by mohly nastat při manévrech ve vysokých rychlostech nebo na kluzké vozovce.

ESC měří vstup z řízení a porovnává jej s úhlem natočení, tedy jak moc auto doopravdy zatačí. Pokud je mezi těmito proměnnými rozdíl, ESC automaticky zbrzdí ta kola, která jsou potřeba, aby vozidlo zatočilo požadovaným směrem. V případě potřeby ubere také plyn. [4]

RODIČOVSKÁ KONTROLA

Rodičovská kontrola cílí na zvýšení bezpečnosti mladých začínajících řidičů. Využívá technologie kontrolující jejich chování. Jedná se například o omezovač rychlosti, omezovač hlasitosti radia k většímu soustředění na jízdu, připomenutí zapnutí bezpečnostního pásu a upozornění na povolenou rychlost. [4]

1.3.3 ÚROVEŇ 2

ASISTENT V DOPRAVNÍ ZÁCPĚ (TRAFFIC JAM ASSIST)

Dá se použít pouze na dálnici při nízkých rychlostech. Tento systém přebírá veškerou kontrolu nad vozidlem. Řidič je o celém procesu důkladně informován a kdykoliv může převzít kontrolu zpět do svých rukou. [4]

VYSOKORYCHLOSTNÍ AUTOMATIZACE

High speed automation je systém, který při jízdě na dálnici při vysokých rychlostech zajišťuje ovládání rychlosti a hlídání jízdních pruhů. Když je systém aktivní, řidič může sundat ruce z volantů až do doby, než by chtěl změnit jízdní pruh, nebo když už systém nedokáže dále řídit vozidlo z důvodu špatného stavu komunikace. [4]

1.3.4 ÚROVEŇ 3

Na této úrovni automatizace řidič nemusí v obvyklých situacích sledovat vozovku. V případě potřeby zásahu řidiče, poskytne systém řidiči dostatek času na přebrání řízení. [4]

ON-HIGHWAY PLATOONING

Vozidla mohou mít v koloně menší rozestupy mezi sebou. Tato technologie umožňuje řídit kolonu prostřednictvím vedoucího vozidla, které je následováno plně autonomními vozidly. V této koloně, na sobě závislá vozidla, zrychlují a zpomalují současně, a to by mělo významně přispět k šetření paliva a ke snížení emisí. [4]

AUTOMATIZOVANÝ PROVOZ PRO VOJENSKÉ POUŽITÍ

Vývoj této technologie byl sponzorován Armádou Spojených států amerických. Jedná se o implementaci systémů do stávajících armádních vozidel. Účelem je umožnit armádním vozidlům pracovat na jakémkoliv typu vozovky za nebo bez přítomnosti řidiče. [4]

AUTOPILOT TESLA

Zahrnuje technologie jako: lane-centering, parkovací asistent, automatická změna jízdního pruhu, poloautonomní řízení v povolených oblastech a schopnost přivolat k sobě vozidlo z garáže nebo z parkovacího místa. [5]



Obr. 6 Ukázka Autopilota od Tesly [5]

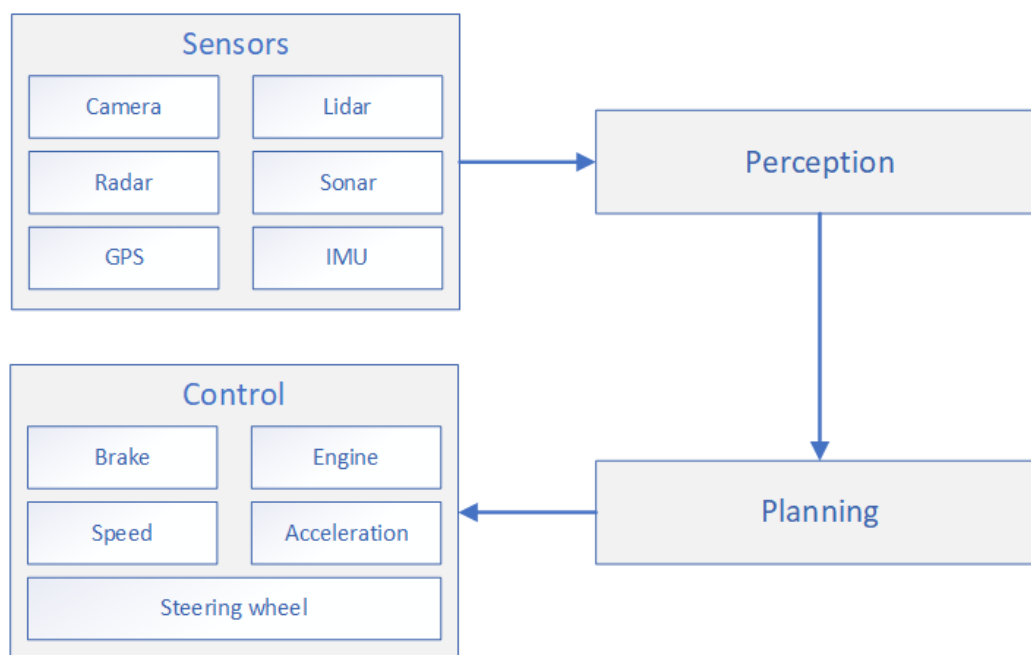
1.3.5 ÚROVEŇ 4

AUTO BEZ ŘIDIČE OD GOOGLU (GOOGLE'S DRIVERLESS CAR)

Google v květnu 2014 představil prototyp automobilu bez řidiče, které nemá pedály ani volant. V prosinci téhož roku už vyrobil plně funkční prototyp tohoto vozidla a na začátku roku 2015 začal s jeho testováním v San Franciscu. [4]

2 SENZORY AUTONOMNÍCH VOZIDEL

Základním stavebním kamenem, bez kterého by autonomní vozidlo vůbec nemohlo fungovat, jsou senzory. Senzory vytvářejí obraz okolního prostředí auta, a poté by tyto informace v co nejkratším čase měly poslat do řídicí jednotky, aby mohlo vozidlo v reálném čase reagovat na podněty z okolí. Řídicí jednotka ovládá zrychlení a brždění, natačení volantu, otáčky motoru a rychlost vozidla.



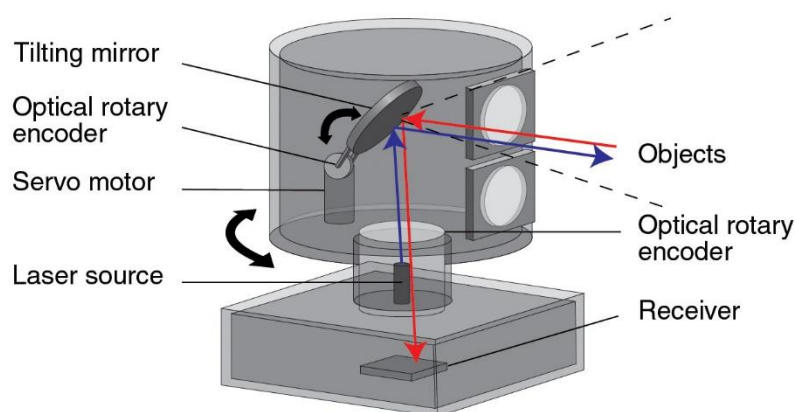
Obr. 7 Blokové schéma systému autonomního vozidla [18]

2.1 EXTEROCEPTIVNÍ SENZORY

Tyto senzory slouží k vnímání okolního prostředí a pro výpočty vzdáleností objektů od vozidla.

2.1.1 LiDAR

LiDAR neboli Light Detection & Ranging je založený na principu Time of Flight (ToF), kdy laserová dioda v senzoru vyšle laserový paprsek o vlnové délce blízké infračervenému světlu, ten se odrazí zpět do detektoru záření umístěného v senzoru a elektronika poté měří časový rozdíl mezi vyzářeným a odraženým signálem, který je úměrný vzdálenosti. Výstupem z LiDARu jsou takzvané 3D point clouds, což v překladu znamená mračna bodů, která představují 3D tvary a objekty. [6]



Obr. 8 Rotující Lidar [22]

LiDAR se skládá z tzv. laserového měřicího systému a ze skenovacího systému. Laserový měřicí systém se skládá 1) z laserového vysílače, který ozáří objekt prostřednictvím modulované vlny; 2) z detektoru záření, který vytváří elektrický signál z odraženého fotonu pomocí optického zpracování a fotoelektrické přeměny; 3) z optiky, která usměrňuje vyzářený paprsek a odražený paprsek soustředí na detektor záření; 4) z elektroniky, která se stará o zpracování signálu a odhaduje vzdálenost mezi zdrojem paprsku a odrazovým povrchem. Skenovací systém zpravidla natáčí laserový paprsek do různých směrů a vertikálních úhlů, označených ϕ_i , θ_i , kde i je index zastupující směr, kterým zrovna míří paprsek. [6]

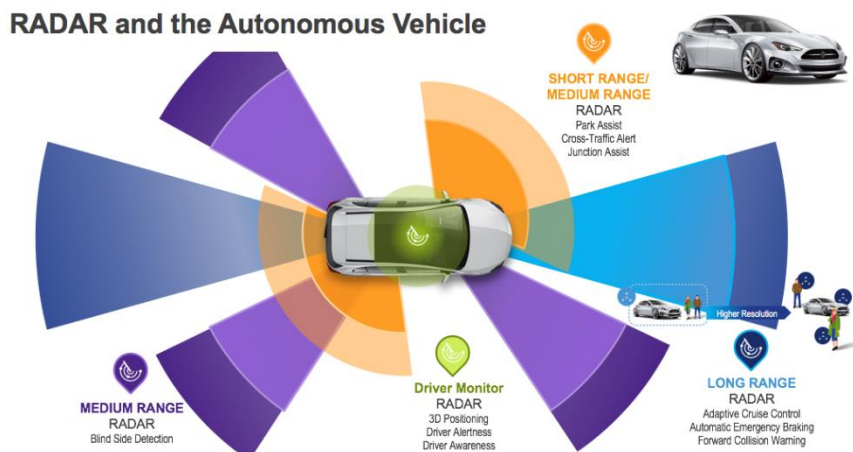
V dnešní době jsou LiDARy schopné vyzařovat impulsy s frekvencí větší než 150 kHz (150 000 impulsů za sekundu) a mohou takto přesně rozpoznávat objekty na vzdálenost až 250 m. Vyznačují se velkou přesností, avšak také vysokou cenou, proto se někteří výrobci snaží lidar nahradit s využitím jiných senzorů. [7]

2.1.2 RADAR

Radary využívají rádiových vln pro měření vzdálenosti, úhlu a rychlosti objektů. Pracuje na principu elektromagnetického záření, které se používá v násobcích frekvenčních pásmech (např. 24 GHz, 77 GHz, 79 GHz). Čím větší frekvence, tím vyšší rozlišení. [7]

Radar je považován za senzor s krátkým až středním dosahem, i když některé jsou schopné rozeznat objekty až ve vzdálenosti 150 m. Oproti lidarů jsou mnohem levnější. [7]

V provozu jsou využívány pro detekci kolize a tato technologie zajišťuje například i funkci adaptivního tempomatu, protože je schopna rozeznat relativní rychlost pohybujícího se objektu, v tomto případě vozidla jedoucího před ním. [7]



Obr. 9 Radary v autonomním vozidle [23]

2.1.3 KAMERA

Kamery v dnešní době patří mezi senzory s největším potenciálem. Je to díky jejich výborné detekční schopnosti a následné schopnosti identifikace objektů. Použití více kamer poskytuje 360° obraz okolí auta. Novodobá auta jsou často vybavena kamerami umístěnými na jejich zadní části. Tyto kamery slouží k lepší orientaci řidiče, například při couvání nebo parkování.[8]



Obr. 10 Stereo kamera ve vozidle Tesla [24]

Systémy zprostředkovávající 360° video mají obvykle centralizovanou architekturu pro zpracování dat z 4 až 6 kamer. Toto zpracování je prováděno softwarově a k analýze a předpovědi rozdílů obrazů vyžaduje velmi výkonné procesory a velkou kapacitu úložiště. Toto zpravidla poskytují velmi výkonné grafické karty vyvíjené přímo pro autonomní řízení. Hlavním výrobcem těchto grafických čipů je v dnešní době firma NVIDIA, která se mimo grafické karty pro běžné počítače, věnuje vývoji grafických čipů pro autonomní řízení. Jejich vývojový tým v této oblasti zajišťuje vývoj grafických karet také do menších robotů, jako jsou například RC vozítka. Na tomto vývoji spolupracuje s největšími firmami z celého světa. [8]

Kromě identifikace objektů se dá kamera využít i pro měření vzdáleností a tím nahradit další senzory, jako radar nebo lidar. Jedná se o použití stereo kamery, která pracuje na podobném principu jako lidské oči. Tzn. obě kamery sledují jeden prostor, systém zpracuje jednotlivé výstupy z kamer a označí jednotlivé objekty body, a následně odpovídající si body a geometrie z levé i pravé kamery porovná. Asi největším propagátorem kamer je Elon Musk ve své Tesle.

Její hlavní výhodou oproti dvěma předešlým sensorům je ta, že dokáže rozeznat barvy a textury. Toho je využito při rozpoznávání dopravního značení a semaforů nebo čar na silnici. Velkou výhodou kamer je nízká cena a velmi dobrá dostupnost.

Naopak nevýhodou kamer je citlivost na nízké osvětlení a také na nepříznivé počasí. Z tohoto důvodu se v autonomních vozidlech nejčastěji využívá kombinace kamery a lidarů nebo radarových systémů, které na tyto vlivy „netrpí“. [7]

2.1.4 ULTRAZVUKOVÝ SENZOR

Ultrazvukový senzor k určení vzdálenosti objektů využívá zvukových vln, přesněji ultrazvuku. Funguje na podobném principu jako lidar. Místo světelného signálu však průběžně vysílá vysokofrekvenční zvukové vlny, které se poté odrazí zpět do senzoru. Elektronické součástky senzoru poté vyhodnotí čas návratu signálu a převedou jej na vzdálenost. [8]

Největší výhodou tohoto senzoru je kombinace jeho nízké ceny a odolnosti vůči nepříznivému počasí. Zároveň je považován za nejpresnější senzor na blízkou vzdálenost. Proto v oblasti automobilů nachází využití zejména u parkovacích senzorů. Funkci těchto senzorů do značné míry ovlivňuje rušení zvukových vln způsobené změnami šíření prostředím, například změna teploty, tlaku nebo vlhkosti. [7]

2.2 PROPRIOCEPTIVNÍ SENZORY

Tento druh senzorů se používá k měření veličin týkajících se samotného vozidla. Jedná se o polohu auta, otáčky motoru, natočení kol atd.

2.2.1 GPS

GPS neboli Global Positioning System, poskytuje informace o poloze vozidla na Zemi v určitém čase. Používá satelitů provozovaných Armádou Spojených států, které obíhají kolem Země. GPS přijímač je pomocí signálů vyslaných z těchto satelitů schopen určit polohu vozidla kdekoli na Zemi použitím trilaterační metody. Trilaterace je proces určení polohy bodů měřením vzdáleností za pomoci kruhů, trojúhelníků a kulových ploch. Většina GPS přijímačů používá jedno-frekvenční GPS signál, který dosahuje přesnosti okolo 3 m, přičemž v komerčním využití mohou dosáhnout přesnosti až 1 m. Průzkumné GPS jednotky jsou zpravidla dvou-frekvenční a mají přesnost v řádech několika centimetrů, ale jsou velmi nákladné. Nevýhodou GPS systému je nutnost přímé viditelnosti mezi satelitem a GPS přijímačem. To způsobuje problémy v budovách, tunelech, lesích atp. [7]

2.2.2 IMU

IMU je zkratka pro Inertial Measurement Unit a jedná se o elektronické zařízení, které je schopno měřit sílu, úhlovou rychlost a magnetické pole. Vesměs se skládá ze tří akcelerometrů, gyroskopů a magnetometrů vždy pro jednu ortogonální osu X, Y a Z. IMU se běžně využívá k ovládání autonomních vozidel. Inertial Navigation System (INS) zpracovává data dodané z IMU k dalšímu výpočtu rychlosti natočení a poloze vůči globálnímu souřadnicovému systému. IMU nám dává informace pouze o pohybu, nikoliv o poloze v prostoru, proto použití musí být kombinováno s dalšími systémy, například GPS. [7]

3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ SENZORŮ

Autonomní řízení zahrnuje obrovské množství dat, výpočtů a inovací algoritmů zpracování. Proto se jako centrální řídicí jednotky volí grafické karty, vyvíjené speciálně pro autonomní řízení, které mají dostatek výkonu a operační paměti, aby zajistily vozidlu možnost reagovat na podněty z okolí v reálném čase. Vývojem těchto karet se zabývá především firma NVIDIA, která na vývoji spolupracuje s dalšími světovými výrobci automobilů atd. [9]

Základem vnímání a schopnosti vozidla dělat rozhodnutí jsou neuronové sítě. Ty jsou trénované na obrovském množství jízdních dat získaných v reálném provozu zahrnující různé situace, se kterými se auta setkávají na denní bázi. Tyto informace jsou získávány flotilou automobilů s implementovanými senzory, které denně jezdí a generují petabajty dat. [9]

3.1 LIDAR

Fungováním lidarů v autonomním řízení se zabývá článek [6], proto se v této kapitole inspiroji právě tímto článkem.

3.1.1 PRINCIPY LASEROVÉHO MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ

Způsob, jakým laserové měřiče vzdáleností pracují, záleží na typu modulace signálu použitého laserového paprsku. U impulsních laserů se měří „čas letu“, neboli Time of Flight (ToF), známé také jako laserové měřiče přímou detekcí. Laserovým signálem může být také frekvencí modulovaná spojitá vlna (FMCW), která nepřímo měří vzdálenost a rychlost z Dopplerova efektu. Ty jsou také známé jako laserové měřiče vzdálenosti koherentní detekcí.

ROVNICE VÝKONU LIDARU

Zprv je laser oslabován prostředím, a poté rozptýlený po odrazu od povrchu objektu. Toto je částečně zachyceno přijímací optikou a nakonec detektorem záření transformováno na elektrický signál. Pro objekt ve vzdálenosti r , můžeme množství přijatého výkonu P_r fotodetektorem definovat jako

$$(1) P_r = E_p \frac{c\eta A_r}{2r^2} \cdot \beta \cdot T_r$$

kde E_p je celková energie vyzářeného paprsku laseru a c je rychlost světla. A_r zastupuje obsah přijaté světelnosti ve vzdálenosti r , η je celková účinnost systému a β je odrazivost povrchu objektu, která je dána vlastnostmi povrchu a úhlem odrazu. Veličina T_r definuje ztrátu přenosu skrz přenosové médium. Z rovnice (1) vyplývá, že výkon P_r závisí na vzdálenosti r nepřímo úměrně kvadraticky.

TIME OF FLIGHT

ToF laserový měřič vzdálenosti měří vzdálenost pomocí rozdílu časů Δt mezi vyslaným a přijatým paprskem

$$(2) r = \frac{1}{2n} c \Delta t$$

kde c je rychlost světla, n je index lomu daného prostředí a Δt je časový úsek mezi vysláním a přijímáním laseru.

ToF lidary na trhu s autonomními vozidly převládají díky jejich jednoduchosti konstrukce a způsobu zpracování signálu. Jejich nevýhodou je však omezení zvyšování maximálního dosahu kvůli požadavkům ochrany zraku. Také odražený paprsek může interferovat se silným slunečním světlem nebo s laserovými paprsky jiných ToF lidarů.

KOHERENTNÍ DETEKCE

Mísením místního nosného signálu s přijatým signálem je možné separovat přijatý signál, a tedy je možné získat fázi a frekvenční posun laserového signálu. Odtud získáme vzdálenost a rychlost z odrazového povrchu.

$$(3) f_{if} = \frac{4rB}{ct} = \frac{f_{if}^+ + f_{if}^-}{2}, f_d = \frac{f_{if}^+ - f_{if}^-}{2} \text{ (když } f_d < f_{if} \text{)}$$

kde B, r a t jsou modulace šířky pásma, křivky periody a rychlosti světla.

Rychlost získáme jako

$$(4) v = \frac{f_d \lambda}{2}$$

kde λ je vlnová délka laseru.

FMCW lidary nepřetržitě ozařují objekty menší energií, proto jsou méně škodlivé pro oči, a proto je větší potenciál ve zvyšování výkonu.

3.1.2 PŘENOS A PŘÍJEM LASERU

ToF lidary potřebují impulsní laserový signál, který je generován impulsní laserovou diodou nebo vláknovým laserem. Impulsní laserové diody používané v automobilovém použití jsou hybridní zařízení: laserový čip propojený s kondenzátory, které jsou aktivovány tranzistorem MOSFET. Vláknové lasery mohou mít vyšší výstupní výkon, který je užitečný při použití vyšších vlnových délek.

Volba vlnové délky by měla brát ohled na atmosférická okna, požadavky na bezpečí zraku a také cenu. Nejvíce rozšířené jsou vlnové délky od 850 do 950 nm.

DETEKTOR ZÁŘENÍ (FOTODETEKTOR)

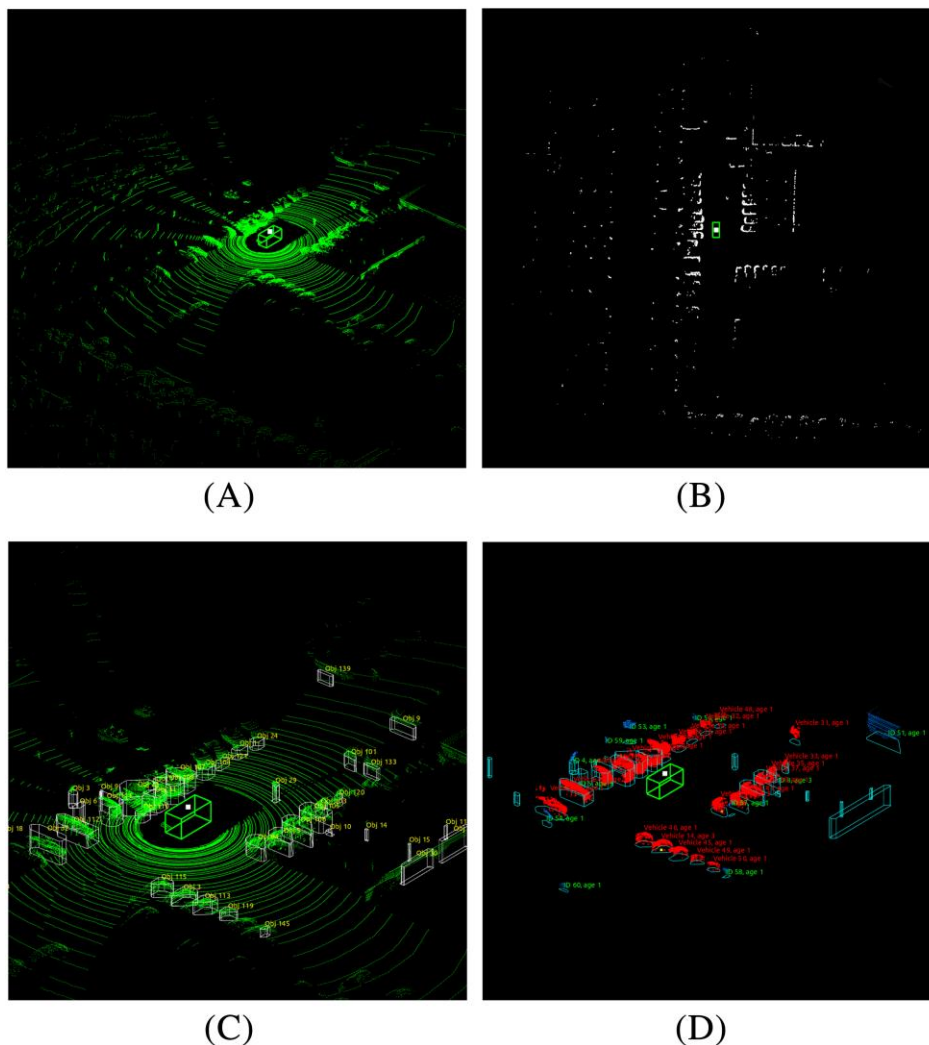
Detektor záření převádí optický výkon na elektrickou energii pomocí fotoelektrického jevu. Fotosensitivita, která popisuje odezvu fotodetektoru zachytávající fotony, je jedna z důležitých vlastností. Závisí na vlnové délce přijímaného paprsku, proto je jeho volba blízce spjata s výběrem vlnové délky laseru.

SNÍMACÍ SYSTÉM

Snímací systém nebo také systém řízení paprsků je navrhován tak, aby umožnil paprskům prozkoumat co největší oblast v krátkém čase. Současné přístupy snímání jsou založeny na mechanickém otáčení nebo na polovodičích, které jsou preferovány v automobilovém průmyslu.

3.1.3 SYSTÉM VNÍMÁNÍ LIDARU

Klasická sekvence zpracování dat lidarů se skládá ze čtyř kroků: detekce objektu, sledování objektu, rozpoznání objektu a předpověď pohybu. S příchodem hlubokého učení (deep learning) se tato sekvence změnila.



Obr. 11 Zpracování mraku bodů. [25]

*A-Surová data 3D mraku bodů; B-2D mřížka obsazenosti;
C-Kandidáti na vozidlo získaní slučováním; D-Červeně zaznačené
vozidla*

DETEKCE OBJEKTU

Algoritmus detekce objektu provede výpis kandidátů na objekt a odhadne jejich fyzikální vlastnosti, jako pozici a tvary detekovaného objektu. Vzhledem k tomu, že ve většině případů jsou cíle kolmé k rovné zemi, algoritmy obvykle obsahují filtraci země. Body, které nejsou na zemi, jsou seskupeny do různých objektů použitím slučovacích metod.

Mračna bodů z lidarů, jsou promítnuta do polární mřížky, rozdělené na 360° kolem lidarů. Body v každé z buněk mřížky jsou postupně vyhodnocovány a vytvoří virtuální sken, který určí oblast jako volnou, obsazenou nebo uzavřenou. Rovné buňky jsou klasifikovány jako buňky země a ostatní jsou slučovány označením připojených komponent.



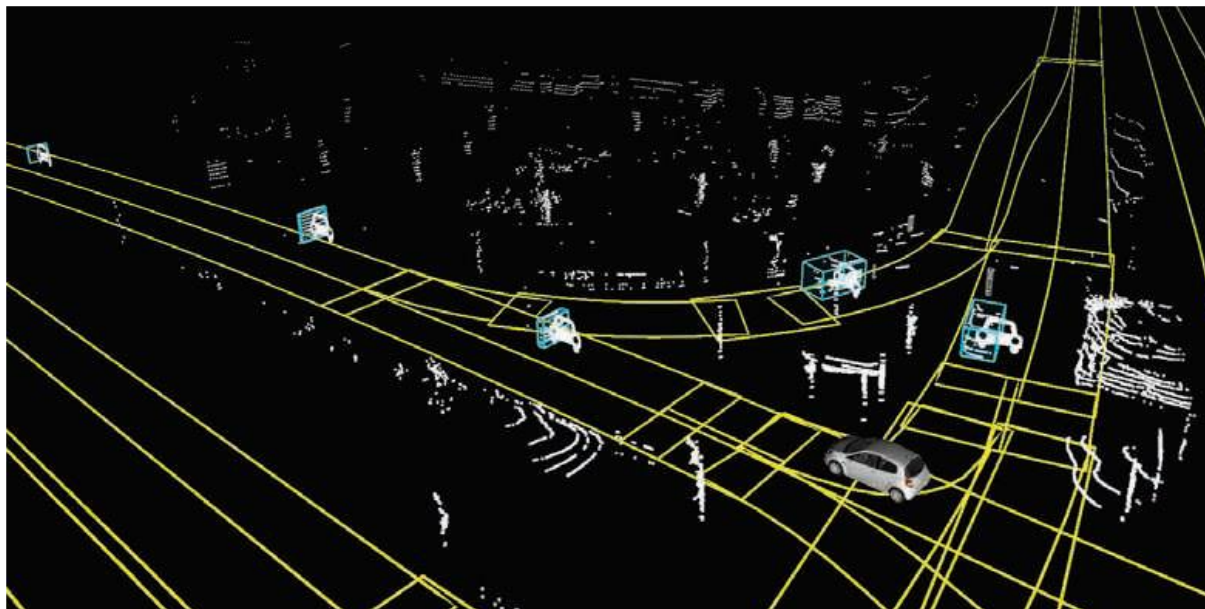
Obr. 12 Příklad detekce objektu [6]

ROZPOZNÁNÍ OBJEKTU

Strojové učení, stojící na metodě object-recognition, poskytuje sémantické informace (například kategorie chodců, vozidel, nákladních automobilů, stromů, budov atd.) detekovaných objektů. Běžný rozpoznávací proces se skládá z kroku extrakce prvků, zahrnující kompaktní popis objektů, a z klasifikačního kroku, kde předem trénované klasifikátory provádějí predikce kategorie objektů založené na extrakci prvků. Souhrnně mohou být tyto informace rozděleny do dvou tříd: tzv. globální prvky pro celý objekt a lokální prvky pro každý bod. Globální prvky zahrnují velikost, centrální momenty nebo maximální intenzitu objektu.

Aplikace analýzy hlavních komponent (principal component analysis) na 3D mrak bodů je další efektivní metoda pro získání globálních tvarových prvků. Tři charakteristické prvky (ucelenost, lineárnost a rozložitost) můžeme získat analýzou vlastních čísel získaných z analýzy hlavních komponent. Pro lokální prvky se počítá se třemi charakteristickými prvky pro každý bod a jeho sousedící body. Jako lokální prvky jsou extrahovány tři histogramy skládající se ze 4 intervalů (bin) mezi 0 a 1 pro 3 charakteristické prvky.

Proces následující po extrakci prvků se nazývá klasifikace. Jedná se o typický proces strojového učení. Klasifikátor, trénovaný tzv. ground-truth data sets (kolekce dat porovnávaných s realitou), předpovídá kategorii objektu. Znamé data sety, jako KITTI, poskytují bohaté zdroje.



Obr. 13 Příklad rozpoznání objektu [6]

3.2 RADAR

Radar využívá elektromagnetických vln k rozpoznání a následné lokalizaci objektu v jeho zorném poli.

3.2.1 FUNGOVÁNÍ RADARU

V automobilovém průmyslu se hojně využívá FMCW radar (Frequency Modulated Continuous Wave), což se dá volně do češtiny přeložit jako radar s kontinuálními vlnami. Jedná se o typ radaru, který vysílá signál o zvyšující se frekvenci přezdívaný „chirp“. Odražené vlny vracející se od objektu před ním, jsou smíseny s vysílaným signálem. Výsledný signál se nazývá IF signál (Intermediate Frequency). Odražená vlna každého z objektů, jenž doputuje do radaru, vytváří IF signál, který způsobí peak ve frekvenční oblasti při použití FFT (Fast Fourier Transform), česky rychlá Fourierova transformace. Ten nám dává informaci o dosahu objektu a to je úměrné vzdálenosti radaru (vozidla) od objektu. Také rozsah rozlišení je velmi důležitý parametr, definován jako schopnost rozlišit dva objekty umístěné blízko sebe. [10]

3.2.2 CLUSTERING AND TRACKING

K detekci více objektů umístěných v blízkosti kolem vozidla potřebujeme radar s vysokým rozlišením. Tento radar nám poskytuje více odrazů vln z jednoho objektu. V místě, kde se vlna odrazí, se definuje bod. Abychom byli schopni přiřadit odrazy (body) stejnému objektu, musíme použít slučovací algoritmus. Zároveň musí být schopen sledovat více takových objektů. [10]

Algoritmus běží na DSP neboli digitálním signálním procesoru. Jedná se o group tracking algoritmus, který je navržen ke sledování více objektů, z nichž každému je přiřazen soubor měřicích bodů obsahující informace, jako vzdálenost, rychlost, směr a nadmořská výška. Místo sledování jednotlivých bodů, algoritmus předpoví a aktualizuje pozici a rozptyl vlastností skupiny bodů. Skupina se skládá většinou z desítek, někdy až stovek bodů propojených s reálným objektem. [10]

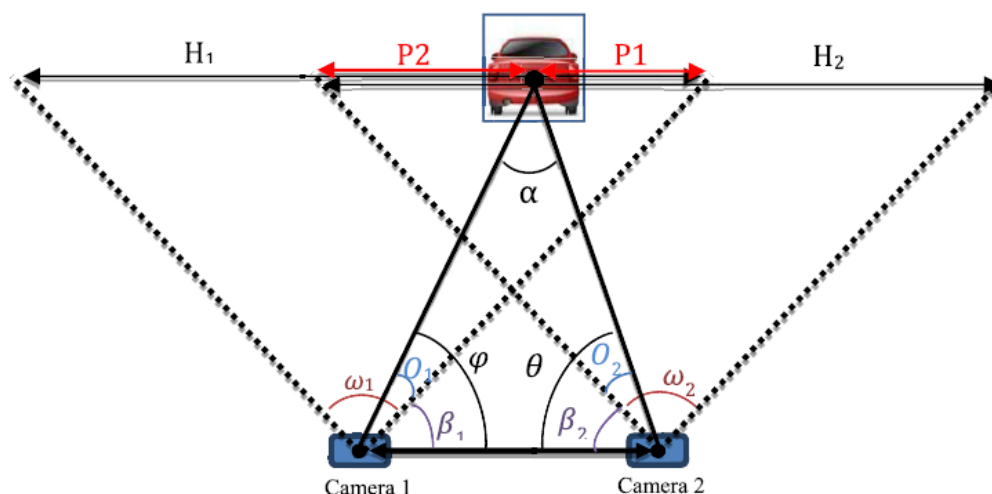
3.3 KAMERY

Existují dva typy měření vzdálenosti. Prvním z nich je aktivní měření, které je založeno na principu time of flight. To zajišťují senzory jako lidar, radar nebo ultrazvukový senzor. Pasivní měření vzdálenosti je založeno především na kamerách a na počítačové vidění. Používá se mono vidění za použití jedné kamery, která odhaduje vzdálenost na základě referenčních bodů v jejím zorném poli. Nevýhodou mono vidění je nízká přesnost, proto se častěji využívá stereo vidění za použití dvou horizontálně vedle sebe umístěných kamer, které je mnohem přesnější. [11]

V současné době kamery využívá mnoho aut pro asistenční systémy, kdy využívají přední a zadní kamery, například pro funkci adaptivního tempomatu (ACC) nebo pro systém hlídání jízdního pruhu. Autonomní vozidla však vyžadují větší počet kamer k zajištění 360° vidění. [12]

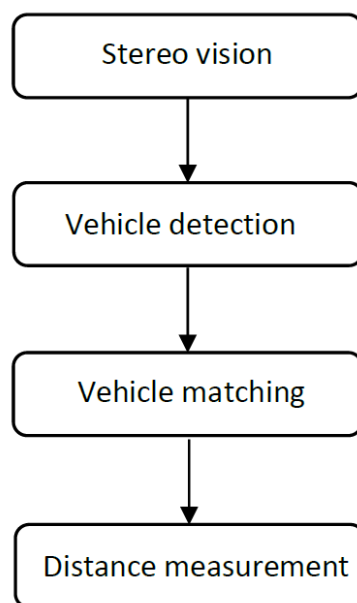
3.3.1 STEREO KAMERA

Stereo vidění je počítačové vidění založené na stereoskopické metodě měření vzdálenosti. Systém využívá dvě kamery jako jednu a snaží se vykreslit hloubku obrazu a k výpočtu vzdálenosti s velkou přesností využívá rozdíly objektů mezi kamerami. V článku [13] byla představena metoda odhadu vzdálenosti založená na trigonometrických rovnicích. Jejich metoda aplikuje metody zpracování obrazu ke zvýšení výpočetní rychlosti. Jedná se například o snížení rozlišení a převedení obrazu z RGB oblasti do oblasti stupňů šedi. Následuje extrakce pozice vozidla z obou kamer, a nakonec odhad vzdálenosti na základě stavu vozidla získaného ze stavových rovnic odvozených z trigonometrické metody. [14]



Obr. 14 Ilustrace úhlů používaných k výpočtu vzdálenosti [11]

V této práci detailněji popíšu metodu zpracovanou v článku [14]. Tato metoda je rozdělena do tří částí: detekce vozidla, stereo porovnávání a měření vzdálenosti.



Obr. 15 Vývojový diagram metody zpracování [14]

DETEKCE VOZIDLA

Přesnost měření vzdálenosti mezi vozidly je úzce spjata s kvalitou detekce vozidla. Proto se pro určení přesné polohy používá velmi výkonný algoritmus detekce vozidla. Ten je rozdělen na dvě hlavní části: vytváření hypotéz a jejich následné ověřování. První část se skládá z extrakce horizontálních a vertikálních hran ze vstupního obrazu použitím detekce hran, a poté vytváření všech potenciálních pozic vozidla s využitím cross correlation technique, což je způsob měření podobnosti dvou funkcí. Druhá část zahrnuje ověřování všech vygenerovaných pozic z předchozí části a označení hran jako vozidla nebo jiné objekty. Součástí druhé fáze je extrakce objektů pomocí diskrétní vlnkové transformace 3. stupně a klasifikace potenciálních pozic na základě extrakce objektů pomocí klasifikátoru AdaBoost. Většinou je tento postup aplikován u obou kamer, avšak pro urychlení se detekce vozidla provádí pouze na jedné z kamer. [14]

PROPOJOVÁNÍ VOZIDEL

Jakmile je vozidlo detekováno první kamerou, je tento výstup porovnáván s obrazem zachyceným druhou kamerou a odpovídající si vozidla jsou navzájem propojena porovnávací metodou tak, že systém kříží obrazy ve stejné horizontální poloze vozidla pomocí cross correlation technique. [14]

MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

Obě kamery jsou vertikálně zarovnané a jsou umístěné vedle sebe v určité známé vzdálenosti od sebe. Jsou tedy, podobně jako lidské oči, schopné zachytit hloubku obrazu a tím odhadovat vzdálenost. Poté, co jsou vozidla z jednotlivých kamer navzájem propojena, systém s využitím trigonometrických funkcí měří, jak jsou tato vozidla vzdálena. [14]

3.3.2 ROZPOZNÁVÁNÍ A SLEDOVÁNÍ OBJEKTŮ POMOCÍ KAMER

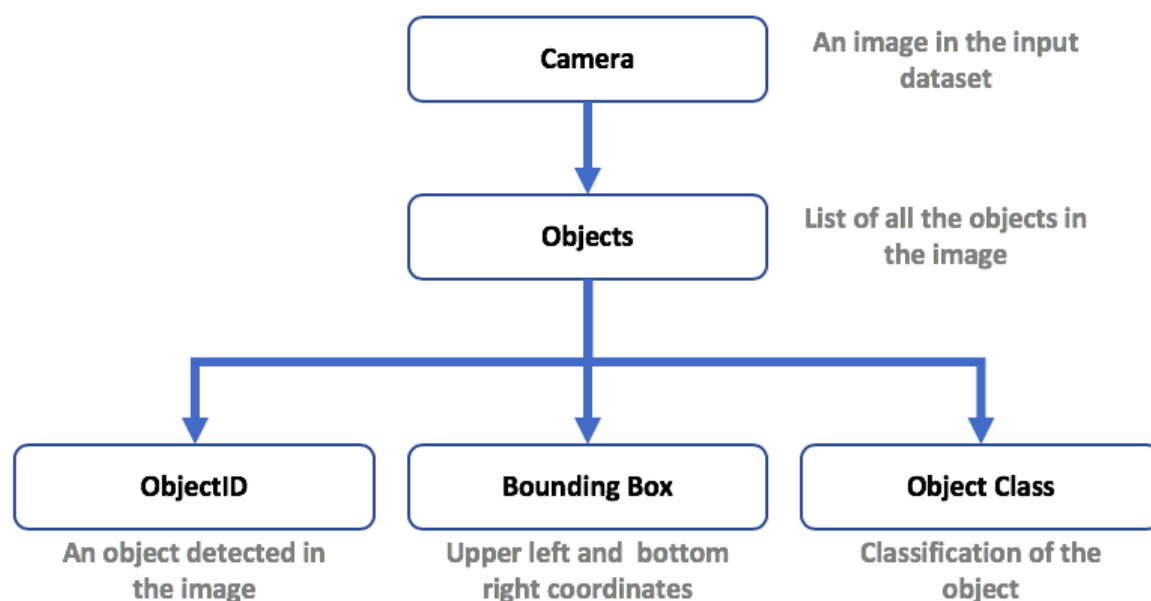
K rozpoznání a následnému sledování objektů vyžaduje vozidlo software, který detekuje objekty, ohraničí rozpoznaný objekt (tzv. bounding box) a přiřadí každému objektu identifikační číslo (ID), jakmile se objeví v zorném poli kamery. Toto identifikační číslo je s časem neměnné, aby bylo možné přesně sledovat rychlost objektu, což je důležitý vstup pro plánování a ovládání vozidla. Zároveň je důležité, aby měl systém co nejnížší inicializační latenci, což znamená, jak dlouho mu trvá rozpoznat objekt, jakmile se poprvé objeví v zorném poli kamery. [12]

Pro detekci objektů se využívá hlubokého učení, konkrétně se jedná o neuronové sítě jako Faster-Region Based Convolutional Neural Network (Faster-RCNN), You Only Look Once model (YOLO) nebo Single Shot MultiBox Detector (SSD). Těžko se určuje, která z vyjmenovaných neuronových sítí je nejlepší. Je nutné zvážit poměr mezi přesností a rychlostí. [9]



Obr. 16 Zobrazení pomocí 6 kamer a detekce objektů s využitím YOLO [27]

Systém pro sledování objektů od firmy NVIDIA nemá žádná slepá místa kolem auta. To zajišťuje šest kamer rozmístěných vpředu, vzadu a po bocích auta. Software v jejich podání sleduje objekty ve všech šesti kamerách a propojuje jejich polohu s jedinečným ID číslem a s odhadem času do kolize (time-to-collision). [12]



Obr. 17 Struktura detekce objektu [9]

3.3.3 SLEDOVÁNÍ DOPRAVNÍHO ZNAČENÍ POMOCÍ KAMER

Další důležitou schopností, kterou musí autonomní vozidla disponovat, je přesně rozpoznat a reagovat na dopravní značení. Jedná se o vertikální dopravní značky jako rychlostní limity, značka STOP, přechod pro chodce atp. nebo světelný semafor. Dále musí rozpoznat značky na silnici, ať už se jedná o čáry určující jízdní pruhy, šipky nebo nápisy. Společnost NVIDIA a společnosti, se kterými na tomto projektu spolupracuje, proto společně vyvinuly kombinaci neuronových sítí (DNNs) zajišťující právě rozpoznávání a klasifikaci dopravních značek a semaforů. [15]

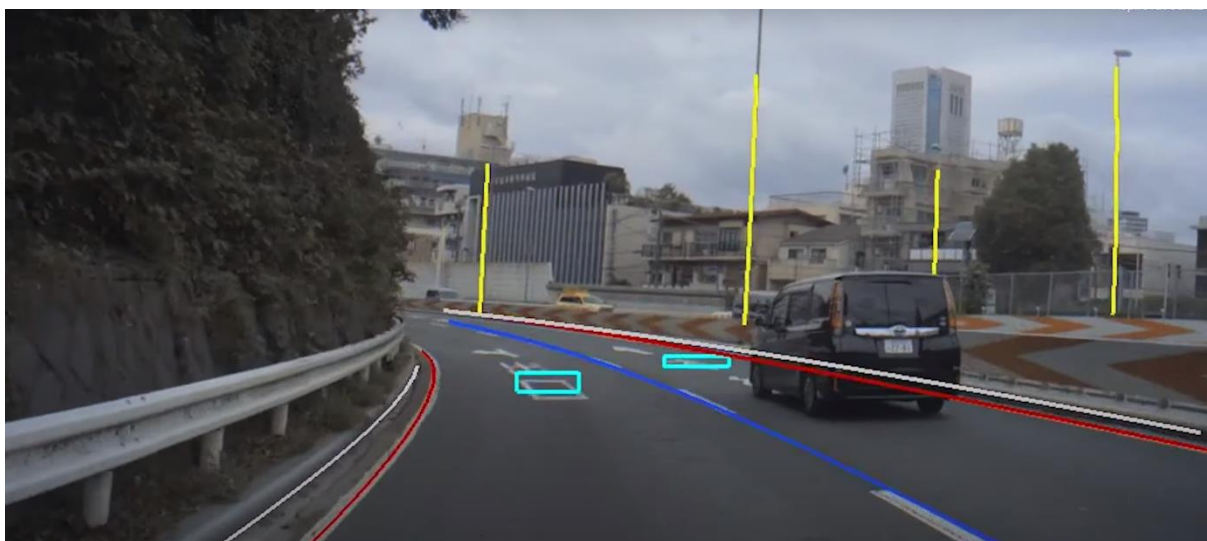
Konkrétně se bavíme o WaitNet DNN pro detekci křižovatek, dopravních značek a semaforů, LightNet DNN, která slouží ke klasifikaci tvaru (např. kruh nebo šipka) a stavu semaforu (barva: zelená x červená). SignNet DNN pak slouží k identifikaci typu dopravních značek. Dohromady tyto neuronové sítě tvoří systém vnímání vozidla v situacích, kdy je vozidlo nuceno zpomalit až do úplného zastavení a čekat. [15]

SignNet se řadí mezi konvoluční neuronové sítě a hierarchickým způsobem klasifikuje typ dopravního značení z široké škály dopravních značek z celého světa. Tato síť je vytrénovaná, aby nezávisle detekovala klíčové vlastnosti, které jsou poté kombinovány s výstupními kategoriemi. Momentálně model SignNet disponuje škálou 300 amerických a 200 evropských typů dopravních značek (údaj k datu 7. 8. 2019). [15]



Obr. 18 Příklad klasifikace dopravního značení pomocí SignNet DNN [15]

Pro detekci čar na silnici a krajnice silnice NVIDIA využívá neuronovou síť nazvanou LaneNet DNN nebo jejího nástupce MapNet DNN. Ta je schopna rozpoznat namalované čáry označující jízdní pruh a zároveň rozlišit, zda jde o přerušovanou nebo plnou čáru. Tato neuronová síť dokáže rozpoznat čáry připojovacího pruhu nebo pruhu pro exit, různé druhy šipek, text STOP atp. [16]



Obr. 19 Rozpoznávání čar na silnici pomocí LaneNet DNN [16]

3.3.4 VIDĚNÍ VE ZHORŠENÝCH PODMÍNKÁCH

Kamery mají velký potenciál v oblasti autonomního řízení. Jsou levné a snadno dostupné, avšak jejich nedostatkem je špatná viditelnost za deště, sněžení, při oslnění sluncem nebo zastíněním čočky nečistotami. Proto je důležité, aby byl systém schopný detekovat tuto sníženou schopnost senzoru dávat relevantní informace o prostředí a přestat tyto data brát v potaz. [17]

Z tohoto důvodu vyvinula NVIDIA neuronovou síť ClearSightNet, pomocí níž je systém schopen posoudit schopnost kamery vidět čistě a zároveň pomoci určit příčinu zhoršeného vidění. Neuronová síť rozdělí obraz z kamery na dvě oblasti zaslepení. Tou první je zaslepení například prachem, blátem nebo oslepení sluncem. Druhou oblastí je oblast snížené viditelnosti, kdy je viditelnost pouze omezena například silným deštěm, kapkami vody nebo mlhou. Výstupem je označení části obrazu červeně, pokud je viditelnost v této oblasti blokována úplně. Pokud je viditelnost v této oblasti pouze snížena, je oblast označena zeleně. Zároveň síť ze vstupujícího obrazu procentuálně vyhodnotí zastoupení zelené a červené oblasti. [17]

Těchto výstupů využívá autonomní vozidlo například tak, že pokud vyhodnotí viditelnost jako velmi špatnou, systém se může rozhodnout vyřadit autonomní funkce a upozornit řidiče, aby vyčistil čočku kamery nebo čelní sklo podle toho, o jakou kameru jde. [17]



Obr. 20 Obraz po vyhodnocení viditelnosti pomocí ClearSightNet DNN [17]

ZÁVĚR

V první části této práce jsem provedl stručnou rešerši autonomních vozidel a jejich rozdělení podle stupně automatizace. Jsou rozdělena podle stupně automatizace na 6 úrovní. Úrovně 0 až 3 popisují vozidla s asistenčními systémy řidiče, úrovně 4 a 5 popisují plně autonomní vozy, kde není nutný aktivní zásah řidiče. V hlavní části práce jsem se věnoval popisu systému vnímání vozidla a jeho použití pro řízení. Tak jako řidič využívá mozek k řešení různých situací, tak automobil potřebuje řídicí jednotku obstarávající výpočty a následné použití těchto výsledků k vyhodnocení situace na silnici. Řídicí jednotka se většinou skládá z procesoru (CPU) a grafické karty (GPU). Jednotka je navržena tak, aby byla schopna ve velmi krátkém čase zpracovávat velké množství dat získaných ze senzorů, ať už se jedná o kameru, jejímž výstupem je obraz nebo lidar a radar, jejichž výstupem jsou body v prostoru kolem vozidla. K rychlému a efektivnímu zpracování dat firmy vyvíjejí neuronové sítě, které porovnávají data získaná z jednotlivých senzorů s databází sítě.

Automobilky v současné době standardně do vozidel implementují systémy vnímání řadící se mezi úrovně automatizace 0 až 3, které slouží ke zvýšení komfortu a bezpečnosti jízdy při aktivním řízení řidiče. Systémy na 4. a 5. úrovni zatím legislativa neumožňuje využít v běžném provozu. V brzké budoucnosti však bude běžné na silnici tato vozidla potkávat. Aby mohly být samořídící automobily uvedeny do provozu, je nezbytné dále zpracovat na zdokonalení všech systémů a zároveň je důležité přizpůsobit pozemní infrastrukturu pro autonomní řízení. Autonomní vozidla jsou dnes také velmi drahá, tudíž pro běžného uživatele nedostupná.

V budoucnu, s rozšířením autonomních vozidel mezi širší společnost, by mohlo dojít ke snížení ceny. Jejich rozšíření by mělo pozitivní dopad nejen na bezpečnost provozu, ale přispělo by také ke zlepšení životního prostředí snížením emisí vypouštěných do ovzduší. Toho by vozidla docílila plynulým provozem, jehož důsledkem je snížení spotřeby paliva, v případě elektrifikovaných modelů snížení spotřeby energie baterie. Zároveň by mohla mít dopad také na společnost jako takovou, například v oblasti nákladní nebo městské hromadné dopravy, kdy by tyto činnosti byly automatizovány.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Akční plán autonomního řízení* [online]. In: . [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: https://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/02/Ak%C4%8Dn%C3%AD-pl%C3%A1n-autonomn%C3%ADho-%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-ma_KORNB8UGXNR8.pdf
- [2] RAJASEKHAR, M a Anil JASWAL. Autonomous vehicles: The future of automobiles. In: *2015 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC)* [online]. IEEE, 2015, s. 1-6 [cit. 2021-04-07]. ISBN 978-1-5090-1911-3. Dostupné z: doi:10.1109/ITEC-India.2015.7386874
- [3] MCGEHEE, Daniel, Mark BREWER, Chris SHWARZ a Briant SMITH. *Review of automated vehicle technology : policy and implementation implications*. Iowa, 2016. ISBN 1121-0003-27.
- [4] KOCKELMAN, Kara. Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks: A Final Report. *Center for Transportation Research The University of Texas at Austin 1616 Guadalupe Street* [online]. Suite 4.202 Austin [cit. 2021-05-08].
- [5] Autopilot Tesla. In: *Forbes* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://thumbor.forbes.com/thumbor/fit-in/1200x0/filters%3Aformat%28jpg%29/https%3A%2F%2Fspecials-images.forbesimg.com%2Fdam%2Fimageserve%2F38344723%2F0x0.jpg%3Ffit%3Dscale>
- [6] LI, You a Javier IBANEZ-GUZMAN. Lidar for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends for Automotive Lidar and Perception Systems. *IEEE Signal Processing Magazine* [online]. 2020, **37**(4), 50-61 [cit. 2021-05-02]. ISSN 1053-5888. Dostupné z: doi:10.1109/MSP.2020.2973615
- [7] CAMPBELL, Sean, Niall O'MAHONY, Lenka KRPALCOVA, Daniel RIORDAN, Joseph WALSH, Aidan MURPHY a Conor RYAN. Sensor Technology in Autonomous Vehicles: A review. In: *2018 29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)* [online]. IEEE, 2018, s. 1-4 [cit. 2021-03-24]. ISBN 978-1-5386-6046-1. Dostupné z: doi:10.1109/ISSC.2018.8585340
- [8] GAZIS, Alexandros, Evangelos IOANNOU a Elefteria KATSIRI. Examining the Sensors That Enable Self-Driving Vehicles. *IEEE Potentials* [online]. 2020, **39**(1), 46-51 [cit. 2021-05-12]. ISSN 0278-6648. Dostupné z: doi:10.1109/MPOT.2019.2941243
- [9] Deploying a Scalable Object Detection Inference Pipeline, Part 1. *NVIDIA Developer* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/blog/deploying-a-scalable-object-detection-inference-pipeline/>
- [10] KUMAR, Rahul a Sujay JAYASHANKAR. Radar and Camera Sensor Fusion with ROS for Autonomous Driving. In: *2019 Fifth International Conference on Image Information*

- Processing (ICIIP)* [online]. IEEE, 2019, s. 568-573 [cit. 2021-05-09]. ISBN 978-1-7281-0899-5. Dostupné z: doi:10.1109/ICIIP47207.2019.8985782
- [11] ZAARANE, Abdelmoghit, Ibtissam SLIMANI, Wahban AL OKAISHI, Issam ATOUF a Abdellatif HAMDOUN. Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. *Array* [online]. 2020, 5 [cit. 2021-05-02]. ISSN 25900056. Dostupné z: doi:10.1016/j.array.2020.100016
- [12] DRIVE Labs: Tracking Objects With Surround Camera Vision. *NVIDIA Developer* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/blog/drive-labs-tracking-objects-with-surround-camera-vision/>
- [13] SALMAN, Yasir, Ku KU-MAHAMUD a Eiji KAMIOKO. Distance measurment for self-driving cars using stereo camera. *International Conference on Computing and Informatics*. 2017, , 235-242.
- [14] ZAARANE, Abdelmoghit, Ibtissam SLIMANI, Abdellatif HAMDOUN a Issam ATOUF. Vehicle to vehicle distance measurement for self-driving systems. In: *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)* [online]. IEEE, 2019, s. 1587-1591 [cit. 2021-05-20]. ISBN 978-1-7281-0521-5. Dostupné z: doi:10.1109/CoDIT.2019.8820572
- [15] DRIVE Labs: Classifying Traffic Signs and Traffic Lights with SignNet and LightNet DNNs. *NVIDIA Developer* [online]. 2019 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/blog/drive-labs-signnet-and-lighnet-dnns/>
- [16] DRIVE Labs: Detecting Road Markings and Landmarks with High Precision. *NVIDIA Developer* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/blog/drive-labs-detecting-road-markings-and-landmarks-with-high-precision/>
- [17] DRIVE Labs: Helping Cameras See Clearly With AI. *NVIDIA Developer* [online]. 2019 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/blog/drive-labs-helping-cameras-see-clearly-with-ai/>
- [18] KOCIC, Jelena, Nenad JOVICIC a Vujo DRNDAREVIC. Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles. In: *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)* [online]. IEEE, 2018, s. 420-425 [cit. 2021-03-26]. ISBN 978-1-5386-7171-9. Dostupné z: doi:10.1109/TELFOR.2018.8612054
- [19] Kamery a senzory na vozidlech Tesla. In: *ElonX* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/wp-content/uploads/2018/12/tesla-second-gen-autopilot-sensors-suite.png>
- [20] Blind Spot Monitoring Area Zone System Stock Vector. In: *Shutterstock* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://image.shutterstock.com/image-vector/blind-spot-monitoring-area-zone-260nw-767264206.jpg>

- [21] GM's Adaptive Forward Lighting system is capable of the following lighting patterns. In: *GM Authority* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://gmauthority.com/blog/wp-content/uploads/2016/12/General-Motors-Adaptive-Forward-Lighting-lighting-patterns-720x411.jpg>
- [22] Image of a rotating LiDAR unit from Renishaw. In: *ASICeduBlog* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/media/img/en/d5f2c0bc53c2419d850b1b979662efe5.jpg>
- [23] Radar for autonomous cars. In: *SemiconductorEngineering* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://i0.wp.com/semiengineering.com/wp-content/uploads/2017/10/Fig3-1.png?ssl=1>
- [24] Stereo kamera ve vozidle Tesla. In: *Electrek* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://electrek.co/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/autopilot-triple-cam.png?w=1438>
- [25] WANG, Heng a Xiaodong ZHANG. Real-time vehicle detection and tracking using 3D LiDAR. *Asian Journal of Control* [online]. [cit. 2021-05-08]. ISSN 1561-8625. Dostupné z: doi:10.1002/asjc.2519
- [26] *Automated driving levels of driving automation are defined in new SAE international standard J3016* [online]. 2014 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20170903105244/https://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ACC – Adaptive Cruise Control

AEB – Automatic Emergency Breaking

CAV – Connected Autonomous Vehicle

CICAS – Cooperative Intersection Collision Avoidance Systém

DNN – Deep Neural Network

DSP – Digital Signal Procesor

ESC – Electronic Stability Control

Faster-RCNN – Faster-Region Based Convolutional Neural Network

FFT – Fast Fourier Transform

FMCW – Frequency Modulated Continuous Wave

FOW – Forward Collision Warning

GPS – Global Positioning Systém

IF – Intermediate Frequency

IMU – Inertial Measurment Unit

INS – Inertial Navigation Systém

LiDAR – Light Detection & Ranging

LTA – Left-Turn Assist

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration

SAE – Society of Automotive Engineers

SSD – Single Shot MultiBox Detector

ToF – Time of Flight

YOLO – You Only Look Once