

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Bakalářská práce

**Asistenční systémy vozidel – systém pro rozpoznávání
dopravního značení**

Vedoucí práce: Ing. David Marčev, Ph.D.

Autor práce: Michal Marhoul

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Marhoul

Zemědělské inženýrství

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Asistenční systémy vozidel – systém pro rozpoznávání dopravního značení

Název anglicky

Vehicle assistance system – Traffic-sign recognition system

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit informace o asistenčním systému rozpoznávání dopravního značení včetně technologií potřebných pro funkci systému.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů

Doporučený rozsah práce

30 stran včetně obrázků a tabulek

Klíčová slova

asistenční systém, dopravní značení, bezpečnost

Doporučené zdroje informací

ESCALERA, Sergio. Traffic-sign recognition systems. New York: Springer, c2011. SpringerBriefs in computer science. ISBN 978-1-4471-2245-6.

ESKANDARIAN, Azim, ed. Handbook of intelligent vehicles. London: Springer, c2012. Springer reference. ISBN 978-0-85729-084-7.

STOAKES, Graham. Automotive Oscilloscopes: Waveform Analysis. Graham Stoakes, 2017. ISBN 9780992949266.

VLK, František. Automobilová elektronika. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.

WINNER, Hermann, Felix LOTZ a Christina SINGER. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. ISBN 978-3-658-05733-6.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. David Marčev, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 14. 1. 2019

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2020

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Asistenční systémy vozidel – systém pro rozpoznávání dopravního značení vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 2. 4. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Davidovi Marčevovi, Ph.D. za připomínky, rady a čas, který mi věnoval při zpracování této bakalářské práce.

Asistenční systémy vozidel – systém pro rozpoznávání dopravního značení

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá asistenčními systémy vozidel a následně se zaměřuje na systém pro rozpoznávání dopravního značení. Jsou zde zahrnuty metody, pomocí kterých je detekce a rozpoznávání uskutečněné. Vzhledem k tomu, že probíhá neustálý vývoj metod spojený s detekcí a rozpoznáváním, tak jsou zde uvedeny i metody, které mají vysoký potenciál pro další možné směřování tohoto odvětví. V této práci se dále seznámíme s možnou realizací systému, co se týče z pohledu elektroniky a použitých komponentů. Kromě samotných systémů jsou v této práci obsaženy přidružená témata jako jsou bezpečnost, dopravní značení, algoritmy a umělá inteligence.

Klíčová slova: asistenční systém, systém pro rozpoznávání dopravního značení, dopravní značení, bezpečnost

Vehicle assistance system – Traffic sign recognition system

Summary

This bachelor thesis deals with the assistance systems of vehicles and then focuses on the system for traffic signs recognition. Included are methods of detection and recognition. Due to the continuous development of methods related to detection and recognition, there are also mentioned methods which have a high potential for further possible direction of this branch. In this work we will also learn about possible implementation of the system in terms of electronics and used components. In addition to the system themselves, the thesis includes associated topics such as safety, traffic signs, algorithms and artificial intelligence.

Keywords: assistance system, traffic sign recognition system, traffic sign, safety

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Přehled řešené problematiky	3
3.1	Bezpečnost na pozemních komunikacích	3
3.1.1	Prvky aktivní bezpečnosti.....	4
3.1.2	Prvky pasivní bezpečnosti	7
3.2	Asistenční systém vozidel.....	12
3.3	Historie asistenčních systémů vozidel	13
3.4	Algoritmus	14
3.4.1	Klasifikátor	14
3.5	Umělá inteligence	14
3.5.1	Perceptron.....	15
3.5.2	Učení.....	16
3.5.3	Uvažování.....	16
3.5.4	Vnímání	16
3.5.5	Řešení problémů.....	17
3.5.6	Používání jazyka.....	17
3.5.7	Genetický algoritmus.....	17
3.5.8	Adaboost (Adaptive Boosting)	18
3.5.9	Konvoluční neuronové sítě (CNN).....	18
3.6	Navigační systém.....	19
3.6.1	GPS.....	19
3.6.2	Galileo	20
3.7	Systém pro rozpoznávání dopravního značení	20
3.7.1	Dopravní značení.....	21
3.7.2	Detekce dopravního značení.....	23
3.7.3	Detekce pozadí na dopravním značení na základě barvy	24
3.7.4	Detekce pozadí na dopravním značení na základě křivek.....	24
3.7.5	Detekce objektů	25
3.7.6	Rozpoznávání pozadí dopravních značek.....	26
3.7.7	Rozpoznávání objektů	27
3.7.8	Systémový výstup.....	28

3.7.9	Implementace hardwaru	28
3.7.10	Hardware	29
4	Závěr.....	32
5	Použitá literatura.....	34
6	Seznam obrázků.....	41

1 Úvod

V České republice je v současnosti registrováno kolem 6 milionu vozidel. V roce 2018 podle Českého statistického úřadu bylo evidováno 21 889 dopravních nehod, při kterých došlo ke zranění nebo usmrcení. Abychom předešli těmto nehodám, existuje celá řada opatření, které mají riziko vzniku nehody, potažmo její následky, co nejvíce minimalizovat. Opatření vedoucí ke snížení počtu dopravních nehod jsou různého charakteru, například použití vhodné dopravní značení, úpravu vozovky, silniční kontroly ze stran Policie České republiky nebo bezpečnostní prvky silničních vozidel. [1,2]

Mezi nejvíce progresivní složku, co se týče zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích jsou bezpečnostní prvky vozidel, které mají vysoký potenciál pro snížení nehodovosti. Na počátku existovalo jen několik bezpečnostních prvků, které se postupem času vyvinuly a daly počátek vzniku asistenčních systémů, s jakými se můžeme setkat v dnešní době. Jako příklad můžeme uvést antiblokovací systém brzd, elektronický stabilizační systém nebo nejnověji jako jsou systémy pro udržení vozidla v silničním pruhu. Těchto systémů je opět široké množství. Tato práce se bude zabývat zejména systémem pro rozpoznávání dopravního značení, kdy systém za pomoci kamery snímá prostor před vozidlem, kde detekuje a rozpoznává dopravní značení a následně informuje řidiče o jejím charakteru i o úseku kde platí. [3,4]

Na počátku této práce se budeme věnovat bezpečnosti na pozemních komunikacích, jaké má faktory a s ohledem na zaměření práce především na prvky bezpečnosti ve vozidlech. Následně se seznámíme s historií jejich vzniku. Abychom porozuměli systému pro rozpoznávání dopravního značení, musíme se nejdříve seznámit se základními prvky systému jako je algoritmus a umělá inteligence, které mají klíčovou váhu pro systém v reálném prostředí. Tento systém využívá značné množství dat, ať už z uložené databáze nebo údajů o poloze. V této práci je zahrnut navigační systém, který informace o poloze zprostředkovává. Jakmile získáme povědomí o těchto dílčích částech, tak se dostaneme k meritu práce, a to asistenčnímu systému pro rozpoznávání dopravního značení.

Kapitola věnována problematice systému pro rozpoznávání dopravního značení se skládá z popisu dopravního značení a jejich odlišností napříč různými státy. V dalším kroku jsou uvedeny způsoby, kterými systém detekuje a rozpoznává dopravní značení a možnými výstupy systému. Následně se dostaneme k implementaci hardwaru, kterým lze tento systém realizovat.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je shromáždit a zpracovat informace o systému pro rozpoznávání dopravního značení a přidružených oblastí. Přiblížit tuto problematiku veřejnosti, získat z uvedených informací obecný přehled v oblasti asistenčních systémů, jakož to o jejich typech a funkcích. Následně o systému pro rozpoznávání dopravního značení, včetně problematiky realizace systému určený pro provoz na pozemních komunikacích v reálném čase. Současně zvýšit povědomí o bezpečnostních prvcích, se kterými se můžeme v reálném světě setkat a k jakému účelu dané prvky slouží.

Popsat metody detekce a rozpoznávání dopravního značení a zaměřit se na metody, které jsou pro uskutečnění konečného systému v reálném prostředí vhodné. Dále možnosti, jakým způsobem tento systém realizovat co se týče elektroniky a ostatních komponent. Na závěr zhodnocení systému a na základě získaných znalostí posoudit další budoucí vývoj.

3 Přehled řešené problematiky

V této kapitole se seznámíme s problematikou věci, na samém počátku tato kapitola informuje o bezpečnosti na pozemních komunikacích a o jejích dílčích klíčových faktorech. Následně se dostaneme k asistenčním systémům jako takovým a jak se vyvíjely z časového hlediska. Dále se seznámíme s algoritmy a umělou inteligencí, které jsou nezbytné pro realizaci systému pro rozpoznávání dopravního značení. V souvislosti se systémem pro rozpoznávání dopravního značení si rozebereme navigační systém, kdy v provozu mezi sebou spolupracují. Na závěr této kapitoly se blíže seznámíme se systémem pro rozpoznávání dopravního značení, jak po softwarové stránce, tak i po stránce hardwarové spolu s návrhem jeho realizace.

3.1 Bezpečnost na pozemních komunikacích

Bezpečnost na pozemních komunikacích se skládá z několika různých faktorů, kdy se snažíme co nejvíce eliminovat možnost hrozby ve formě dopravních nehod. Jedním z mnoha faktorů je bezpečná komunikace. Můžeme ji definovat jako stav, kdy subjektu hrozí co nejnižší míra nebezpečí nebo jako dopravní systém, kde nedochází ke zraněním a nehodám. Pro docílení bezpečné komunikace existuje několik nástrojů, které snižují hrozbu vzniku nehod na pozemních komunikacích, jež můžou být aplikovány v určitých stádiích komunikace, ať už během projektové přípravy, výstavby či následné údržby. [5]

Před realizací pozemní komunikace se provádí analýza dopadů nově vzniklé infrastruktury na bezpečnost provozu, ale také jaké bude mít stavba náklady a přínosy. Pokud budeme chtít zvýšit bezpečnost na nově vzniklé nebo stávající komunikaci, tak k tomu nám slouží nástroje dělicí se na proaktivní a reaktivní. Pomocí proaktivních nástrojů hledáme okolnosti vzniku dopravních nehod a v návaznosti na ně se navrhuje různá opatření, aby se zabránilo jednak jejich vzniku nebo, aby se jejich následky minimalizovaly. Proaktivní nástroje slouží jako prevence. Aplikují se dříve, než se na komunikaci stane dopravní nehoda. Reaktivní nástroje posuzují činitele, které vedly k dopravním nehodám. Zde se oproti proaktivním nástrojům vychází z nehod, jež se na komunikaci odehrály a na jejich základě se aplikují opatření. [5]

Pokud se ohlédneme za bezpečnostní dopravy jako takovou, tak do tohoto souboru patří již zmíněné nástroje pro snižování vzniku dopravních nehod, ale i ukazatele bezpečnosti. Tyto ukazatele se zabývají například překročením povolené rychlosti, telefonováním při jízdě,

používáním bezpečnostních pásů, ale také užíváním bezpečnostních prvků jako je přilba u motocyklistů a cyklistů. Na základě ukazatelů bezpečnosti můžeme zjistit, jak je bezpečný provoz na komunikaci a na základě získaných informací provést korekci. [6]

Evropská unie a Česká republika se snaží zvýšit bezpečnost na pozemních komunikacích, plněním akčních plánů, které si stanovili. Například Česká republika si dala za cíl do roku 2020 snížit počet usmrcených osob na průměrnou úroveň zemí Evropské unie. Dalším cílem je také snížit počet osob, jež mají vlivem dopravní nehody těžké zranění. V rámci Evropské unie došlo k uzavření Vallettské deklarace, kde je cílem do roku 2030 dosáhnout o polovinu nižšího počtu těžce zraněných osob oproti roku 2020. Mezi dalšími body této deklarace jsou například podpora hloubkové analýzy nehod, zacílení na efektivnost vynuocování pravidel provozu a mnoho dalších. [7,8]

Bezpečnost vozidla je v rámci provozu na pozemních komunikacích naprosto klíčová, jelikož přispívá nejvíce k bezpečí posádky vozu. Hlavními kritérii bezpečného vozidla jsou jeho technický stav a instalované bezpečnostní prvky. V současné době existuje široká škála bezpečnostních prvků, jež jsou součástí základní výbavy. Avšak spousta prvků, které zvyšují bezpečnost vozidla a pozitivně ovlivňují bezpečnost na pozemních komunikacích jsou pouze v příplatkové výbavě. Bezpečnostní prvky vozidel dělíme na prvky aktivní a pasivní. [9]

3.1.1 Prvky aktivní bezpečnosti

Prvky aktivní bezpečnosti jsou systémy, vlastnosti vozu a technická zařízení, která slouží k zabránění nehod motorových vozidel. Do této skupiny patří účinné brzdy, dostatečný výhled z vozidla, přesné řízení, osvětlení vozidla, dobré pneumatiky a s nimi spojené tlumiče, které zajišťují nezbytný kontakt s vozovkou. Dále do této kategorie patří elektronické bezpečnostní systémy, jako například antiblokovací systém brzd, antiprokluzový systém, asistent rozjezdu do kopce, elektronický posilovač řízení, kontrola mrtvého úhlu a další. [3,10]

Antiblokovací systém brzd (ABS)

Jedná se o elektronický systém, který zabraňuje zablokování kola. Pokud nastane nebezpečná situace a my potřebujeme rychle zastavit vozidlo, tak může dojít k zablokování kol, tím dochází ke ztrátě adheze kola s vozovkou a vozidlo se stává neovladatelné. Systém při těchto situacích monitoruje otáčky na kolech vozidla, pokud řídicí jednotka vyhodnotí ze

získaných signálů riziko zablokování, tak aktivuje řídicí elektropneumatické ventily daného kola, tím se sníží brzdný účinek, ale nedojde ke ztrátě adheze kola s vozovkou. [3,11]

Antiprokluzový systém (ASR)

Jedná se o nadstavbu antiblokovacího systému brzd, kdy hnací moment není dostatečný k pohybu vozidla. Dochází k tomu, že kolo má nízkou přilnavost a nastává protáčení kol. Zde řídicí jednotka opět získává signály, které mají informaci o otáčkách kola a rozezná, zda dochází k prokluzu. Pomocí řídicího elektropneumatického ventilu a elektromagnetického ventilu je kolo, které prokluzuje zpomaleno. Tím nedochází ke ztrátě adheze a je docílen přenos hnacího momentu na vozovku. Při rychlosti nad 30 km/h se pro regulaci otáček využívá snížení výkonu motoru. [3]

Elektronický stabilizační systém (ESP)

Systém ESP slouží řidiči vozidla v situacích, kdy je vozidlo jen těžce ovladatelné například když jde vozidlo do smyku. Tento systém reguluje dynamiku jízdy, potažmo skluz pneumatiky nebo její prokluz. Když nastane příčný skluz a dojde ke ztrátě bočního vedení pneumatiky a její směrové stability, vyhodnotí systém stav vozidla. Pokud je stav kritický, tak dojde k samočinnému zásahu brzd zvláště do každého kola. Dochází tím k přibrzdění daných kol, tím se vyrovná přetáčivý či nedotáčivý pohyb. Toto zpomalení má za následek stabilizaci vozidla. [3]

Adaptivní tempomat (ACC)

Klasický tempomat slouží k setrvání na určité rychlosti vozidla, který se skládá z řídicí jednotky, regulátoru, snímače rychlosti vozidla, snímače polohy brzdového pedálu a spojky. Adaptivní tempomat využívá oproti klasickému tempomatu navíc radary, které monitorují situaci před vozidlem. Pokud je jízdní pruh volný vozidlo jede rychlostí nastavenou řidičem. Když máme před sebou pomalejší vozidlo tak adaptivní tempomat přibrzdí, jestliže vozidlo před námi začne akcelerovat, vozidlo se opět navrátí na nastavenou rychlost. Tempomat využívá k regulaci rychlosti škrtící klapky a u modernějších automobilů i brzdy. Vyřazení tempomatu nastává při stlačení brzdového nebo spojkového pedálu. [12,13]

Front Assist

Nebo-li nouzové brždění, je založeno stejně jako u adaptivního tempomatu na radaru, který je umístěn na přední části vozidla. Radar vysílá dopředu mikrovlnný elektromagnetický signál a následně data z odražených vln odešle ke zpracování do řídicí jednotky, která vypočte rychlost vozidla nebo objektu před námi a jeho vzdálenost. Radar vysílá v pásmu 76–77 GHz, který je určený pro vozidlové pozemní systémy a infrastrukturní systémy. Front Assist má čtyři fáze. Nejdříve řidiče upozorní vizualizací v kapliče přístrojů, poté nastává akustická a optická výstraha spolu s natlakovaným brzdovým systémem a dosednutí brzdných destiček k brzdovému kotouči. Pokud řidič stále nereaguje tak v další fázi dochází k výstražnému trhnutí brzd. V poslední fázi je vzdálenost mezi vozidly kritická a vozidlo automaticky začne brzdit. Dnes již tento systém rozezná i cyklisty a chodce, a snižuje tak riziko střetu. [14,15,16]

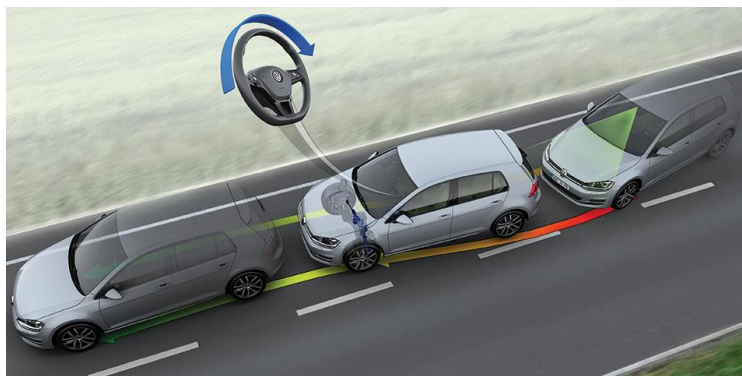
Park Assist

Je to elektronický systém, který řidiči vozidla usnadňuje parkovací manévry, tím že převezme řízení vozidla. Systém nejdříve pomocí ultrazvukových senzorů změří velikost parkovacího místa, zda se vozidlo vejde na parkovací místo. Pokud ano, řidič musí potvrdit systému, že chce v manévru pokračovat a zařadit zpátečku. Park Assist převezme elektronicky řízení vozidla, řidič vozidla má pod kontrolou pedály, kterými může zasahovat do průběhu parkovacího manévru. Deaktivace systému nastává v případě, že řidič vyřadil rychlost nebo stisknul tlačítko Park Assist. U modernějších systémů Park Assist je integrováno i brždění, aby případně zabránil kolizi nebo, aby minimalizoval následky kolize. [17,18]

Lane Assist

Systém Lane Assist slouží k setrvání vozidla ve stávajícím jízdním pruhu. Tento systém používá kameru, která je umístěna buď v držáku zpětného zrcátka nebo v jeho oblasti. Kamera snímá vodorovné značení na vozovce, předpokládá se tedy použití na dálnicích a silnicích vyšší třídy, kde toto značení dosahuje dobré kvality. Lane Assist rozpozná plnou i přerušovanou čáru. Pokud je aktivován automaticky spustí se při rychlosti nad 65 km/h. Nemusí však fungovat při zhoršených venkovních podmínkách, oslněním sluncem a samozřejmě při nečitelném vodorovném značení. Na obrázku 1 si můžeme všimnout, jak vozidlo při vybočení z jízdního pruhu se systémem Lane Assist zareaguje. Pokud vozidlo začne vybočovat z jízdního pruhu systém zabráni vybočení vozidla. Nejdříve však upozorní řidiče mírným protipohybem volantu.

Když řidič spustí směrové světlo, systém očekává změnu jízdního pruhu a do řízení nezasahuje. Je nutno dodat, že tento systém neslouží jako autonomní řízení a řidič je odpovědný za možné následky. [19,20]



Obrázek 1: Lane Assist [20]

Traffic sign recognition (TSR)

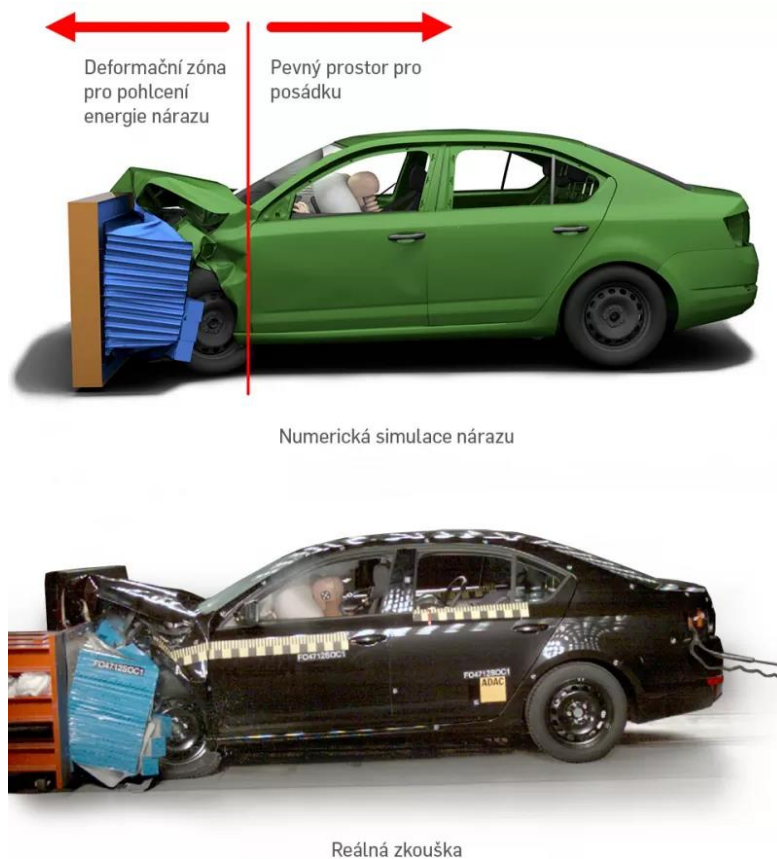
Jedná se o systém pro detekci a rozpoznání dopravního značení, které následně zobrazuje na Head-up displeji nebo v kapliče přístrojů. Tento systém rozpoznává svislé dopravní značení pomocí kamery, tím pádem nám může ukázat, jakou povolenou rychlostí můžeme jet, zdali můžeme předjíždět, kdo má na pozemní komunikaci přednost a spoustu dalších užitečných informací. U tohoto systému si můžeme zvolit, kdy nás systém upozorní na překročení dovolené rychlosti a může nám ukazovat aktuálnost dopravní značky s tím, jak je dopravní značka vzdálena. [4]

3.1.2 Prvky pasivní bezpečnosti

Prvky pasivní bezpečnosti jsou zejména konstrukční opatření a vybavení, která napomáhají k minimalizaci následků nehody. Do skupiny pasivních prvků bezpečnosti patří karoserie, kde jsou zejména výztuhy pro nárazníky, sloupky, podélné a příčné nosníky vyrobeny z vysokopevnostní oceli. Vysokopevnostní ocel se používá v automobilovém průmyslu díky jejím mechanickým vlastnostem, kde má vysokou absorpční energii a únavovou pevnost. Dále do této skupiny patří bezpečnostní pásy, dětské sedačky, airbagy, opěrka hlavy a další. [3,21,22]

Karoserie

Z pohledu bezpečnosti je karoserie rozdělena na dvě části, a to na deformační a prostor pro posádku. Deformační část slouží k pohlcení a utlumení energie, která vzniká při nárazu, znázorněno na obrázku 2. Prostor pro posádku se nesmí zdeformovat a musí být pevný, aby



Obrázek 2: Čelní náraz dle metodiky EuroNCAP [23]

případná újma na zdraví posádky vozidla byla co nejnižší. V karoserii jsou také použity defoelementy, které se při nárazu v menších rychlostech zdeformují, ale snadno se vymění za nové a tím snižují náklady na opravu vozu. Tuhost karoserie a deformační části se vyhodnocují crash testy, které probíhají za přesně definovaných podmínek a simulují nárazy do vozidla. [23,24]

Bezpečnostní pásy

Jedná se o jeden z nejdůležitějších pasivních bezpečnostních prvků. Slouží k snížení rychlosti těla pasažéra při nárazu, tím že zabraňují dopřednému pohybu řidiče a spolucestujících, snižují tak šanci poranění se o interiér vozidla. Bezpečnostní pásy se dělí podle počtu bodů, kterými je posádka připoutána. V automobilech se v naprosté většině používají

třibodové pásy. Každé vozidlo jimi musí být povinně vybaveno a použití bezpečnostních pásů je uvedeno v § 6 vyhlášky č. 99/1989 Sb., který stanovuje: „Osoba sedící na sedadle povinně vybaveném bezpečnostním pásem, musí být tímto pásem řádně připoutaná“. [3,25,26]

Dětské autosedačky

Sedačky ve vozidle jsou dimenzovány pro dospělé jedince. Abychom zaručili bezpečnost i těm nejmenším, musíme zvolit dětské autosedačky. Ty jsou proto nedílnou součástí prvků pasivní bezpečnosti. Dle zákona dítě, které je menší než 150 cm a jeho váha nižší než 36 kg, musí umístěno do dětské autosedačky, která odpovídá vzrůstu a váhové kategorii dítěte. Správně upevněné dětské autosedačky tak značnou mírou zvyšují bezpečnost dětí. Dle statistik děti umístěné v dětské sedačce umírají 7x méně než nezajištěné děti. Autosedačky se dělí dle hmotnosti, věku a výšky dětí do čtyřech skupin, je proto velice důležité, aby dítěti odpovídala daná kategorie. [3,27]

Hlavová opěrka

Hlavová opěrka je důležitým prvkem pasivní bezpečnosti. Při správném nastavení můžeme snížit poranění míchy a krční páteře. Toto poranění může nastat při nehodě, při nárazu zezadu, kdy se hlava na základě nárazu pohybuje směrem dozadu a opěrka následně ztlumí tento pohyb. V dalším případě pomáhá při nehodě s čelním střetem, kdy tělo a hlava jsou zachyceny airbagem a bezpečnostním pásem, tělo se následně vrací na původní místo, a to pod delší trajektorii. V dnešní době jsou vozidla vybavována aktivními hlavovými opěrkami, které mohou utlumit zpětný pohyb, a tak snížit riziko vzniku poranění. [3]

Airbag

Airbag je vak z polyamidové látky, který se automaticky nafoukne při nehodě pomocí inflátoru (součástka produkující plyn), pokud snímače naměří kritickou hodnotu nárazu. Chronologicky děj probíhá následovně: při střetu senzory posílají informaci do řídicí jednotky, která aktivuje roznětku airbagu a následuje nafouknutí airbagu. Tato celá operace probíhá v řádu milisekund. Airbag se nafoukne do 60 milisekund od registrace nárazu. Na vozidle je hned několik systematicky umístěných senzorů. Například při čelním střetu se aktivují čelní airbasy, záleží tedy na charakteristice nárazu. Slouží tedy ke zpomalení nárazu hlavy a těla o interiér vozidla. Airbasy se nenafouknou, pokud není ohrožena posádka vozu, resp. při nízkých rychlostech, kdy není ohroženo zdraví posádky vozidla. Airbag je nutné kombinovat

s bezpečnostními pásy, aby bylo docíleno co nejvyšší možné bezpečnosti. Při nepoužití bezpečnostních pásů může airbag posádku těžce zranit. Existuje celá řada druhů airbagů: hlavové, boční, kolenní. V současnosti jsou airbagy v každém vozidle a mohou se nafukovat dle intenzity nárazu. [3,28]

ECall

Celým názvem emergency call je systém, který slouží k rychlému spojení na tísňovou linku 112. Tento systém podle síly nárazu vyhodnotí, jestli došlo k nehodě a poté se automaticky kontaktuje dispečink tísňové linky 112, zašle údaje o místě vzniku nehody a další důležité informace. Ve vozidlech opatřených tímto systémem můžeme nalézt tlačítko eCall, kterým můžeme systém aktivovat manuálně. ECall můžeme použít i v případě, že jsme svědky dopravní nehody a zavolat tak posádce havarovaného vozidla záchrannou službu. Při spuštění se vždy systém pokusí hlasově spojit s posádkou vozu, kde je aktivován. Vzhledem k tomu, že eCall podává informace o poloze nehody, může se tak snížit riziko vzniku další nehody, jelikož řidiči mohou být informováni o dění na komunikaci. Pomocí tohoto systému dochází k včasnému oznámení nehody integrovanému záchrannému systému, tím se snižuje časová prodleva, která má důležitou roli v záchraně lidských životů. [3,29]

Aktivní kapota

Jedná se o další prvek patřící do skupiny pasivní bezpečnosti. Není však určen ke zvýšení bezpečnosti posádky vozidla, ale zaměřuje se na bezpečnost chodců při čelním střetu s vozidlem. Při nehodě tohoto charakteru dochází k vážným zraněním a v nejhorším případě k úmrtí, kdy chodci dopadají hlavou a tělem na kapotu nebo čelní sklo. Aktivní kapota se při střetu s chodcem v řádu milisekund nadzvedne pomocí pyrotechnických rozbušek nebo předpjatou pružinou a tím pro chodce dopadajícího na nadzdvíženou kapotu zmírňuje dopad, jak můžeme vidět na obrázku 4. Zdvížením kapoty se tak zvětšuje deformační oblast. Po aktivaci kapoty záleží na konstrukčním řešení (možný způsob konstrukčního řešení znázorněno na obrázku 3) a rozsahu škod, zda může řidič vrátit kapotu do původního stavu nebo musí navštívit servisní středisko. [30,31]



Obrázek 3: Konstrukční řešení aktivní kapoty [32]



Obrázek 4: Aktivní kapota [32]

Airbag chránící chodce

Jak už bylo zmíněno u předchozího prvku, tak i tento systém, neslouží k zvýšení bezpečnosti posádky vozidla, ale k vyšší bezpečnosti chodců, kdy v kombinaci s aktivní kapotou podstatně snižuje riziko vážného poranění. Tento systém pomocí senzorů umístěných v přední části vozu detekuje kolizi vozidla a chodce. Pokud řídicí jednotka vyhodnotí situaci jako kritickou tak systém nadzvedne kapotu a nafoukne airbag, který zabírá zhruba jednu třetinu čelního skla (znázorněno na obrázku 5). Jelikož nemůžeme zcela odhadnout místo dopadu chodce na vozidlo, je tento airbag v celé šířce vozidla. Airbag se musí nafouknout v řádu milisekund, aby nedošlo k případnému kontaktu hlavy chodce s čelním sklem. [33,34]



Obrázek 5: Airbag chránící chodce [34]

3.2 Asistenční systém vozidel

Asistenční systém vozidel pomáhá řidiči při řízení motorového vozidla, přispívá k větší ochraně řidiče a spolucestujících a bezpečnosti dalších účastníků silničního provozu. Asistenční systémy členíme do dvou kategorií. Konkrétně na prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. Prvky aktivní bezpečnosti předcházejí vzniku dopravních nehod, zatím co pasivní prvky se snaží minimalizovat následky nehody, proto se klade velký důraz na jejich spolehlivost. [35,36]

Pokud se ohlédneme do minulosti, tak zjistíme, že se člověk neustále snaží vyvíjet, inovovat či usnadňovat si práci, a právě toto vedlo k celé řadě nápadů a myšlenek. Nebylo tomu jinak ani v automobilovém odvětví. V dnešní době se různí prodejci automobilů snaží nalákat své zákazníky na celou řadu prvků či asistentů, které řidiči a posádce zpříjemní cestu nebo vyvolají pocit bezpečí ve vozidle. V současnosti jde o takový trend, kdy se výrobci snaží předhánět s vymoženostmi jejich automobilů, za kterým stojí velice drahý vývoj. To mnohdy vede ke spolupodílení se na vývoji těchto systémů při nižších nákladech. Asistenční systémy dále dělíme dle typu realizace na mechanické, hydraulické, elektrické a elektrohydraulické. V dnešní době jsou právě mechanické a hydraulické na ústupu a jsou nahrazovány těmi elektrickými a elektrohydraulickými asistenčními systémy. [37]

Jedním z nejdůležitějších prvků asistenčních systémů je řídicí jednotka, která přijímá signály ze senzorů a následně může ovlivnit chod vozidla například upravením točivého momentu, otáček kol vozidla nebo aktivovat airbag. U automobilů vybavených automatickou převodovkou, může dle stylu jízdy a otáček motoru řídicí jednotka dát impuls k tomu, aby došlo k přeřazení. Ve vozidlech tedy nalezneme hned několik řídicích jednotek, které mají přesně danou funkci. [38,39,40]

V dnešní době jsou vozidla vybavena celou řadou senzorů, které snímají provoz vozu jako je měření tlaku oleje, teplota chladící kapaliny, množství paliva. Pro asistenční systémy jsou zapotřebí velice specifické senzory, které slouží jak pro aktivní, tak i pasivní bezpečnostní prvky. Bez senzorů by nebylo možné realizovat asistenční systémy do stavu, ve kterém se nyní nacházejí. U systému ABS tak nalezneme senzory, které snímají otáčky všech kol. Dále u bezpečnostních pásů nalezneme senzor upnutí. U pneumatik našly uplatnění tlakové senzory, které při vyhodnocení posílají signál do řídicí jednotky a ta pomocí přístrojové desky informuje řidiče o defektu kola. Jako další příklad můžeme uvést ultrazvukový senzor, který našel uplatnění jak u parkovacích manévřů, tak u asistenčních systémů reagujících na překážku před

vozidlem, až po spolupráci s nouzovým brzděním. Ultrazvukové senzory vysílají ultrazvukové impulsy, následné signály z ozvěny putují k vyhodnocení do řídicí jednotky. Radarové senzory mají větší dosah a zároveň přesnou detekci objektů, což vede ve spolupráci s ostatními asistenčními systémy k rychlé reakci na možné nebezpečí. V neposlední řadě asistenční systémy používají video senzory, které jsou schopny rozpoznat dopravní pruhy, vozidla, cyklisty, chodce a další objekty. Video senzory jsou v dnešní době realizovány pomocí víceúčelových kamer. [41,42,43,44,45]

Jelikož tyto systémy vedou ke snižování následků dopravních nehod případně nehodě zcela předchází, tak se od roku 2021 z nařízení Evropské unie stanou některé asistenční systémy povinné. Od tohoto roku budou instalovány do všech nově vyrobených vozidel systémy jako je nouzové brzdění, detekce únavy řidiče, inteligentní asistenti rychlosti, vedení v jízdním pruhu a další. [46]

3.3 Historie asistenčních systémů vozidel

Když se ohlédneme do historie tak zjistíme, že dnešní asistenční systémy stojí za zdokonalením v tehdejší době pouze bezpečnostních prvků, kdy dnes jsou tyto prvky jenom částí většího souboru systémů, který kombinuje hned několik bezpečnostních prvků.

Důležitý milník z pohledu vývoje je rok 1913 kdy byl poprvé použit bezpečnostní pás, avšak v letadle. Automobilka Volvo jako první v roce 1959 implementovala do standardní výbavy svých vozů bezpečnostní pásy. Bezpečnostní pás je tedy jeden z nejstarších pasivních bezpečnostních prvků. [47]

V roce 1952 byl podán patent na airbag, který se dočkal svého nasazení do sériově vyráběného vozidla v roce 1972. V těchto letech byl airbag prezentován jako náhrada bezpečnostních pásů. Lidé si museli počkat 20 let, než se Airbag stal součástí bezpečnostních prvků vozidla. Roku 1980 byl tento bezpečnostní prvek inovován a stal se elektronicky řízený. [48]

Jako první digitální asistenční systém byl vynalezen firmou Mercedes-Benz ve spolupráci s firmou Bosch v roce 1978 protiblokovací systém ABS. Počátky tohoto systému sahají až do roku 1953, kdy byl podán první patent. Systém ABS vznikl i proto, že se již podobná řešení vyskytovala v železniční a letecké dopravě, jde o první systém, který spadá do kategorie prvků aktivní bezpečnosti. První generace systému ABS pracovala s analogovou elektronikou, u

druhé generace ABS bylo již použito digitální řídicí jednotky, která byla výkonnější, spolehlivější a trochu jednodušší než ta analogová. Právě tento asistenční systém byl základem pro další vývoj asistenčních systémů do současné podoby. [49,50]

V roce 1992 byl poprvé realizován pokus o samoobslužném parkování, inženýři pro tuto funkci použili řízení všech čtyř kol, kdy se tato možnost nedostala do sériové výroby. Prvním úspěšným parkovacím asistentem se stal v roce 2003 vůz Toyota Prius, který byl schopen paralelně zaparkovat. Po tomto úspěchu začaly i ostatní automobilky implementovat do svých vozů parkovací asistenty. [51]

3.4 Algoritmus

Jde o specifický postup, který při řešení definovaného výpočetního problému vytváří konečný počet kroků pro odpověď nebo řešení daného problému. Algoritmus tvoří tabulka hodnot odpovědí. Vývoj algoritmů je zcela zásadní pro ostatní aspekty jako jsou umělá inteligence, databáze, operační systémy a další. [52]

3.4.1 Klasifikátor

Klasifikátor je algoritmus, který je schopen pomocí trénovacích dat, zařadit nová data do označených tříd nebo kategorií informací. V oblasti umělé inteligence nazýváme klasifikaci jako metodu, kdy máme známou množinu a příklady jsou správně klasifikovány. Tyto algoritmy našli své uplatnění v třídění datových instancí do daných tříd. [53,54]

3.5 Umělá inteligence

Jedná se o schopnost stroje nebo digitálního počítače vykonávat intelektuální úkoly charakteristickými pro člověka, učit se z předchozích zkušeností, přizpůsobovat se novým situacím. Z toho vyplývá, že umělá inteligence je soubor algoritmů a inteligence, která usiluje o napodobení lidské inteligence. Můžeme tedy pomocí umělé inteligence řešit konkrétní úkoly, zpracovávat velké množství dat či rozpoznávat ze získaných dat vzorce. Umělá inteligence je rozdělena na několik kategorií. Konkrétně na učení, uvažování, vnímání, řešení problémů a požívání jazyka. Při tvorbě umělé inteligence je základním stavebním prvkem perceptron nebo neuron s aktivační funkcí, který slouží pro realizaci velkého množství a druhů neuronových sítí, jako jsou vícevrstvé neuronové sítě, samoorganizující se sítě, Hopfieldovy sítě, RBF sítě a mnoho dalších. [55,56,57,58]

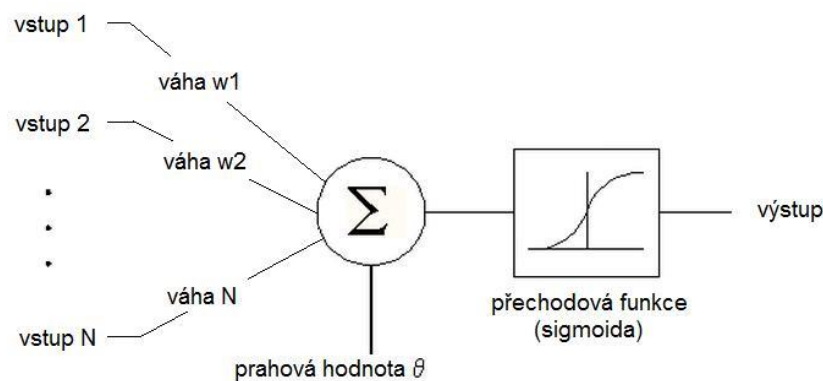
3.5.1 Perceptron

Neuronová síť je složena z perceptronů nebo-li matematického modelu neuronu, který můžeme vidět na obrázku 6. Perceptron je v podstatě jednovrstvá neuronová síť. Skládá se ze vstupů, vah, prahové hodnoty, přenosové funkce a výstupu. Nejdříve se v procesu perceptronu vynásobí všechny vstupní hodnoty váhami, kde každý vstup má svou vlastní váhu. Následně se tyto hodnoty sečtou, tím vznikne vážený součet, který využijeme na přenosovou funkci. Po použití váženého součtu na přenosovou funkci vznikne výstup. Jednovrstvý perceptron se využívá pro binární klasifikaci, klasifikuje tedy data na dvě části. [58,59,60]

Přenosové funkce (někdy označovány jako aktivační funkce) jsou vybírány na základě zkušeností, kdy každá přenosová funkce má jiné uplatnění. Těchto funkcí existuje celá řada a každá má své vlastní uplatnění. Například pro omezení velikosti vstupního signálu se využívá saturační přenosová funkce a sigmoidální aktivační funkce se využívá u perceptronových vícevrstevných sítí. [58,60]

Vícevrstvý perceptron se skládá z více vrstev, a to vrstvy vstupní, skryté a výstupní, které jsou propojeny. Aktivační funkce se používají v každé výpočetní vrstvě, počet neuronů ve skryté vrstvě se volí s ohledem na náročnost úlohy. Patří mezi nejpoužívanější a nejrozšířenější prvek neuronových sítí. Jelikož některé datové soubory nejsou lineárně separovatelné, jako je tomu u logické funkce XOR, kdy existující soubor o čtyřech bodech, který chceme klasifikovat nelze lineárně oddělit. Pomocí vícevrstvého perceptronu však lze tyto datové soubory klasifikovat, i když nejsou lineárně oddělitelné. [58,60]

Perceptron a vícevrstvý perceptron lze tedy použít pro predikaci, aproximaci a klasifikaci. V systému pro rozpoznávání dopravního značení je nezbytností právě zmíněná klasifikace pro proces detekce. [60]



Obrázek 6: Perceptron [58]

3.5.2 Učení

V oblasti umělé inteligence má učení několik různých podob, dle oblasti použití a druhu úkolu. Můžeme použít strojové učení případně hluboké učení. Strojové učení pracuje se statistickými technikami (například chybová funkce, ztrátová funkce), které slouží k tomu, aby se mohl v daném úkolu zdokonalit, aniž by musel člověk zasahovat. Hluboké učení používá architekturu neuronové sítě, kdy se za hluboké učení považuje, pokud má více než tři vrstvy. V každé vrstvě nalezneme různé soubory funkcí, na čím nižší vrstvě se nalézáme, tak tím jsou funkce složitější. Každá další vrstva spojuje a kombinuje funkce a prvky z vrstvy, která současně vrstvě předcházela. [57,58,61]

3.5.3 Uvažování

Na základě výstupů je cílem odvodit závěr. Pro odvození závěru je použita buď dedukce nebo indukce. Hlavní rozdíl mezi těmito odůvodněními je skutečnost, že deduktivní odvození zaručuje pravdivost závěru a u induktivního odvození dosáhneme závěru bez absolutní jistoty. Pomocí induktivního uvažování se na základě získaných dat vytvářejí předběžné modely a možné budoucí chování. Deduktivní uvažování nachází uplatnění v logice a matematice. [56]

3.5.4 Vnímání

V umělé inteligenci je ve vnímání snímáno pomocí senzorických procesů, ať už skutečných nebo umělých. Vnímání se liší na závislosti úhlu pohledu, ze kterého byl objekt pozorován, prostředí, ve kterém se objekt nachází a zda objekt s prostředím splývá. V současné době také díky vývoji technologie, můžeme pomocí senzorů detekovat různé objekty. V rámci automobilového odvětví nalézáme autonomní vozíky, které přepravují materiál a vozidla, která

jsou samořiditelná, avšak je stále zapotřebí řidiče, jelikož ho tato technologie, ještě zcela nenahradila. [56]

3.5.5 Řešení problémů

V běžném životě se lidé snaží dosáhnout pomocí řešení problémů určitého cíle nebo řešení. Podobné je to i u umělé inteligence, kde vyhledává z řady možných aktivit, které jsou nezbytné pro dosažení předdefinovaného cíle nebo řešení. V oblasti umělé inteligence se řešení problémů rozděluje na obecné a zvláštní účely. U obecné metody je výhodou, že jí lze aplikovat v širokém spektru problémů. Naopak zvláštní metoda je koncipována na velice konkrétní problém a využívá velice specifické postupy pro jejich řešení. Pomocí řešení problémů v této oblasti, bylo dosaženo mnoho matematických důkazů či v šachách posloupnost tahů. [56]

3.5.6 Používání jazyka

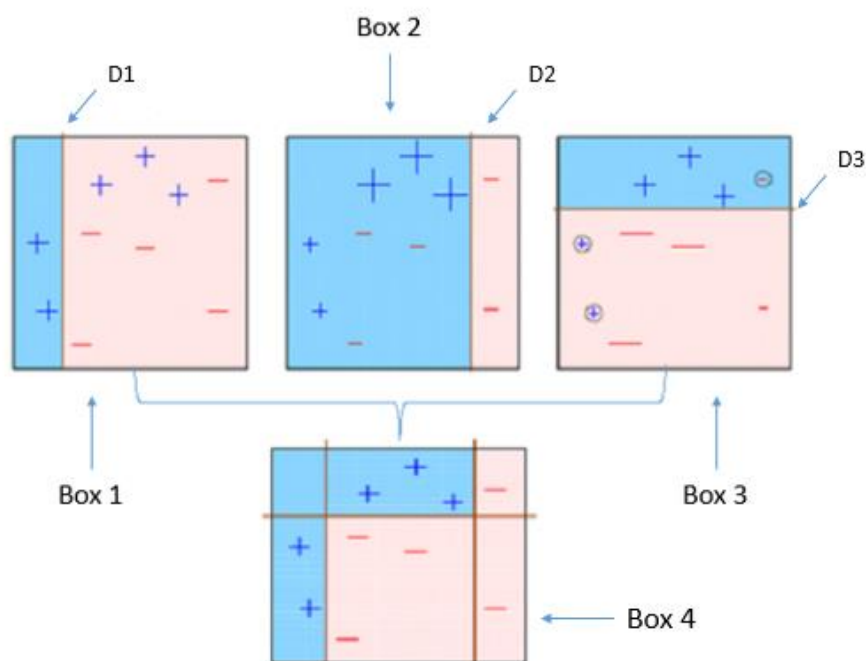
Jedná se o znakový systém, jehož význam je dle způsobu jednání. V dnešní době existuje spousta různých jazyků, jimiž se může umělá inteligence řídit. Umělá inteligence, je schopna v jasně ohraničených kontextech reagovat na lidské otázky a výroky. Při jednom experimentu komunikace dvou umělých inteligencí, které komunikovaly za účelem co nejvýhodnější transakce, došlo k tomu, že si vytvořili vlastní jazyk. [56,62]

3.5.7 Genetický algoritmus

Spadá do skupiny evolučních algoritmů. Genetický algoritmus je inspirovaný na Darwinově teorii evoluce. Genetický algoritmus vede k takovému řešení, kdy bude tento algoritmus co nejefektivněji pracovat, vznikne tak jeden nebo více jedinců s potřebnými vlastnostmi. Základní činnosti genetického algoritmu jsou selekce, křížení a mutace. Selekcí vede k výběru jedinců, kteří se stanou rodiči pro nově vzniklého jedince. Pro výběr jedinců je celá řada metod, jako jsou turnajová metoda, náhodný výběr, vážená ruleta a další. Při křížení si dva jedinci (rodiče) vymění část genetického kódu, opět záleží na zvolené metodě křížení. Vzniknou tedy dva nové jedinci, kde každý bude mít jiný genetický kód. Následně se rozhoduje, zda jeden nebo oba nově vzniklí jedinci postoupí do další generace. Mutace, v tomto kroku se prochází genetický kód jedince a s malou pravděpodobností se změní některé geny, které jsou ohodnoceny 0 a 1, ty se změní z 0 na 1 a naopak. Mutace vede k tomu, že může vzniknout nová vlastnost, která se nevyskytovala u žádného jedince. [63,64]

3.5.8 Adaboost (Adaptive Boosting)

Jedná se o meta-algoritmus strojového učení, který lze definovat jako postupný odhadovací postup aditivního logistického regresního modelu. Zjednodušeně se zaměřuje na klasifikační problémy a pokouší se převést skupiny slabých klasifikátorů na silné. Při tréninkovém procesu vybírá pouze takové prvky, které vedou k vylepšení prediktivní síly modelu. Přesnost Adaboostu je závislá na přesnosti všech hypotéz vrácených ze slabého učení (Weak Learn), které obsahuje, tím identifikujeme nejvýkonnější funkce. V současnosti je mnoho verzí Adaboostu, které se od sebe liší, jakým způsobem upravují váhy a u realizace konečné hypotézy. Na obrázku 7 vidíme, že Adaboost nevyužívá pouze jedné křivky pro rozdělení, ale hned několik, a to dle daných prvků. [65,66,67]



Obrázek 7: Adaboost [66]

3.5.9 Konvoluční neuronové sítě (CNN)

Jsou takové neuronové sítě, kde se používá matematický operátor konvoluce (konvoluce je operátor, který zpracovává dvě funkce, může také sloužit k úpravám více druhů signálů) namísto obecného násobení matic. Konvoluční neuronové sítě jsou schopné vykonávat složité úkoly s videem, obrázky, texty a zvuky. Tyto sítě dosahují velice dobrých a přesných výsledků při implementaci do systému rozpoznávání dopravního značení, jelikož využívají více vrstvého

perceptronu. Doba tréninku záleží na velikosti datové sady. Pokud budou snímky velké a datová sada rozsáhlá, bude to vést k zhoršení výkonu a zpomalení tréninku. Trénovací sada obsahuje snímky dopravních značek, které jsou do určité míry zdeformované, tím je myšleno například rotace a měřítko. Deformace jsou založeny na použití náhodných hodnot, které jsou definovány v určitém rozsahu. Tyto sítě také napomáhají k redukci falešně pozitivních oblastí. Pomocí konvoluční neuronové sítě jsme schopni klasifikovat objekty ze snímků, díky tomu tyto sítě využít pro systém rozpoznávání dopravního značení. [68,69,70,71,72]

3.6 Navigační systém

Slouží ke stanovení trasy k cíli naší cesty, kterou nám může následně ukázat na infotainmentu vozidla. Navigace zjišťuje aktuální polohu vozidla pomocí systému GPS (globální polohovací systém, sloužící pro určení rychlosti, polohy a času), následně dle zadaného cíle cesty hledá nejčastěji tu časově nejvýhodnější, případně si může uživatel zvolit takovou cestu, kde se nebude platit mýtné nebo, pokud se chce vyhnout nějakému místu, zvolit plán trasy. Když vozidlo vjede do tunelu nebo prostoru, kde není GPS signál, tak se pomocí gyroskopu a rychlosti vozidla vypočítává přibližná poloha, tudíž navigace pracuje za každé situace. Při obnovení signálu GPS dojde k upřesnění polohy. Navigační systémy dávají řidiči jednak informace o trase, době příjezdu či možných komplikacích na trase. V současné době jsou implementovány navigační systémy automobilkami do interiéru vozu, ale může se jednat i o příplatkovou výbavu, to dává prostor pro navigační systémy, které nejsou integrovány do infotainmentu vozidla, ale jsou ve formě externího přístroje. [73]

3.6.1 GPS

Systém GPS vysílá signál ze satelitů umístěných na orbitě země. Přijímač například ve vozidle signál zachytí a je schopen vypočítat polohu, rychlost vozidla. V současné době systém GPS využívá 24 satelitů, které musí být všechny pro správné fungování co nejvíce synchronizovány. Všechny satelity jsou opatřeny atomovými hodinami, které jsou velice přesné a fungují na rezonanční frekvenci určitých atomů. Pro zjištění co největší přesnosti se využívá metody triangulace, kde pomocí této matematické funkce získáme informace o místě a vzdálenosti, která vychází z výpočtu trojúhelníku. Tento systém našel uplatnění v širokém spektru jako navigace pro leteckou, lodní, pozemní dopravu a kosmické navigace, také ve službách a průmyslu. Tento systém sloužil z počátku pouze pro vojenské účely USA, kde ho začali používat v roce 1973 a s postupem času byl tento systém inovován. Pro civilní sektor byl

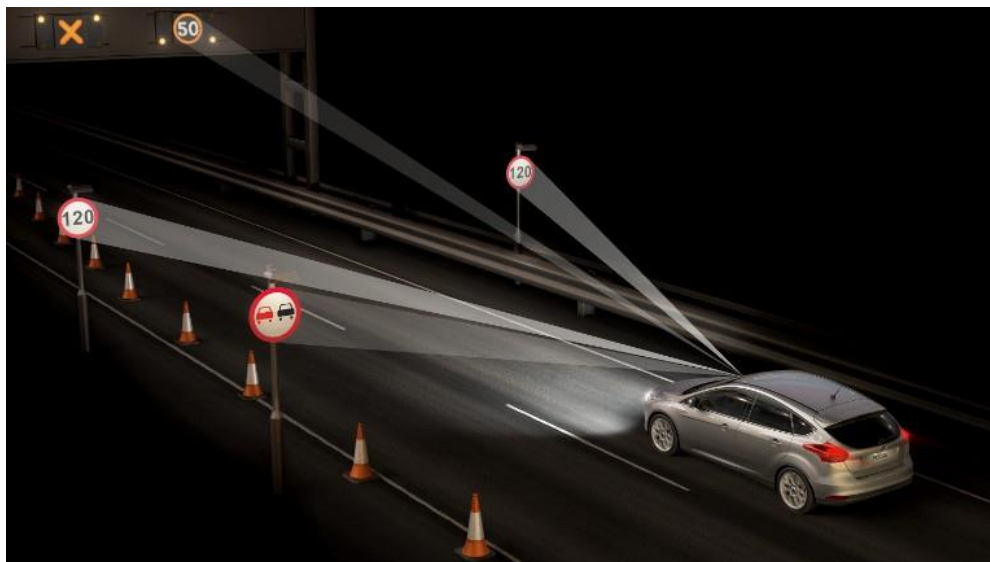
uvolněn až v roce 1994. V současnosti je systém GPS spravován ministerstvem obrany USA a je bezplatný. [73,74,75,76]

3.6.2 Galileo

Jedná se o obdobný navigační systém jako je GPS, který má být tvořen 30 satelity. V tomto případě jde o projekt Evropské unie, která chce zmírnit závislost na americké GPS. Systém Galileo je civilní projekt, tudíž neohrozí mezinárodní situace funkčnost systému, v souvislosti s eskalací mezinárodních vztahů. Satelity systému Galileo jsou kompatibilní se satelity GPS a GLONASS (GLONASS obdoba GPS, vyvinuta ruským ministerstvem obrany), což může vést k lepší přesnosti služeb. [77]

3.7 Systém pro rozpoznávání dopravního značení

Jak už bylo zmíněno v podkapitole 3.1.1 systém rozpoznává dopravní značení (jak můžeme vidět na obrázku 8) a předává získané informace přímo řidiči vozidla v reálném čase. Důležité prvky pro vývoj asistenčních systémů obecně jsou zejména procesory s dostatečnou výpočetní kapacitou, komunikace mezi automobily a konektivita. [4]



Obrázek 8: Systém rozpoznávání dopravního značení [78]

Tento systém nejenom že přispívá k vyšší bezpečnosti na pozemních komunikacích, ale je také nezbytný pro autonomní řízení vozidel, což je v dnešní době velkým trendem. Tím pádem musí být tento systém zcela precizní a bezchybný, aby se eliminovala bezpečnostní rizika spojená dopravním značením. [79]

Při vývoji tohoto systému byla nalezena spousta řešení, jak docílit robustního systému, která byla vhodná pro implementaci do vozidla. Avšak tato řešení jsou optimální jen za určitých podmínek. Řešení omezovala například rychlost vozidla, kdy pracovaly v městských částech bezproblémově a při dosažení určité hraniční rychlosti pozbyly funkčnosti. Podobně tomu bylo i u světelných, povětrnostních podmínek, s okluzemi, překrytím jiným tělesem a dalšími atributy. [79]

Abychom byli schopni docílit nejlepších výsledků, je zapotřebí použít co nevhodnější software a hardware. Z tohoto hlediska je tedy rozhodující, aby bylo možné realizovat implementaci algoritmu do logického zařízení. Pokud bychom se podívali na hardwarovou realizaci, tak i zde bylo vyvinuto velké množství řešení, jako jsou konvenční počítače, procesory digitálního signálu, grafické procesorové jednotky, aplikačně specifické obvody integrovaného obvodu a mnoho dalších. Z pohledu designu je kladen důraz na velikost celého zařízení a uložení, zejména, aby použitá elektronika vydržela teplotní rozdíly a nepříznivé podmínky. [80]

Následující kapitola se bude zabývat dopravním značením a konkrétním systémem, kdy bude nejdříve vysvětleno, jakým způsobem software detekuje a rozpoznává dopravní značení a následně jakými metodami dosahuje nejlepšího výsledku. Dále se budeme zabývat hardwarem systému, tudíž jaké kamery jsou vyhovující pro tento systém.

3.7.1 Dopravní značení

Rozdělují se na vodorovné, svislé a dle předávaných informací. Dopravní značení je určeno pro řízení a regulaci silničního provozu. Účastníkům silničního provozu předávají důležité informace, které rozlišujeme dle charakteru na výstražné, upravující přednost, zákazové, příkazové, informativní a dodatkové. Dopravní značky jsou nedílnou součástí našeho každodenního života, ať už při cestě do práce, školy nebo volnočasových aktivitách, kdy se potřebujeme dopravit z bodu A do bodu B. [81]

V dnešní době je nezbytné, aby každý účastník silničního provozu znal jejich význam. Dopravních značek je velmi mnoho a mohou se občas stávat zmatečnými. V některých případech i řidiči zapomenou jaký má konkrétní značka význam, což v tom nejhorším případě může vést i k dopravní nehodě, například nedání přednosti či vjezd do jednosměrné

komunikace. S tímto problémem nám tedy může pomoci systém dopravního značení, který by měl zabránit nejasnostem se svislým značením.

Dopravní značení společně s pravidly provozu vnáší řád na pozemní komunikace. Tyto pravidla a předpisy jsou uvedeny ve sbírce zákonů. Mezi nejdůležitější zákony a vyhlášky z pohledu pozemních komunikací a svislého dopravního značení patří „zákon č. 63/2017 Sb., kterým se mění zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“, „zákon o dopravních komunikacích č.13/1997 Sb. “, „zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů č. 361/2000 Sb. “ a „vyhláška č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích“. [82,83,84,85]

Odlišnosti dopravního značení

Pokud se ohlédneme za dopravním značením, která se používají v Evropě, tak zjistíme, že rozdíly jsou minimální. Naopak pokud se podíváme na dopravní značení v USA nebo Číně zjistíme, že rozdíly jsou markantní. Proto nejenom kvůli tomuto důvodu jsou vozidla přizpůsobována danému trhu, což v souvislosti s dopravním značením zahrnuje nahrání do systému databázi dopravního značení, která se v daném trhu potažmo zemi používá. V USA oproti Evropě nalézáme velké množství textových dopravních značek, jako příklad můžeme uvést zákaz zastavení, zákaz předjíždění (rozdíl v značení můžeme vidět na obrázku 9 a 10) či výstražné značení, které je v Evropě realizováno trojúhelníkovým tvarem značky s červeným okrajem, v Americe jsou realizovány kosočtvercovým tvarem a žlutou barvou. [86]



Obrázek 9: Dopravní značka Zákaz předjíždění [87]



Obrázek 10: Dopravní značka No Passing Zone (Zákaz předjíždění) [88]

Protože Evropa je domovem mnoha jazyků, používají se na dopravním značení symboly jasného významu, které odstraňují jazykové bariéry. Pokud se podíváme na severoamerický kontinent, tak se zde mluví převážně anglickým jazykem. Výjimkou je Mexiko, kde je úřední jazyk španělština. Tudíž by zde také mohla vzniknout určitá jazyková bariéra a s tím spojené riziko nepochopení informace textového dopravního značení, což může představovat určitou míru rizika vzniku dopravní nehody. Avšak anglický jazyk patří mezi jeden z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších jazyků, ale ne všichni tento jazyk dokonale ovládají. Proto platí, že pokud cestujeme do kterékoliv cizí země a hodláme se v dané zemi účastnit silničního provozu, tak bychom se měli seznámit, s rozdíly v pravidlech silničního provozu a dopravním značení. [86]

3.7.2 Detekce dopravního značení

Jako první krok pro vytvoření systému pro rozpoznávání dopravního značení je nezbytný proces detekce, který slouží k vyhledání dopravního značení podél silniční komunikace. Proces detekce je velice klíčový pro tento systém. Pokud systém nenalezne dopravní značku, tak proces končí a rozpoznávání vůbec nezačne. Největší problémy skýtá lokalizace, detekce a kategorizace dopravního značení. [79]

Detekce je nejčastěji realizována na extrakci barevných informací a detekce tvarů dopravního značení (kruhové, trojúhelníkové, čtvercové, obdélníkové a oktagonové), které jsou definované v technických podmínkách Ministerstva dopravy. V tomto směru jsou důležité technické podmínky 65, které definují na pozemních komunikacích dopravní značení. Mimo to jsou v těchto podmínkách zahrnuty umístění, užití a jejich provedení. V tomto ohledu je důležitá vyhláška č. 30/2001 Sb. stanovující, že se smí používat dopravní značky, které uvádí a tvary symbolů se nemohou měnit. [89,90]

V následující kapitole se budeme dále věnovat dvěma nejpoužívanějším metodám detekce dopravního značení. Konkrétně detekci na základě křivek a detekci na základě barvy. Obecně se používá pro detekci dopravních značek strojového učení či učících algoritmů. Největším problémem detekce jsou světelné podmínky a změny počasí, cílem je tedy vyvinout takovou detekční metodu a samozřejmě s ní spojený hardware, který by měl co nejvyšší spolehlivost a co nejmenší chybovost. [91]

3.7.3 Detekce pozadí na dopravním značení na základě barvy

Při použití této detekce se vyhledává v oblasti pomocí segmentace obrazu požadovaná barva. Dopravní značky mají definované barevné standardy: červená, žlutá, černá, bílá a modrá. Tyto standardy kladou důraz na čitelnost značky v noci, kdy při osvětlení značky vozidlem mají dostatečnou iluminaci, které využívají některé barevně založené detekce. V počátcích byla barevně založená detekce velmi nespolehlivá, ovlivněná povětrnostními podmínkami, denní dobou a stíny. Vedlo to k vytvoření metody intenzity sytosti odstínu, která vede k nezávislosti na světelných podmínkách. [79,91]

Jako první krok k automatické detekci dopravních značek byl vytvořen jednoduchý algoritmus, který využíval vyhledávací tabulku, pomocí které segmentoval obraz. Vývoj pro vytvoření kvalitní detekce za použití barevného základu, vedl k vytvoření několika různých metod, které využívaly buď spektra barev RGB (RGB nebo-li barevný model, který obsahuje tři základní barvy a to červenou, zelenou a modrou) nebo jiné jenž toto spektru nepoužívaly. Dále nalezneme metody dle barevně založené detekce v kombinaci s tvarovými filtry. Existuje celá řada metod, která vedla do slepých míst, kdy detekce byla velice výpočetně náročná. Pro výběr nejlepších funkcí pro tuto metodu byl zvolen kaskádový algoritmus AdaBoost, který vyseletoval funkce z barevného spektra. Výsledkem byly barevné kanály RGB a barvy šedivé škály, které byly vyvozeny automaticky z dat a v praxi dosahovaly skvělých výsledků. Největším nedostatkem je však výpočetní náročnost, kdy se uvádí pouze 10 snímků za sekundu při rozlišení kamery 384 x 288. Průlom nastal v roce 2001, kdy se algoritmus AdaBoost vylepšil tím, že se spojil se silnými klasifikátory a logickým operátorem AND. Ve spodní vrstvě pak bylo definováno velké množství funkcí podobných těm Haarovým (Haarova funkce se mění do pravoúhlých obdélníkových tvarů na intervalu $[0, 1)$). To mělo za následek časovou úsporu a vysokou přesnost. [79,91]

Jako další vyhovující model pro segmentaci obrázků je barevný model CIECAM97. Tento model je však přístrojově nezávislý na vzhledu barevného modelu, což může být výhodou oproti RGB modelu. [79,91]

3.7.4 Detekce pozadí na dopravním značení na základě křivek

Jelikož je na pozemních komunikacích bezpočet dopravních značek, může u této detekce nastat překrytí dopravního značení jinou značkou, zkreslení, neúplné značení způsobeno jinými

předměty a už klasicky vliv změny počasí a denní doby. Detekce na základě křivek se v systémech aplikuje, až po detekci na základě barvy. Důležitou roli zde hraje vzdálenost od kamery, kdy se za jízdy mění velikost dopravního značení vůči vozidlu. To může mít za následek, že ve větších vzdálenostech od kamery nemusí mít dopravní značení vhodné prostorové rozlišení. Jako první řešení při detekci na základě křivek se aplikovala Houghova transformace (technika sloužící k analýze obrazu, jejímž cílem je identifikace přímek a popřípadě i libovolných tvarů) okrajové mapy oblasti zájmů. [79,92]

Kombinace detekce na základě křivky a barvy vede ke zrychlení procesu detekce. Po procesu detekce na základě barvy se pomocí detekce na základě křivek detekují pomocí geometrické analýzy dopravní značky. [79]

Další vhodná metoda pro detekci je aplikace barevné segmentace s následnou aplikací techniky lokálního a globálního růstu na hierarchické organizaci informací. Následuje porovnávání nalezených tvarů s přesně definovanou knihovnou základních tvarů dopravního značení, aby se potvrdilo, zda detekovaný objekt je dopravní značení. Při aplikaci této metody, jsou výsledky velice slibné z důvodu rychlosti v reálném čase. Integrací strojového učení detekce dosahují lepších výsledků společně s neuronovou sítí, která je klasifikuje. [79]

Mezi další zajímavé metody detekce na základě křivek jsou genetické algoritmy, které efektivně vyhledávají dopravní značení, kdy nehrají roli parametry jako jsou povětrnostní podmínky, poloha, měřítko, přítomnost jiného předmětu a částečné překrytí. Jinou možností jsou korelační metody detekce, které mají definované vzory s aplikací distanční transformace. Korelační metoda využívá klasifikace pomocí radiální báze sítí. [79]

3.7.5 Detekce objektů

Termín detekce objektů slouží k popisu konkrétního druhu klasifikace, kdy objekty klasifikujeme buď na třídu objekt nebo žádný objekt. Žádné jiné třídy klasifikace kromě těchto dvou nemáme. Pokud systém klasifikuje třídu objekt, znamená to, že byla detekována dopravní značka. Jestliže systém klasifikuje třídu žádný objekt, tak scéna neobsahuje žádnou dopravní značku. Vyhledávací strategie je realizována pomocí hrubé síly, kdy je snímek prohledáván v rastrovém pořadí, pomocí okna pixelů $n \times m$ přes násobná měřítko snímku. Snímek je klasifikován v každém měřítku a pozici. Použitím této vyhledávací strategie nastává problém,

kdy je pořízeno vysoké množství snímku, kde je jen několik objektů dopravním značením. Cílem je tedy ze vstupního snímku dostat informaci, zda byl nalezen objekt. [79]

V dnešní době metody založené na hlubokém učení dosahují dobrých výsledků v reálném čase (35ms). Tyto metody dosahují přesnosti 95 %, abychom dosáhli ještě preciznější metody, musely by být vytvořeny komplikovanější datové soubory, jelikož současné datové soubory jsou již nasyceny. Jako nejlepší řešení pro klasifikaci dopravních značek se jeví metoda konvoluční neuronové sítě, kdy dosahuje z možných klasifikátorů nejlepších výsledků a je tedy vhodná pro integraci do konečného systému. [93]

3.7.6 Rozpoznávání pozadí dopravních značek

Při detekování dopravní značky nastává proces rozpoznávání, kdy se detekovaná značka porovnává s databází dopravních značek, které systém obsahuje. Porovnání lze rozdělit na několik kategorií. Pokud se podíváme na průběh vývoje, tak mezi nejdůležitější lze zařadit metodu, která využívá vzoru a klasifikátoru, detektor radiální symetrie, metodu využívající normalizovanou křížovou korelaci a metody využívající strojové učení. Když se ohlédneme za vývojem pro rozpoznávání dopravního značení tak nalezneme mnoho metod pro kvalitní rozpoznávání. Velice schopné metody byly vyvinuty pomocí strojového učení, které jsou založeny na neuronových sítích. [79]

Když se zaměříme na metodu vzoru a klasifikátoru tak zjistíme, že tato metoda není příliš přesná. Při 30 trojúhelníkových a 10 kruhových dopravních značkách, které byly uloženy v databázi bylo dosaženo přesnosti 85 %. Hlavní výhodou této metody je, že není náchylná na pootočení a velikosti dopravního značení, což vede k rychlé reakci rozpoznávání. [79]

Metoda křížové korelace dosahuje velmi dobrých výsledků, přesnost metody dosahuje až 98 %. Tato metoda pracuje s vlastní databází dopravních značek, s 60 kruhovými a 47 trojúhelníkovými dopravními značkami. Výhoda této metody spočívá v odolnosti na změny světelných podmínek a jednoduchost. Ve výsledku tedy dosahuje o poznání lepší přesnosti než metoda využívající vzoru a klasifikátoru. [79]

Strojové učení aplikované na tuto problematiku je, založené na neuronových sítích, které jsou trénované na barvu, tvar a strukturu. Zdokonalení strojového učení bylo dosaženo vícevrstevným perceptronem, který prováděl Fourierovu transformaci (nástroj, jehož pomocí se

rozděluje průběh funkce nebo signál na alternativní zastoupení, které jsou charakterizovány sinem a kosinem) detekované dopravní značky a souboru filtrů. [79,94]

Jedna z nejrozsáhlejších studií analyzovala 1500 silničních scén, ve kterých byly dopravní značky. Ty byly extrahovány a implementovány do souboru s obrazovými daty. Tento soubor tak v konečném součtu obsahoval 3500 snímků dopravních značek. Pro detekci dopravního značení, byla v této studii použita samoorganizovaná mapa, která rozkládala červené pixely ze snímku. Na této studii byly použity snímky z Velké Británie, Španělska a České republiky. Důvodem použití snímků z více zemí jsou odlišné světelné a povětrnostní podmínky. [79]

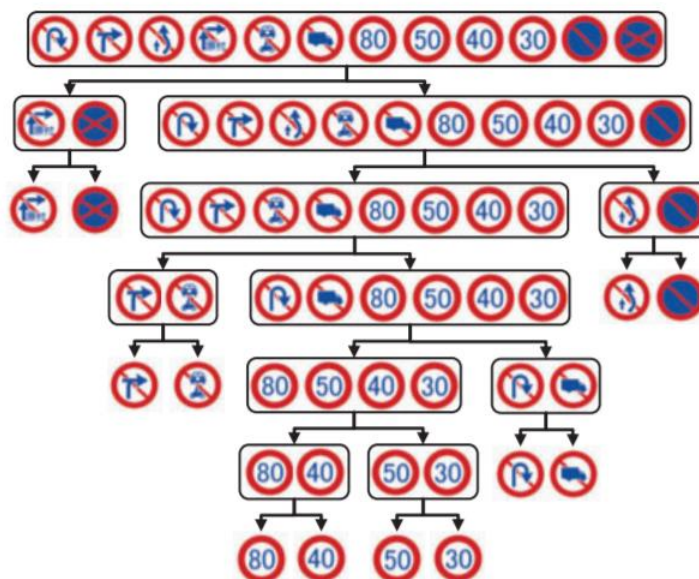
Detektor radiální symetrie se ukázal jako nejlepší řešení, pokud ho skloubíme s Adaboostem dosáhneme velice dobrých výsledků. Detektor byl testován v silničním provozu umístěný vně vozu, což přineslo mimo jiné data o jeho stabilitě, rychlosti a výkonnosti. Bylo zjištěno, že pracuje při širokém spektru vizuálních podmínek. [79]

Pokud se ohlédneme za mobilními mapovými systémy, tak zjistíme, že slouží k získávání snímků oblastí dopravních značek nebo popřípadě videí. Tím můžeme získat důležité parametry o světelných a povětrnostních podmínkách, které v určitý čas probíhaly. To představuje další užitečné informace pro přesnější systém. [79]

3.7.7 Rozpoznávání objektů

Jedná se o jeden ze stěžejních procesů systému pro rozpoznávání dopravního značení, který klade velké nároky na efektivní a dostatečně velký paměťový systém. Aby bylo dosaženo rozpoznávání objektů, musí být jasně a pevně definovány tvary objektů.

Pro rozpoznávání objektů je použita klasifikační hierarchie. Tím je myšleno, že systém na začátku rozpozná, jaký má dopravní značení tvar, pak v dalším kroku odpadnou takové dopravní značky, který mají jiný tvar než ten rozpoznáný. Pokud si to uvedeme na příkladu značky omezující rychlost na pozemní komunikaci, tak by byla rozpoznána kruhová značka a ostatní značky jiného tvaru jsou následně zavrhnuty. Dále systém rozpoznává detaily značky a hledá shodu s databází. Tudíž dalším krokem je vyselektování správné dopravní značky, průběh tohoto procesu je znázorněn na obrázku 11. V tomto kroku jsou zavrhnuty značky jako zákaz vjezdu, zákaz zastavení a ostatní dopravní značky omezující rychlost, kromě dané značky, se kterou našel shodu. [79]



Obrázek 11: Generovaný hierarchický klasifikátor [91]

Existují i metody detekce objektů, kdy detekovanou značku porovnává s celou svojí databází a hledá schodu. Jelikož je v databázi velké množství objektů, tak by tento postup byl velice výpočetně náročný a nedostatečný v reálném čase. Je to mimo jiné způsobeno tím, že v databázi jsou snímky s odlišnou polohou, úhlem a fotometrickými efekty. [79]

3.7.8 Systémový výstup

Výstup systému je v podobě vygenerovaného souboru XML (Extensible Markup Language nebo-li rozšířitelný značkovací jazyk), který obsahuje informace o detekovaných značkách. Mezi informace jsou zahrnovány velikost a pozice každé detekované značky. Množství a struktura informací, jenž chceme generovat, se musí jasně předem definovat. Můžeme tak získat široké spektrum informací z reálného rozpoznání dopravního značení, například v jakou hodinu a místo, kde byla značka detekována a mnoho dalších. [79,95]

3.7.9 Implementace hardwaru

Nezbytným krokem k realizaci konečného systému pro rozpoznávání dopravního značení je implementace. V předchozích kapitolách byly popsány metody detekce a rozpoznávání dopravního značení pro konečný systém, ty se nyní implementují do logického obvodu. V tomto kroku se definuje metodika, podle které bude implementace uskutečněna. Realizace lze dosáhnout pomocí různých metodik, nejčastěji se setkáváme s metodikou FPGA (Field

Programmable Gate Array nebo-li programovatelná hradlová pole), hlavní výrobci FPGA jsou Xilinx a Altera. [96]

FPGA je polovodičové zařízení, které obsahuje konfigurovatelný logický obvod (jedná se o počítačovou komponentu, která je schopna na základě vstupu, ale i výstupu nabývat hodnot 0 a 1) sloužící ke zpracování digitálních signálů. Tento logický obvod umožňuje nahrání softwaru, který definuje funkčnost obvodu. Tento obvod lze využít v široké škále aplikací zejména pro zařízení zaznamenávající video, letecké a vojenské aplikace nebo elektroniku. S tímto zařízením se můžeme v běžném životě setkat u profesionálních fotoaparátů, multifunkčních tiskáren, lékařského endoskopu či asistenčních systémech vozidel jako jsou systémy typu ADAS (pokročilé systémy asistence řízení schopné přímo zasahovat do řízení vozidla) a TSR. [97,98]

FPGA se realizuje ze dvou kroků. Prvním krokem v implementaci je algoritmus modelován a následně simulován softwarovými nástroji například Matlab. Druhý krok zahrnuje návrh hardwarové architektury a proces ručního kódování. Pokud by vložený software vyžadoval úpravy, znamenalo by to nahrání aktualizace do logického obvodu. Výhoda této metodiky se vyznačuje zejména flexibilitou, která spočívá v možnosti propojit tento logický obvod s ostatními obvody s různou rychlostí dat. [96,97,98]

Pro dosažení co nejlepších možných výsledků se využívá simulace, která vyhodnotí přesnost implementace. Pokud by bylo použito systému Xilinx, je možné využití systémového generátoru pro automatickou generaci hardwaru a validaci softwaru. Následně se vygenerovaný kód přenesou do FPGA. Výsledný hardware je optimalizován dle kritérií na jeho spolehlivost, funkčnost, rychlost, rozměry a cenu. Výsledkem této fáze je tedy komponenta, která obsahuje software na základě, kterého bude systém pracovat. [96,97]

3.7.10 Hardware

V této kapitole si představíme hardware, se kterým se můžeme setkat u systému rozpoznávání dopravního značení. Nejdůležitější částí systému je z pohledu hardwaru zejména polovodičové zařízení FPGA, základní deska, která musí být kompatibilní s použitým FPGA a obsahující nezbytné vstupy a výstupy. Základní deska je kromě FPGA opatřena operační pamětí, v současné době se používá paměť typu DDR3. Dalším důležitým prvkem je samotná kamera. Zde závisí na výrobci automobilu, pokud se bude kamera využívat pouze pro TSR

systém, tak je monokulární kamera dostatečná. V případě, že automobil využívá pokročilé systémy jako jsou například ADAS, je výhodnější instalace stereo kamery, jejíž výhodou je trojrozměrná detekce prostředí. [97,100,101]

Systém lze realizovat pomocí nízkonákladové vývojové desky ZedBoard, kterou lze osadit FPGA Xilinx Zynq-7000 SoC, tato deska je již z výroby osazena operační pamětí o velikosti 512 MB a úložištěm o velikosti 4 GB. Zároveň je opatřena programovatelnými logickými vstupy a výstupy, výstupy HDMI a VGA sloužící pro přenos obrazových dat z kamery. Pomocí této desky lze vytvářet návrhy založené na různých operačních systémech. Pro usnadnění programátorské práce je na desce OLED panel se stavovými informacemi a Push switche pro ovládání desky doplněné o JTAG výstup, sloužící pro debugování neboli odstranění chyb z počítačového programu. [99,100]

Dalším prvkem pro realizaci můžeme zvolit FPGA typu Xilinx Zynq-7000 SoC, kdy je v tomto zařízení zabudován dvoujádrový procesor ARM Cortex-A9. Tento procesor se vyznačuje vysokou konstrukční flexibilitou a výborným výkonem na watt. Zároveň disponuje vysokou diferenciací návrhů pro velkou řadu aplikací, do kterých spadá systém TSR a ostatní asistenční systémy využívajících více kamer zabudovaných ve vozidle. [99]

Nezbytnou součástí systému TSR je kamera, kterou můžeme vidět na obrázku 12, nejčastěji se volí mezi stereo a monokulární kamerou. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že stereo kamera pracuje na základě dvou kamer, které vytvářejí dvě videa což vede k trojrozměrné detekci prostředí. Naopak monokulární kamera je běžný typ snímače pouze s jednou kamerou. Kamery se dále liší dle použitého senzoru. Na kamery využívající CCD (Charge Coupled Device) a CMOS (Complementary metal-oxide semiconductor) senzor, oba tyto senzory slouží k digitálnímu snímání obrazů, u těchto senzorů dochází k fotoelektrickému efektu, kdy vytváří ze světla elektrický signál. [101,102]



Obrázek 12: TSR Kamera Audi [103]

CCD je senzor, který vytváří velmi kvalitní snímky s nízkým obsahem šumu. Mezi hlavní výhody tohoto senzoru patří hloubka pořízeného obrazu. Avšak proti senzoru CMOS mají tyto typy mnohem vyšší spotřebu energie, cenu a jsou citlivější na světlo. Z konstrukčního hlediska jsou tyto senzory rozměrnější vůči sensorům CMOS. Jelikož jsou tyto senzory vyráběny delší dobu, tak jsou propracovanější než druhý zmíněný senzor. [104,105,106]

CMOS je v podstatě elektronický čip. Slouží k převodu fotonů na elektrony pro další zpracování. Obecně je tento typ zkonstruován z jednodušší elektroniky, což umožňuje navrhnout tyto senzory s menšími rozměry, kdy velikost použité kamery pro systém TSR může být jednou z hlavních kritérií pro implementaci do vozidla. Celý proces probíhá tak, že čipy obsahující minutové buňky zachycující fotony různých vlnových délek. Po následném zaostření objektivu se fotony převedou na elektrony. Náboje, které vznikly v jednotlivých buňkách se převádějí na pixely o různé barvě. Výhoda tohoto senzoru oproti CCD spočívá v nižší spotřebě energie a nižších nákladech na výrobu. Nevýhodou oproti CCD senzoru je nižší kvalita, rozlišení a citlivost. V současné době mají oba typy senzorů srovnatelný výkon. [104,105,107]

Na první pohled se tedy jeví použití senzoru CCD jako správná volba díky vysoké kvalitě snímku. Avšak z pohledu strojového vidění jsou hlavními kritérii rychlost a hluk. CMOS obsahuje masivně paralelní zobrazovače. Naproti tomu CCD mají velký počet rychlých paralelních výstupních kanálů. Pro realizaci systému TSR tedy volí kamery, které používají CMOS senzory. [108,109]

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit problematiku systému pro rozpoznávání dopravního značení a přidružených oblastí. Zároveň popsat metody detekce a rozpoznávání dopravního značení, které jsou vhodné pro aplikaci daného asistenčního systému spolu s možností jeho za použití konkrétní elektroniky. Uvedené metody jsou převzaty ze současné odborné literatury. Hlavní důraz této práce byl kladen na systém pro rozpoznávání dopravního značení se zaměřením na jeho klíčové segmenty. Mezi tyto segmenty patří možnosti detekce a rozpoznávání objektů zájmu, v našem případě svislých dopravních značek. Dalšími klíčovými segmenty je hardwarová implementace a možnosti využití konkrétní elektroniky pro realizaci.

Výsledkem této práce je soubor informací o metodách detekce a rozpoznávání s následným zhodnocením metody pro její možnou aplikaci v reálném prostředí. Stejně tak informace o implementaci hardwaru a konkrétní elektronice, ze které systém vyhotovit. Další výsledky zahrnují literární rešerši na přidružená témata v oblasti asistenčního systému pro rozpoznávání dopravního značení.

Systém pro rozpoznávání je velice důležitý z pohledu budoucnosti automobilového průmyslu zvláště počítačové vidění v oblasti autonomního řízení. Proto systém pro rozpoznávání dopravního značení podstupuje neustálý vývoj s cílem rozšíření o další objekty reálného prostředí. Mimo chodce a cyklisty, které už v současnosti tento systém detekuje, avšak i zde je prostor pro zkvalitnění detekce a rozpoznávání. Následně vzájemnou komunikací se systémem pro nouzové brzdění eliminuje následky dopravních nehod. Důležitou roli ve spolehlivosti systému hrají také světelné a povětrnostní podmínky, proto se současný vývoj zaměřuje i tímto směrem, aby spolehlivost konvergovala ke 100 %.

Další možné využití je v segmentu údržby dopravního značení, kdy by asistenční systém byl nastaven na určitou shodu se vzorem uloženým v databázi. Pomocí umělé inteligence by zařadil dopravní značení například do skupin, nedetekovatelná nebo poškozená. Následně díky konektivě by systém informoval konkrétní správní orgán či přímo oddělení údržby komunikací, které by zjednálo nápravu ve smyslu opravení čitelnosti či výměnu značení. Jelikož vlivem povětrnostních podmínek nebo mechanickým poškozením může být dopravní značení znehodnoceno, tak bude velice náročné specifikovat, které dopravní značení je nutno

vyměnit. Hlavní problém tohoto segmentu bude určit rozsah poškození či množství vad. Bude tedy zapotřebí umělé inteligence, která bude vycházet z tréninkové sady obsahující vady jež chceme detekovat. Na jejím základě by měl být systém schopen vady v daném rozsahu detekovat. Důležité bude, zda výrobci automobilů, kteří systémy pro rozpoznávání dopravního značení vyvíjejí budou chtít do tohoto segmentu investovat. Jelikož by tato funkce nikterak nepřispívala řidiči vozu, ale pouze správním orgánům pečující o pozemní komunikace.

5 Použitá literatura

1. CZRSO. *Nehody v dopravě – časové řady*. [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/10180/90924498/nedcr010320_2.xlsx/d8f25c14-a1e6-4a87-9ee2-69e9801ef6c1?version=1.1
2. ČTK. *Aut na českých silnicích přibývá. Do konce roku zřejmě překročí hranici šesti milionů*. [online]. 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/aut-na-ceskych-silnicich-pribyva-do-konce-roku-zrejme-prekro/r~262dd586f73111e9858fac1f6b220ee8/>
3. CDV. *Aktivní a pasivní prvky bezpečnosti motorových vozidel*. [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/aktivni-a-pasivni-prvky-bezpecnosti-motorovych-vozidel/?id=1611>
4. AUTOACTIVITY. *Systém pro rozpoznávání dopravních značek TSR*. [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://autoactivity.webnode.cz/products/system-pro-rozpoznavani-dopravnich-znacek-tsr>
5. CDV. *Bezpečná komunikace*. [online]. 2017 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/bezpecna-komunikace/?id=1693>
6. CZRSO. *Bezpečnost dopravy*. [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/kategorie/bezpecnost-dopravy/>
7. CDV. *Uzavření Vallettské deklarace o bezpečnosti silničního provozu*. [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/uzavreni-vallettske-deklarace-o-bezpecnosti-silnicniho-provozu/?id=1665>
8. MVCR. *Resortní akční plán bezpečnosti a plynulosti silničního provozu do roku 2020*. [online]. 2017 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/soubor/resortni-akcni-plan-bezpecnosti-a-plynulosti-silnicniho-provozu-do-roku-2020.aspx>
9. CZRSO. *Bezpečnost vozidla*. [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/kategorie/bezpecnost-vozidla/>
10. BESIP. *Aktivní bezpečnost*. [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech/Aktivni-bezpecnos>
11. BESIP. *Antiblokovací systém brzd*. [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech/Aktivni-bezpecnost/Antiblokovaci-system-brzd>
12. STACHA, Jan. *Tempomat*. [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tempomat>
13. SVATOŠ, Patrik. *Technologie v autech: adaptivní tempomat*. [online]. 2016 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-adaptivni-tempomat-502>
14. ŠMUCLER. *Front Assist – Automatické nouzové brzdění*. [online]. 2016 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/front-assist-automaticke-nouzove-brzdeni/>
15. SAJDL, Jan. *Front Assist*. [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/front-assist/>
16. ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Všeobecné oprávnění VO-R/10*. [online]. 2017 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/10/12.2017-10/obrazky/vo-r10-122017-10.pdf>

17. MATĚJKA, Jaroslav. *Parkovací asistent – jak to funguje?* [online]. 2012 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/parkovaci-asistent--jak-to-funguje>
18. ŠMUCLER. *Park Assist – parkovací asistent.* [online]. 2017 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/park-assist/>
19. ŠMUCLER. *Lane Assist – systém pro udržování jízdního pruhu.* [online]. 2017 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/lane-assist/>
20. SAJDL, Jan. *Lane Assist.* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/lane-assist/>
21. BESIP. *Pasivní bezpečnost.* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech/Pasivni-bezpecnost>
22. FOREJTOVÁ, Lucie, Ladislav KOLAŘÍK, Jan SUCHÁNEK, Marie Kolaříková KOLAŘÍKOVÁ a Tomáš PILVOUSEK. *Svařitelnost ocelí pro automobilové karoserie.* [online]. 2017 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-oceli-pro-automobilove-karoserie.html>
23. BEZPECNECESTY. *Karoserie.* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti/karoserie>
24. BEZPECNECESTY. *Crash testy Euro NCAP.* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/crash-test-video/crash-testy-euro-ncap>
25. CDV. *Legislativa pro bezpečnostní pásy.* [online]. 2007 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/legislativa-pro-bezpecnostni-pasy/?id=1519>
26. WIKIPEDIA. *Bezpečnostní pás.* [online]. 2007 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpečnostní_pás
27. BESIP. *Dětské autosedačky.* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech/Pasivni-bezpecnost/Detske-autosedacky>
28. SAJDL, Jan. *Airbag.* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/airbag/>
29. PARLAMENTNILISTY. *BESIP: Skrytý potenciál ponehodové péče.* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/BESIP-Skryty-potencial-ponehodove-pece-380869>
30. SAJDL, Jan. *Aktivní kapota (Pop-Up Bonnet).* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/pop-up-bonnet-aktivni-kapota/>
31. OLIVÍK, Pavel. *Aktivní kapota: měkčí dopad pro chodce.* [online]. 2011 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/aktivni-kapota-mekci-dopad-pro-chodce_1
32. HALAMKA, Jaroslav. *Při nárazu bude chodce zachraňovat kapota jako peřina.* [online]. 2011 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/kapota-musi-byt-co-nejmekci-aby-nezranila.A110215_150544_automoto_fdv
33. VÍT, Jaroslav. *Volvo V40 má jako první auto na světě airbag chránící chodce.* [online]. 2012 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z:

- https://www.tyden.cz/rubriky/auta/svetove-autosalony/volvo-v40-ma-jako-prvni-auto-na-svete-airbag-chranici-chodce_228322.html
34. AUTEMBEZPECNE. *První airbag pro chodce dá do svých aut Volvo*. [online]. 2012 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <http://www.audembezpecne.cz/cz/s40/c1529-Bezpecne-auto/n2582-Prvni-airbag-pro-chodce-da-do-svych-aut-Volvo>
 35. BESIP. *Asistenční systémy v autech*. [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech>
 36. VLK, F. *Automobilová elektronika 1: Asistenční a informační systémy*. Brno: František Vlk, 2006. 269 s. ISBN 80-239-6462-3 [cit. 2019-11-22].
 37. VYSOKÝ, Petr. *Asistenční systémy v automobilech*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/asistencni-systemy-v-automobilech-2005_12_30855_3268/
 38. VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2*. 1. Brno: Vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.
 39. VLK, František. *Koncepce motorových vozidel*. 1. Brno: Vlk, 2000. ISBN 80-238-7282-0.
 40. ST. *Vehicle Control Unit (VCU)*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/applications/electro-mobility/vehicle-control-unit-vcu.html>
 41. BOSCH-MOBILITY-SOLUTIONS. *Driver assistance systems for passenger cars*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/highlights/automated-mobility/driver-assistance-systems-for-passenger-cars/>
 42. BOSCH-MOBILITY-SOLUTIONS. *Multi purpose camera*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/multi-purpose-camera/>
 43. BOSCH-MOBILITY-SOLUTIONS. *Front radar plus*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/automatic-emergency-braking/front-radar-plus/>
 44. BOSCH-MOBILITY-SOLUTIONS. *Ultrasonic sensor*. [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/construction-zone-assist/ultrasonic-sensor/>
 45. PŘIBYL, Ondřej. *Senzory ve vozidle*. [online]. 2016 [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/39947249-Senzory-ve-vozidle-ondrej-pribyl-ustav-aplikovane-matematiky-cvut-v-praze-fakulta-dopravni-5-prednaska.html>
 46. ŽÁK, Dalibor. *Auta v EU budou těžší a dražší kvůli této povinné bezpečnostní výbavě*. [online]. 2018 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/auta-eu-budou-tezsi-drazsi-kvuli-teto-povinne-bezpecnostni-vybave/>
 47. PH386378. *Bezpečnostní pás*. [online]. [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpečnostní_pás#Historie
 48. PH386377. *Airbag*. [online]. [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Airbag#Historie>

49. CHIP. *Časová osa: Elektronika v automobilech*. [online]. 2010 [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/r-2010/chip-03-2010/casova-osa-03-10/>
50. AUTOWEB. *ABS slaví 40 let: Připomeňte si historii jednoho ze zásadních vynálezů*. [online]. 2018 [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/abs-slavi-40-let-pripomente-si-historii-jednoho-ze-zasadnich-vynalezu/>
51. EZILEND. *A short history of park assist technology*. [online]. 2018 [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://ezilend.com.au/2018/01/16/a-short-history-of-park-assist-technology/>
52. BRITANNICA. *Algorithm*. [online]. [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/algorithm>
53. DEEPAI. *Classifier*. [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/classifier>
54. WIKIPEDIA. *Klasifikace (umělá inteligence)*. [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Klasifikace_\(umělá_inteligence\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Klasifikace_(umělá_inteligence))
55. BUILTIN. *What is Artificial Intelligence?* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://builtin.com/artificial-intelligence>
56. COPELAND, B.J. *Artificial intelligence*. [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence/>
57. PATHMIND. *Artificial Intelligence (AI) vs. Machine Learning vs. Deep Learning*. [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://pathmind.com/wiki/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning>
58. MENDELU. *Neuronové sítě*. [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=21471
59. DEEPAI. *Perceptron*. [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/perceptron>
60. DEEPAI. *Multilayer Perceptron*. [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/multilayer-perceptron>
61. PATHMIND. *A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning*. [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://pathmind.com/wiki/neural-network#concept>
62. KLUSKA, Vladislav. *Facebook raději vypnul svou umělou inteligenci, vymyslela si vlastní jazyk*. [online]. 2017 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/bleskovky/facebook-radeji-vypnul-svou-umelou-inteligenci-vymyslela-si-vlastni-jazyk/sc-4-a-188831/default.aspx>
63. TEDA, Jaroslav. *Genetické algoritmy a jejich aplikace v praxi*. [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2005072601-geneticke-algoritmy-a-jejich-aplikace-v-praxi/>
64. POLI. *Genetické algoritmy a jejich aplikace v praxi*. [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/isy/down/ga.pdf>
65. JIANGCHUN, Li. *Boosting algorithm: AdaBoost*. [online]. 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/boosting-algorithm-adaboost-b6737a9ee60c>
66. DESARDA, Akash. *Understanding AdaBoost*. [online]. 2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/understanding-adaboost-2f94f22d5bfe>
67. WIKIPEDIA. *AdaBoost*. [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/AdaBoost>

68. KONE, Cyrille. *Introducing Convolutional Neural Networks in Deep Learning*. [online]. 2019 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/introducing-convolutional-neural-networks-in-deep-learning-400f9c3ad5e9>
69. MENDELU. *Konvoluce*. [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=18431
70. PSH: 7574. *Konvoluce*. [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Konvoluce>
71. WIKIPEDIA. *Convolutional neural network*. [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_neural_network
72. SCHMIDHUBER, Jürgen, Dan CIREŞAN, Ueli MEIER a Jonathan MASCI. *A committee of neural networks for traffic sign classification*. [online]. 2011 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6033458>
73. LUTONSKÝ, Marek. *Navigační systémy v automobilech: k čemu slouží a co se za nimi skrývá*. [online]. 2003 [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/navigacni-systemy-v-automobilech-k-cemu-slouzi-a-co-se-za-nimi-skryva_2/ch-18971#articleStart
74. *Vehicle tracking system employing global positioning system (gps) satellites*. Spojené státy americké. US5225842A.
75. TIME-THEORY. *Fakta o systému GPS*. [online]. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://time-theory.info/fakta-o-systemu-gps/>
76. WIKIPEDIA. *Atomové hodiny*. [online]. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Atomové_hodiny
77. WIKIPEDIA. *Navigační systém Galileo*. [online]. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Navigační_systém_Galileo
78. *Ford Traffic Sign Recognition System*. [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.haynesford.co.uk/Tech-Ford-Traffic-sign-recognition-system>
79. ESCALERA, Sergio, Xavier BARÓ, Oriol PUJOL, Jordi VITRIÀ a Petia RADEVA. *Traffic-Sign Recognition Systems*. 1. Springer, 2011. ISBN 978-1-4471-2244-9.
80. HAN, Yan, Kushal VIRUPAKSHAPPA, Esdras Vitor Silva PINTO a Erdal ORUKLU. *Hardware/Software Co-Design of a Traffic Sign Recognition System Using Zynq FPGAs*. [online]. 2015 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/4/4/1062/htm>
81. AUTOBIBLE. *Dopravní značky a jejich význam*. [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/dopravni-znacky/>
82. ZAKONYPROLIDI. *Zákon č. 63/2017 Sb.* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-63>
83. ZAKONYPROLIDI. *Zákon č. 361/2000 Sb.* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
84. ZAKONYPROLIDI. *Zákon č. 13/1997 Sb.* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-13>
85. ZAKONYPROLIDI. *Vyhláška č. 294/2015 Sb.* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-294>
86. BHATIA, Bipasha. *10 Things That Are Different About Driving In North America Vs. Europe*. [online]. 2019 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.thetravel.com/driving-north-america-europe-differences/>

87. *Zákaz předjíždění*. [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/zakaz-predjizdeni/>
88. *No Passing Zone*. [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.epermittest.com/road-signs/no-passing-zone>
89. WIKIPEDIA. *Seznam Technických podmínek Ministerstva dopravy*. [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_Technických_podmínek_Ministerstva_dopravy
90. SEID, Antonín. *ZÁSADY PRO DOPRAVNÍ ZNAČENÍ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH*. [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_65.pdf
91. GU, Yanlei, Tomohiro YENDO, Mehrdad Panahpour TEHRANI, Toshiaki FUJII a Masayuki TANIMOTO. *Traffic sign detection in dual-focal active camera system*. [online]. 2011 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5940513>
92. WIKIPEDIA. *Houghova transformace*. [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Houghova_transformace
93. SAADNA, Yassmina a Ali BEHLOUL. *An overview of traffic sign detection and classification methods*. [online]. Springer, 2017 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/317776221_An_overview_of_traffic_sign_detection_and_classification_methods
94. BEVEL, P.J. *Fourier Transform*. [online]. 2010 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <http://www.thefouriertransform.com>
95. ADAPTIC. *XML*. [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.adaptic.cz/znalosti/slovnicek/xml/>
96. ABDELLATIF, Mtibaa, Rihab HMIDA a Abdessalem ABDELALI. *Hardware implementation and validation of a traffic road sign detection and identification system*. [online]. 2016 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/299432433_Hardware_implementation_and_validation_of_a_traffic_road_sign_detection_and_identification_system
97. ELECTRONICS-NOTES. *What is an FPGA – Field Programmable Gate Array Basics*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/programmable-logic/fpga-what-is-field-programmable-gate-array-basics.php
98. MENDELU. *Logický obvod*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=636
99. XILINX. *Zynq-7000 SoC*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/soc/zynq-7000.html>
100. XILINX. *ZedBoard*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.xilinx.com/products/boards-and-kits/1-8dyf-11.html>
101. BOSCH MOBILITY SOLUTIONS. *Stereo video camera*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/stereo-video-camera/>
102. MATHWORKS. *Calibrate a Monocular Camera*. [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://ch.mathworks.com/help/driving/ug/calibrate-a-monocular-camera.html>

103. Audi 8W0907217. [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.ebay.co.uk/p/1271057564?iid=173417218386>
104. STEVES DIGICAMS. *CCD vs CMOS Whats the Difference*. [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.steves-digicams.com/knowledge-center/how-tos/digital-camera-operation/ccd-vs-cmos-whats-the-difference.html#b>
105. ELECTRONICS.HOWSTUFFWORKS. *What is the difference between CCD and CMOS image sensors in a digital camera?* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm>
106. TECHTERMS. *CCD*. [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://techterms.com/definition/ccd>
107. ROUSE, Margaret. *CMOS senzor*. [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://whatis.techtarget.com/definition/CMOS-sensor>
108. W-TECHNIKA. *CCD vs. CMOS - srovnání senzorů*. [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/ccd-vs-cmos-srovnani-senzoru/>
109. TELEDYNEDALSA. *CCD vs. CMOS*. [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.teledynedalsa.com/en/learn/knowledge-center/ccd-vs-cmos/>

6 Seznam obrázků

Obrázek 1: Lane Assist [20]	7
Obrázek 2: Čelní náraz dle metodiky EuroNCAP [23]	8
Obrázek 3: Konstrukční řešení aktivní kapoty [32]	11
Obrázek 4: Aktivní kapota [32]	11
Obrázek 5: Airbag chránící chodce [34]	11
Obrázek 6: Perceptron [58]	16
Obrázek 7: Adaboost [66]	18
Obrázek 8: Systém rozpoznávání dopravního značení [78]	20
Obrázek 9: Dopravní značka Zákaz předjíždění [87]	22
Obrázek 10: Dopravní značka No Passing Zone (Zákaz předjíždění) [88]	22
Obrázek 11: Generovaný hierarchický klasifikátor [91]	28
Obrázek 12: TSR Kamera Audi [103]	31