



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Technologické trendy v silniční dopravě

2. etapa

Směry technologického vývoje oblast Autonomní vozidla

Ing. Tomáš Ondráček, PhD. (Artin), Ing. Jan Najvárek, PhD. (Artin),
doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D. (CEITEC)

červenec 2018



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obsah

1	Směry možného technologického vývoje	3
1.1	Asistenční systémy.....	3
1.2	Teleoperace v řízení vozidel	4
1.3	HMI v řízení vozidel	5
1.4	Automatizované řízení osobních vozidel	6
1.5	Automatizované řízení v MHD.....	7
1.6	Automatizované řízení nákladních vozidel	8
1.7	Carsharing.....	8
1.8	Mobility operátoři.....	9
2	Identifikace vhodného uplatnění nových technologií a přístupů	11
2.1	Nové senzorické systémy.....	11
2.2	Umělá inteligence	12
2.3	Získávání a anotace dat z provozu.....	16
2.4	Datová fúze	16
2.5	Monitorování integrity pro lokalizaci autonomních vozidel	17
2.6	Tvorba přesných a aktuálních map.....	17
2.7	Simulace.....	18
2.8	Systémy odolné proti selhání	19
2.9	Komunikace V2X.....	24
2.10	Bezdrátové datové komunikační technologie	24
3	Shrnutí.....	25
4	Seznam použité literatury	26



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



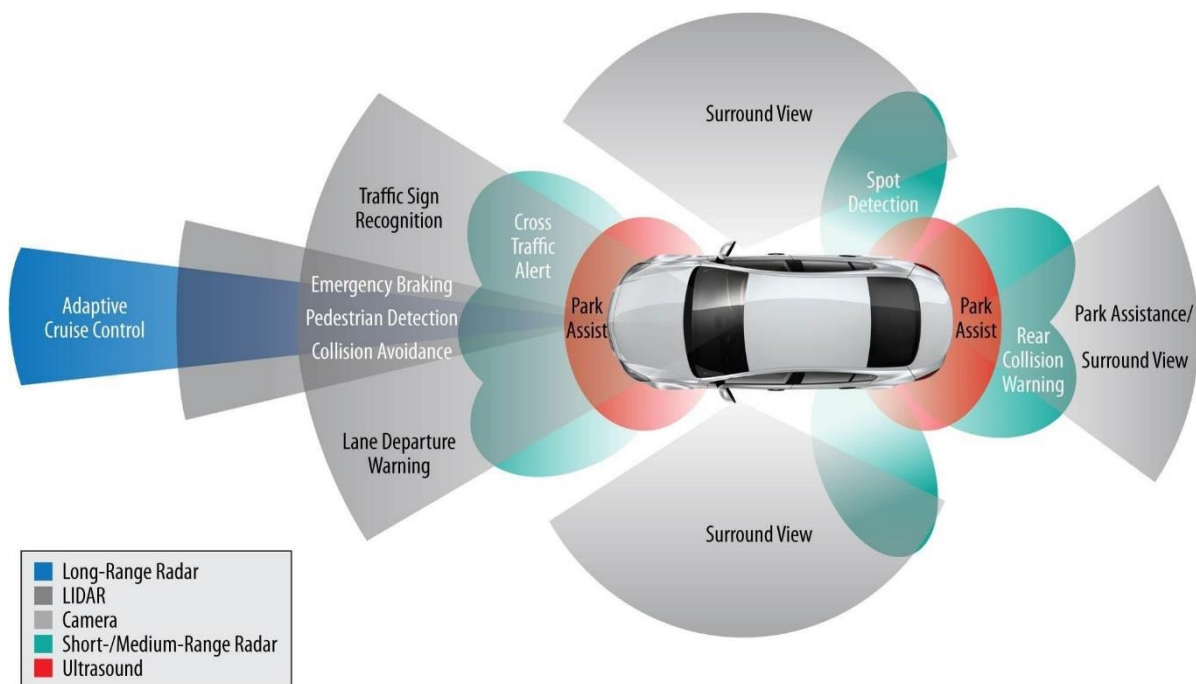
1 Směry možného technologického vývoje

Problematika autonomních vozidel je v poslední době v centru technologického dění. Touto oblastí se intenzivně zabývají jak automobilky, tak i řada dalších firem včetně technologických gigantů jako Google (Waymo), Tesla, NVidia, Intel či Uber. Vzniká i řada nových firem – startupů – věnujících se konkrétně této problematice (např. Voyage, Drive.ai nebo Embark). Základní směry vývoje se pohybují od pokročilých asistenčních systémů řidiče (ADAS) až po kompletní koncept samořiditelného automobilu. Vládní i nevládní organizace a instituce se intenzivně zabývají legislativními a dalšími dopady této problematiky. [AP ITS ČR 2015-2020]

Rýsují se již hlavní směry technologického vývoje v této oblasti a uvažuje se o časovém horizontu 5–15 let, kdy autonomní systémy budou na komunikacích běžně v provozu.

1.1 Asistenční systémy

Asistenční systémy (ADAS) jsou cestou, kterou si jako primární směr k plně autonomnímu vozidlu zvolily především automobilky. Jak v reakci na přicházející legislativu [EU10 2017] tak i proaktivně zejména jako uživatelské vylepšení bezpečnosti.

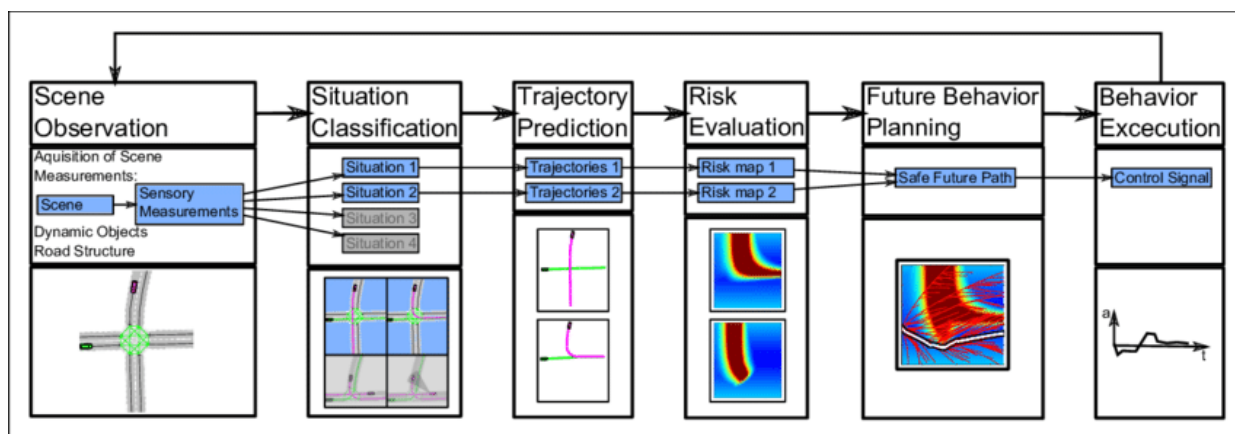


Obrázek 1 : Nejběžnější asistenční systémy (zdroj: <https://www.mentor.com>)

V současné době existuje několik desítek využívaných asistenčních systémů [Wiki ADAS 2018] [IHS 2015], vozidla jsou běžně vybavena systémy jako Parkovací asistent (PA), Inteligentní tempomat (ACC), Automatické nouzové zastavení (AEB), Varování opuštění jízdního pruhu (LDW), Detekce dopravního značení (TSR), Detekce chodců (PD) či pokročilejší

Asistent udržení v jízdním pruhu (LKAS) nebo Asistent jízdy v kolonách (TJA). Instalované asistenční systémy vykazují stále vyšší míru inteligence a umožňují pokrýt stále více situací bez zásahu řidiče do řízení.

V budoucnu se bude působnost ADAS rozšiřovat zejména o zvládnutí dalších dopravních situací (sledování okolních účastníků silničního provozu, křížení dopravy apod.) a postupně se budou objevovat systémy s obecným vyhodnocováním míry rizika zvoleného automatického manévru na základě pravděpodobnostního vyhodnocení aktuální dopravní situace [Eggert 2015]. Následně tyto systémy plynule přejdou v systémy plně autonomní.



Obrázek 2 : Pokročilý asistenční systém s plánováním dle míry rizika (zdroj: [Eggert 2015])

1.2 Teleoperace v řízení vozidel

Vzdálené řízení (teleoperace) může být vhodným doplňkem k autonomnímu řízení vozidla a umožní řešení situací, které autonomní mód nezvládá. Nemůže jít o situace, při kterých je třeba reagovat v řádu jednotek sekund, spíše o dlouhodoběji trvající či dostatečně předvídatelné situace. Jako příklad lze uvést třeba projetí komplikovaného opravovaného úseku, objetí dle stojícího (popelářského či zásobovacího) vozu nebo třeba reakce na posunkové či slovní pokyny policisty.

Pro spojení se vzdáleně řízeným vozidlem bude třeba využít bezdrátového datového spojení (mobilní síť 4G a pokročilejší). Předpokladem také je, že jeden operátor bude mít na starosti větší množství (flotilu) vozidel a bude jejich požadavky na teleoperaci řešit postupně.

V mezidobí vozidlo musí vyčkat jeho zásahu v bezpečném stavu.

Existují startupy, které se věnují přímo této problematice a vyvíjejí první komerční prototypy – např. Phantom Auto nebo Scotty Labs financovaná společností Google. [Bergen 2018]



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 3 : Pracoviště vzdáleného ovládání vozidla (zdroj: phantom.auto)

1.3 HMI v řízení vozidel

S rozvojem technologií dochází i k postupnému zdokonalování komunikačního rozhraní mezi člověkem a vozidlem (HMI z angl. Human Machine Interface).

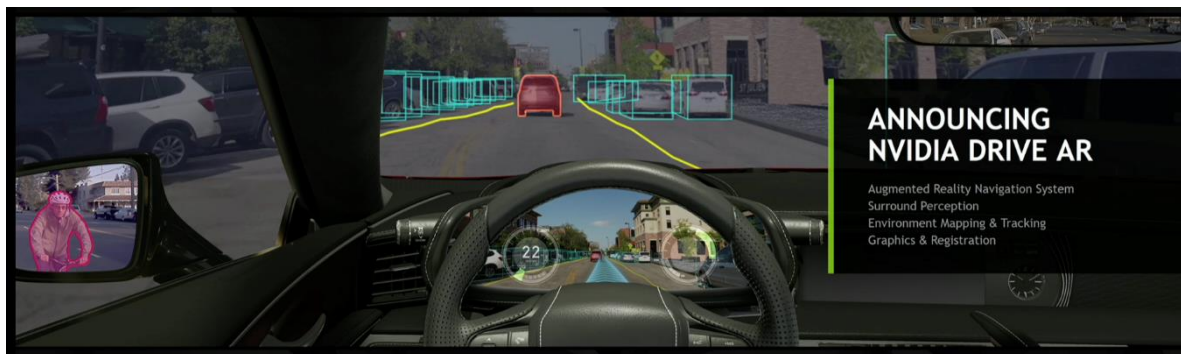
Již běžně ve vozidlech můžeme narazit na asistenty zvládající verbální komunikaci a rozpoznávání řeči (např. pro ovládání hands-free nebo autorádia), rozšiřují se informativní či výstražná hlášení systému, klasické kontrolky jsou doplněny podrobnější informací na palubním displeji. V budoucnu můžeme očekávat další zdokonalování tohoto přístupu a stále „inteligentnější“ informační asistenty na úrovni pokročilých chatbotů, kteří budou schopni na základě verbálního požadavku podat informace jak o vozidle samotném, tak o aktuální trase, počasí, dopravní situaci, či třeba ovládat infotainment systém vozu.

Dalším viditelným trendem je úzké online propojení osobních mobilních zařízení s informačním systémem vozu a personalizace HMI. Informačním centrem se stává hlavní informační panel, případně rozšířený o doplňkové panely pro další pasažéry vozu. Nikdo již nepochybuje o nutnosti připojení vozidla do cloudu dané automobilové značky či obecně k internetu.

Dále se uvažuje o využití čelního skla vozidla jako displeje pro zobrazování doplňkových informací, a to i přímo v návaznosti na okolní prostředí jako obohacenou (augmented) realitu. [Khan 2018]



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 4 : Obohacená (augmented) realita umožňující zobrazit doplňující informace o provozu
(zdroj: [Khan 2018])

Dalším trendem je změna způsobu osvětlení interiéru vozidla, kde se stále více využívá rozptýleného (ambient) světla a světelných povrchů, které mohou sloužit pro další intuitivní komunikaci s posádkou vozu (např. změna osvětlení ovládacího prvku v případě potřeby změny nastavení apod.). [Rössger 2018]

1.4 Automatizované řízení osobních vozidel

Cílem dnešního vývoje je získat plně autonomní vozidlo schopné zvládat všechny běžné i nestandardní dopravní situace. Cesta k tomuto milníku však bude ještě poměrně dlouhá a během ní se prakticky uplatní i celá řada dílčích řešení. U osobních vozidel je možné očekávat postupný nástup autonomního řízení zejména v těchto praktických aplikacích:

- **Autonomní parkování** – umožní posádce vozidla vystoupit na místě, kde není dostupné vhodné parkování (typicky centra měst) a následně autonomně vyhledá volné parkovací místo v dosahu mimo centrum a zde zaparkuje. Zde bude čekat na opětovné přivolání a přistavení posádce zpět na původní (nebo jiné) místo nástupu. Vlastní řízení s posádkou nebude autonomní. Tato aplikace vhodně řeší jeden z hlavních problémů využitelnosti vozidel v centrech měst, navíc při autonomní jízdě z/na parkoviště je vozidlo bez posádky, což umožňuje jet nižší rychlostí a současně je vyřešena otázka bezpečnosti posádky vs. ostatních účastníků provozu při autonomní jízdě.
- **Autonomní domácí parkování** – je obdobou předchozí aplikace s tím, že umožní parkovat vozidlo autonomně v garáži nebo parkovacím domě, který je více vzdálen od místa bydliště majitele vozu. Z hlediska míry autonomie se jedná o jednodušší úlohu než v předchozím případě, neboť místo parkování je vždy stejné a proto je možné tento úkol řešit záznamem trasy a jejím opětovným projetím.
- **Autonomní jízda po dálnici a rychlostních komunikacích** – zde se jedná o automatizaci rutinní činnosti jízdy na větší vzdálenosti po rychlostních komunikacích, která klade (díky své délce často trvající hodinu a více) zvýšené nároky na pozornost a soustředění řidiče. Rychlostní komunikace jsou pro automatizaci vhodné z důvodu



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



výrazně jednodušší dopravní situace (např. ve srovnání s městským provozem) – jízda v jednom směru bez křížení, kvalitní značení jízdních pruhů, absence ostatních účastníků silničního provozu (chodci, cyklisté, ...). Bude třeba vyřešit předání řízení z autonomního režimu zpět posádce na konci rychlostního úseku (zejména případ, kdy si řidič řízení zpět nepřevzme) – to mohou řešit např. speciální odstavné pruhy u sjezdů z dálnic, na kterých autonomní vozidlo v takovém případě automaticky zastaví.

- **Autonomní jízda v kolonách** – asistenty jízdy v kolonách jsou již dnes součástí některých komerčně dodávaných vozidel. Opět se jedná o vhodný případ pro automatizaci, kdy jsou jednoduché provozní podmínky – nízká rychlost, stanovený jízdní pruh, sledování předchozího vozidla. Lze očekávat takovéto specifické asistenty i pro další jednoduše vymezitelné dopravní situace.

1.5 Automatizované řízení v MHD

Provoz vozidel v rámci MHD má svá specifika. Tím hlavním je zejména přesná definice tras (linek) MHD a jejich zastávek, dále pak je to provoz převážně v městském prostředí a tedy za nižších rychlostí (běžně do 50 km/h).



Obrázek 5 : Nedávno byl vyroben 100. autonomní minibus Apollo od Baidu (zdroj: [Korosec 2018])

Tyto podmínky jsou výhodné pro zavedení automatizace v této oblasti. Zvláště pro zavedení MHD v menších městech, kde dosud nebyla tato služba občanům rentabilní, může být výhodné provozování autonomního minibusu, který nepřetržitě obsluhuje definovanou okružní trasu po obci s pevně stanovenými zastávkami a relativně bezpečnou rychlostí kolem 40 km/h. Odpadají významné náklady na řidiče, nutnost přestávek, je možné využít

technologii projetí již dříve zaznamenané trasy. Na rozdíl od osobních vozidel je třeba vyřešit problém nastupování a vystupování a určení okamžiku bezpečného ukončení této fáze přepravy a tedy možnosti pokračovat v jízdě. Z hlediska technického se jedná o dobře zvládnutelný úkol, společnost Baidu v Číně ohlásila nedávno 100. vyrobený autonomní minibus. [Korosec 2018]

Dalším možným využitím autonomního řízení jsou komunitní autonomní TAXI služby obsluhující opět menší území malé obce či městské čtvrti s jízdou v malé rychlosti využitelné např. pro seniory. Technicky je možné takovouto službu opět řešit kompletním přesným zmapováním daného poměrně malého území a jízdou v takovéto předem známé oblasti. Podobné projekty se již objevují např. projekt startupu Voyage v Kalifornii. [Hawkins 2017]

1.6 Automatizované řízení nákladních vozidel

V nákladní dopravě je pro automatizaci vhodná zejména část týkající se dlouhé jízdy vozu po dálnicích a rychlostních komunikacích, kdy se jedná o poměrně jednoduchou dopravní situaci podobně jako bylo zmíněno u osobních vozidel, běžné provozní rychlosti jsou v tomto případě výrazně nižší (cca 80 km/h). Současně je možné i využití řetězení nákladních vozidel (platooning), neboť pro náklad na rozdíl od lidských pasažérů nepředstavuje velká blízkost za následovaným vozidlem psychickou zátěž.

Zbývá dořešit vhodný způsob přechodu na lidské řízení po opuštění rychlostní komunikace, zvažuje se budování tranzitních uzlů na příslušných místech, kam vozy budou schopny autonomně zajet z dálnice a zde si je převezme pronajatá lidská posádka. Další možností je využití autonomního režimu jízdy v kombinaci s lidským řidičem nebo v kombinaci s dálkovým řízením vozu tak, že se výrazně (dle některých odhadů až 3x) zvýší efektivita využití vozu. Na dlouhých úsecích mohou řidiči spát či zpracovávat administrativní úkoly spojené s přepravou a tím eliminovat čas pro stání vozu během povinných pauz.

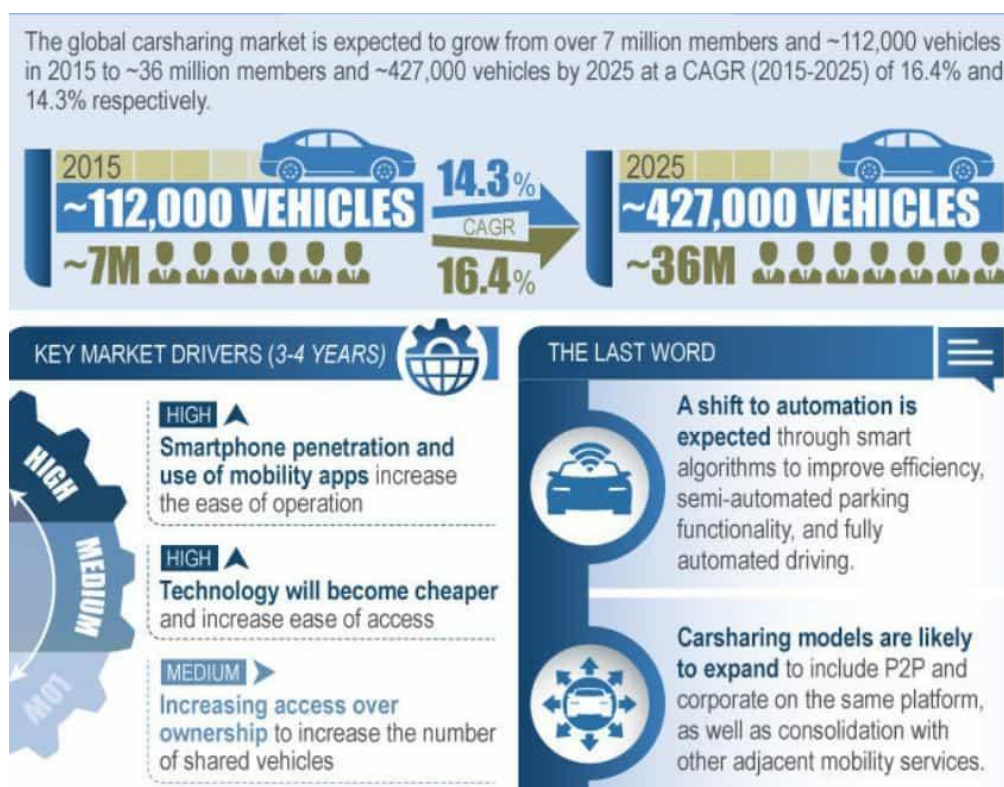
Další využití autonomních nákladních vozidel je možné a děje se již dnes v konkrétních aplikacích jako jsou překladiště, přístavy, doly a další místa, kde je jasně ohraničené provozní prostředí, omezený přístup ostatních účastníků silničního provozu i osob a nízká provozní rychlost. [Walker 2018]

Dle některých odborníků přijde komerční využití autonomního řízení v nákladní dopravě výrazně dříve než v dopravě osobní, kvůli výše zmíněným vhodným podmínkám a výrazné ekonomické výhodnosti tohoto přístupu. V současnosti již zahájily zkušební provoz autonomní nákladní vozidla firem Uber, Waymo (Google) a Tesla. [Hanley 2018]

1.7 Carsharing

Výrazným trendem, který ovlivní budoucnost mobility, je zvyšování podílu sdílení namísto individuálního vlastnictví osobních vozidel. Moderní mobilní komunikační technologie umožňují výrazně zjednodušit proces rezervace, vyzvednutí, monitoring provozu či placení služby sdíleného vozu. Autonomní řízení do tohoto segmentu přinese zejména možnost

samostatného přesunu vozidla na místo vyzvednutí klientem a tím zvýší i dostupnost carsharingu a přispěje k jeho rozmachu. [Frost 2016]



Obrázek 6 : Marketingová studie předpovídá nárůst carsharingového trhu pětinasobně mezi roky 2015 až 2025 (zdroj: [Frost 2016])

1.8 Mobility operátoři

Přirozeným následným krokem navazujícím na oblibu carsharingu je vytvoření trhu komerčních poskytovatelů služeb mobility pro širokou veřejnost MaaS (Mobility as a Service). Uživatelé budou mít jednotný přístup ke službám mobility např. prostřednictvím mobilní aplikace, mobility operátor bude sdružovat a kombinovat různé typy dopravních prostředků (letadlo, vlak, MHD, carsharing, autonomní vozidla) a uživatel bude za tyto služby platit cenu na základě zvoleného tarifu podobně, jako je tomu dnes u mobilních telefonních operátorů.

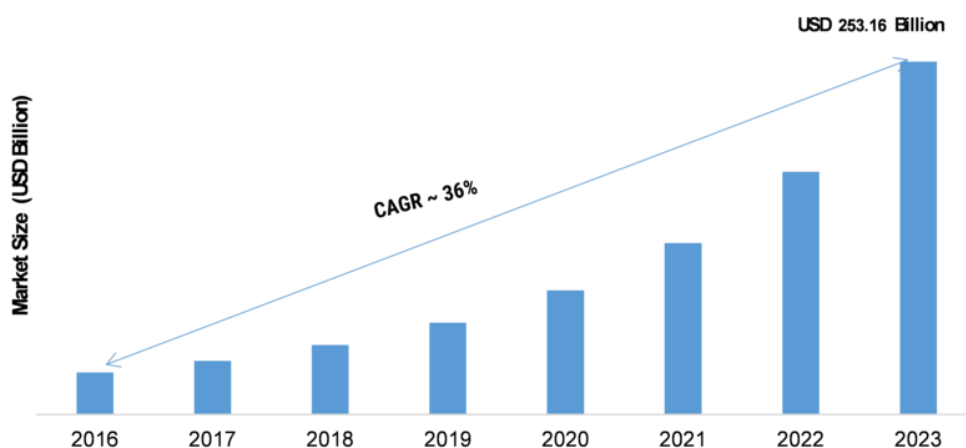
Tímto směrem se vydaly technologické firmy a startupy následovány automobilkami, které se chtějí na tomto budoucím trhu také podílet. Mezi klíčové hráče v této oblasti nyní dle studie Market Research Future patří firmy jako BMW Group (Germany), Alliance Corporation (Canada), Apple Inc. (U.S.), Xerox Corporation (U.S.), Lyft, Inc.(U.S.), Uber Technologies Inc. (U.S.), MaaS Global (Finland), Deutsche Bahn (Germany), Daimler AG (Germany), Communauto (Canada), Car2go (U.S.), Hailo (U.K.), Bridj (U.S.), Ola (India), Ridepal (U.S.),



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Make My Trip (India). Velký růst se v této oblasti očekává v Evropě, zejména v Německu, Finsku a Francii i v Severní Americe, zejména v USA a Kanadě. [MRFR 2018]



Obrázek 7 : Globální MaaS trh v letech 2017-2023 v mld. USD (zdroj: [MRFR 2018])

2 Identifikace vhodného uplatnění nových technologií a přístupů

2.1 Nové senzorické systémy

Snímání okolí vozu je krucální součástí systému autonomního řízení. S postupem času dochází ke zlepšování stávajících technologií a dále k jejich zlevňování, což umožňuje použití lepších senzorů ve standardních vozech.

2.1.1 Lidar

3D lidary jsou dnes již standardem jak u prototypů autonomních vozidel, tak i u vozidel vyšší třídy (Audi A4 již používá několik 3D Scala senzorů). Aktuální produkční typy 3D lidarů mají stále nevýhodu v tom, že obsahují pohyblivé části (rotující zrcátka či čočky). Nově se však na trhu objevují tzv. Solid State Lidars, které již pohyblivé součástky neobsahují, a tudíž mají potenciál menší velikosti, nižší výrobní ceny a to vše při zachování kvality snímáče.

Mezi nejvýraznější hráče v oblasti Solid State lidarů patří Velodyne, LeddarTech, Quanergy, Ibeo a další.

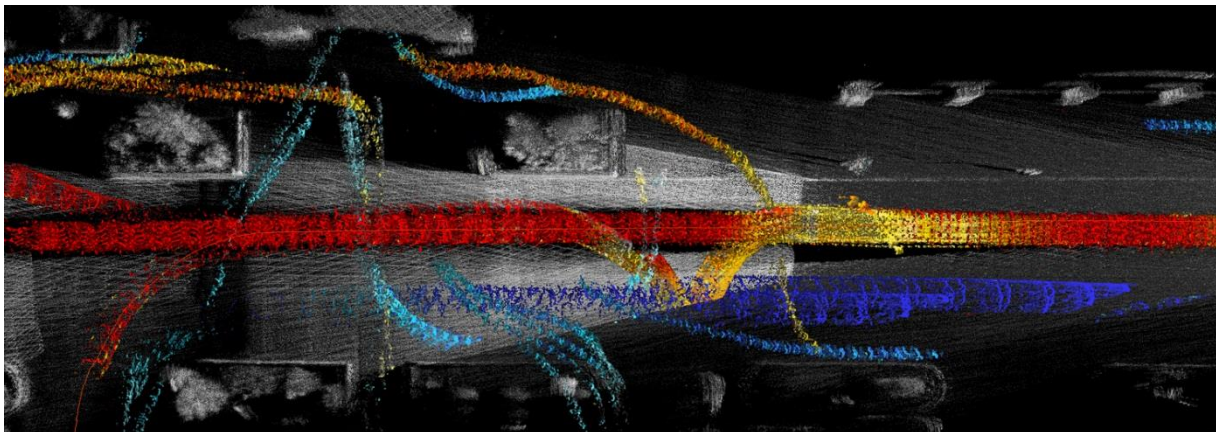


Obrázek 8 : Solid State Lidar od firmy Velodyne (Velarray) – zdroj <http://velodynelidar.com>

U běžných lidarů může docházet k vzájemnému rušení mezi jednotlivými snímáči či od jiného zdroje světelného záření (slunce). Objevují se však technologie, které tyto nevýhody nemají či je kompenzují (FMCW lidar [Blackmore]).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 9 : FMCW Lidar s měřením rychlosti objektů [Blackmore]

2.1.2 Stereo kamery

Technologie stereo vize existuje již delší dobu, nicméně nebyla příliš využívána pro svou technologickou a výpočetní náročnost. V poslední době se objevují pokročilejší řešení, která umožňují její využití v automotive jako dalšího senzoru pro sledování vozovky a objektů na ní. To přináší nový pohled na využití stereometrie jako pasivní (bez nutnosti emise) alternativy k dnes již běžně využívanému 3D Lidaru. [Cremers 2017]

2.2 Umělá inteligence

V poslední době jsme svědkem obrovského posunu v oblasti aplikované umělé inteligence (AI). Rozvoj konvolučních neuronových sítí a strojového učení (primárně reinforcement learning) za posledních cca 8 let výrazně zlepšil možnosti počítačového řešení v oblastech jako je

- zpracování obrazu, rozpoznání objektů
- zpracování dat ze snímačů, filtrace šumu
- plánování trasy
- adaptivní řízení

Vedoucí firma v oboru samoříditelných vozidel Waymo používá metody AI defacto v každé části systému samoříděného vozu [Waymo 2018-05].

Možné způsoby uplatnění prvků AI v autonomním řízení jsou rozebrány v následujících kapitolách.

2.2.1 Zpracování obrazu

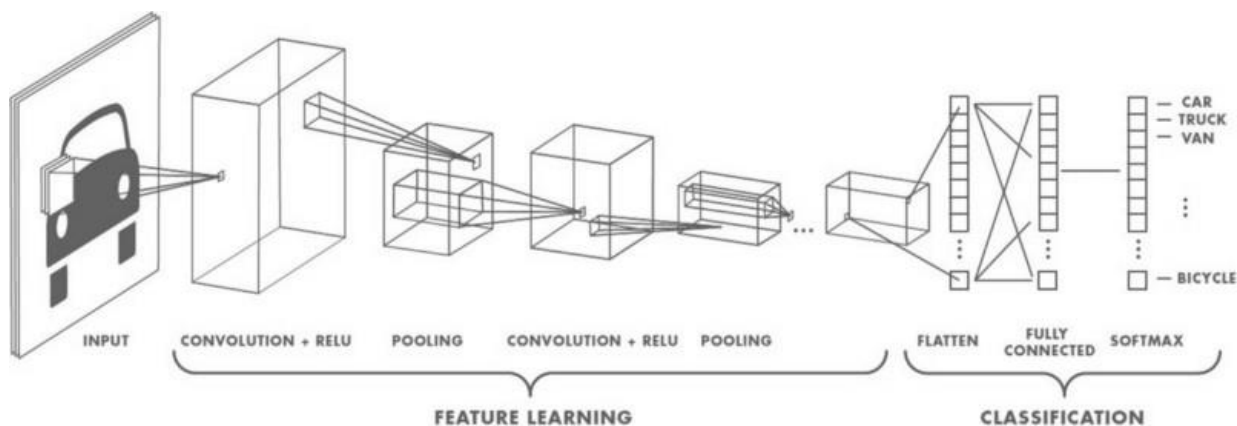
Rozvoj konvolučních neuronových sítí (Convolutional Neural Networks - CNN) v posledních letech umožnil výrazně zlepšit schopnosti počítačového vidění a identifikace objektů.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

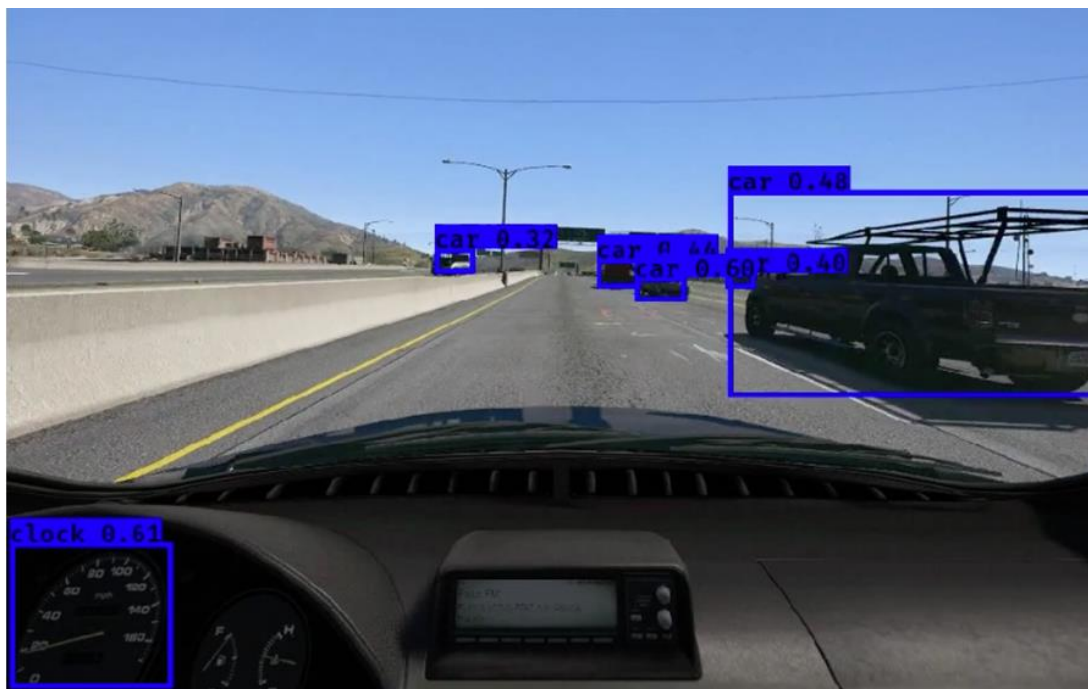


Klíčovou vlastností CNN je schopnost rozpoznat v obraze tzv. význačných vlastností (features) pomocí konvolučních filtrů.



Obrázek 10 : Konvoluční neuronové sítě - zdroj [Udacity 2018]

V oblasti identifikace objektů stojí za zmínění algoritmus YOLO [YOLOv3], který se vyznačuje velkou rychlostí a dobrou spolehlivostí. Aplikuje neuronovou síť na celý frame (obraz) najednou, tato síť rozdělí obraz na oblasti a predikuje obrysové obdélníky (bounding boxes) a pravděpodobnosti pro každou oblast. YOLO zpracovává obraz zhruba 1000x rychleji než používaná metoda R-CNN a 100x rychleji než Fast R-CNN.



Obrázek 11 : Aplikace YOLO algoritmu v rozpoznávání vozidel v simulaci - zdroj [Roboauto-YOLO]

Další aplikovatelnou metodou je poslední verze již zmiňované metody R-CNN, a to tzv. Faster R-CNN [Faster RCNN]. Je sice procesorově náročnější než YOLO3, dosahuje však vyšší přesnosti.

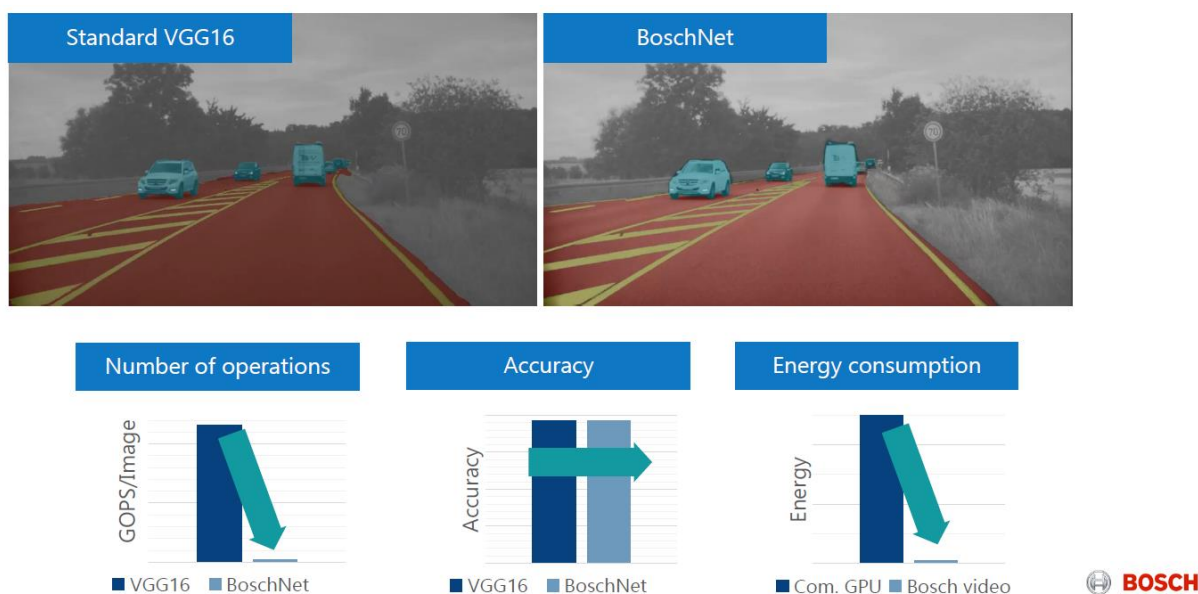
Jako další metody můžeme zmínit SSD: Single Shot MultiBox Detector [SSD 2016] či Region-based Fully Convolutional Networks [R-FCN 2016].

Další používanou metodou počítačového vidění je se segmentace obrazu, kdy se u každého bodu obrazu určuje, do které skupiny patří (cesta, vozidlo, chodec apod.)



Obrázek 12 : Segmentace obrazu dopravní situace před vozidlem – zdroj [RoboautoSeg]

Tyto metody jsou již blízko k použití v ADAS systémech nové generace. Např. firma Bosch vyvinula neuronovou síť BoshNet, která je stejně rychlá a přesná jako standardní VGG16, ale má pouze 4 % náročnost na výpočetní kapacitu (a tedy i spotřebu).



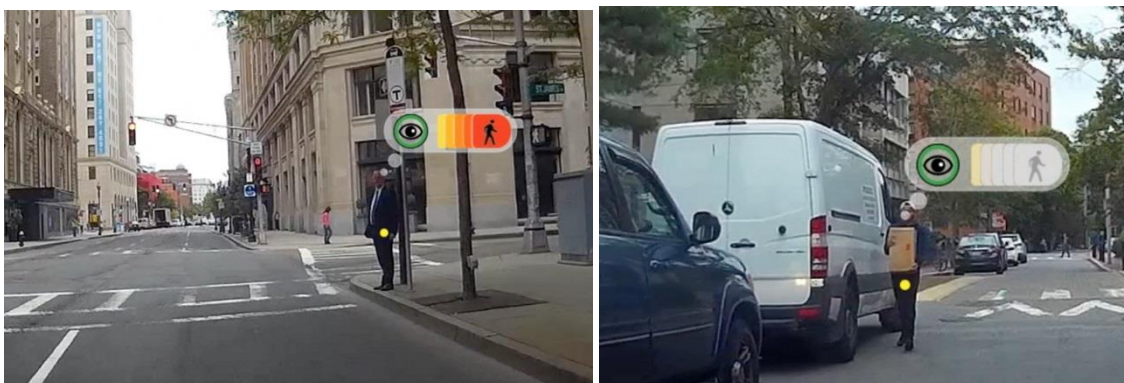
Obrázek 13 : Porovnání BoschNet a standardní VGG16 sítě pro segmentaci obrazu – zdroj [Bosch 2018]



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Neuronové sítě lze použít i pro předvídání chování ostatních účastníků silničního provozu, primárně chodců. K určení záměru chodců se používají vstupy jako kontext (jak daleko je chodec od vozovky), směr jeho pohybu, směr pohledu a postavení těla, případně posunky (gestures).



Obrázek 14 : Příklady rozpoznání záměrů chodců - zdroj [PerceptiveAutomata]

2.2.2 Zpracování dat ze snímačů

Při zpracování dat ze snímačů vozidla lze využít neuronových sítí těmito způsoby:

- Filtrování šumu daného senzoru – neuronové sítě mohou být naučeny na identifikaci měření, které je zatíženo šumem.
- Sensorová fúze – spojení dat z více snímačů většinou otevírá výzvy v tom, jak spojit jednotlivá data tak, aby byla využita veškerá informace ze snímačů (nedostatek jednoho snímače v dané situaci byl kompenzován jiným) a zároveň aby byla korelace dat použita k redukci šumu a nesprávně identifikovaných objektů (false positives).

2.2.3 Reinforcement learning – průběžné zdokonalování

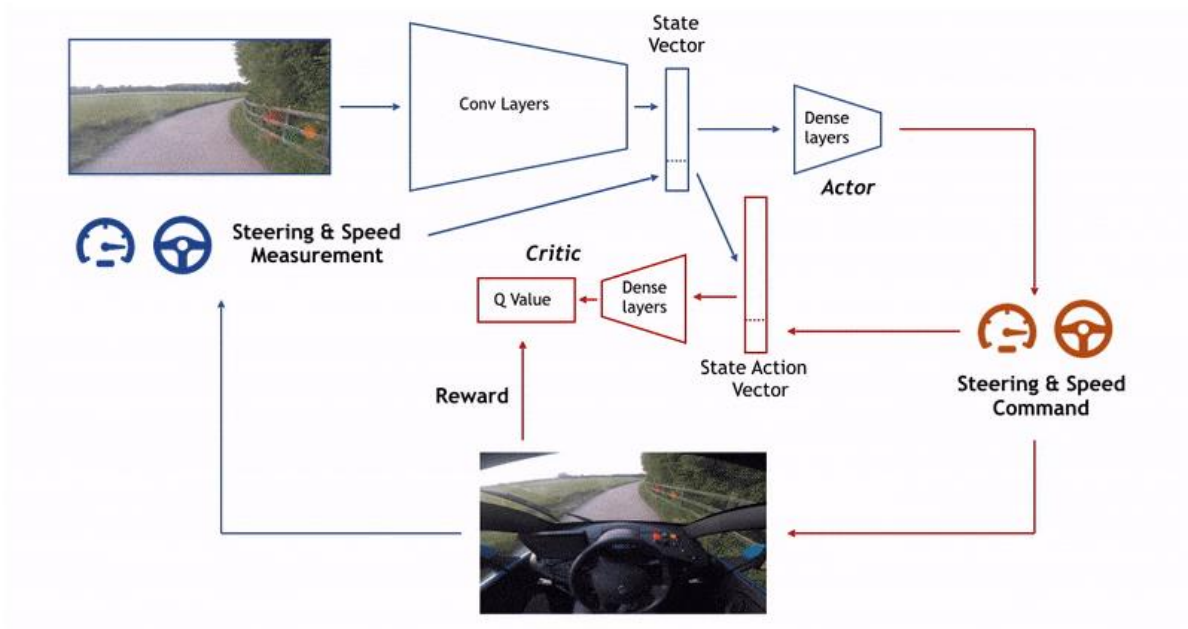
Zajímavým přístupem je použití Reinforcement learning (RL) pro samotné řízení vozidla.

Princip RL spočívá v učení požadovaného chování pomocí ocenění (penalizaci) jednotlivých stavů a nalezení optimální trasy s minimem penalizací.

Metody v této oblasti v poslední době rychle postupují a např. je znám i postup, jak během 20 min (11 iterací) lze naučit algoritmus pro udržení vozidla v jízdním pruhu a zdolat trasu 250 metrů [Wayve 2018].



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 15 : Reinforcement learning pro řízení vozidla [Wayne]

2.3 Získávání a anotace dat z provozu

Využití umělé inteligence v oblasti autonomních vozidel s sebou přináší potřebu velkého množství anotovaných dat z reálného provozu jak pro učení, tak pro následné ověření správné funkčnosti AI algoritmů.

Do budoucna se uvažuje i o stochastickém přístupu pro ověření spolehlivosti nedeterministických AI algoritmů využitých v autonomním řízení, např. ve formě certifikované standardní sady scénářů, které musí daný algoritmus správně vyhodnotit. Tyto sady se následně budou rozšiřovat o další reálné situace, ve kterých AI vyhodnocení selhalo a tím bude zajištěna správná funkčnost v budoucích podobných případech.

Anotací dat se zabývají jak automobilky nebo dodavatelé v automotive průmyslu, tak specializované firmy, které danou problematiku řeší např. formou crowdsourcingu (Playment, Almotive, Mighty AI) nebo s využitím AI asistované anotace (understand.ai, Drive.ai). [Burke 2017] Umělou inteligenci je možné zapojit i ve fázi postprocesingu anotovaných dat pro úpravu počasí, denní doby, ročního období apod. například s využitím GAN neuronových sítí.

2.4 Datová fúze

Metody datové fúze jsou základem pro spojení dat získaných z různých senzorů na vozidle a jejich společné vyhodnocení. Tímto přístupem a vhodnou kombinací různých senzorů, jejichž

vlastnosti se doplňují, je možné získat přesnější a věrohodnější obraz aktuální situace v okolí vozidla.

Pro datovou fúzi se často využívají základní přístupy spojující data dle pevně daných naprogramovaných pravidel. Budoucnost v této oblasti pak patří pravděpodobnostnímu přístupu a metodám, které využívají principy pravděpodobnostní robotiky v kombinaci s umělou inteligencí.

Hlavní výzvou této domény je nalezení pravděpodobnostního přístupu, který je dostatečně obecný a současně má výpočetní náročnost umožňující jeho realizaci na současných výpočetních systémech. Ačkoli řada řešení v této oblasti vede na exponenciální výpočetní složitost, objevují se první metody, které tuto otázku řeší a dosahují polynomiální či semilineární výpočetní složitosti. [Roboauto 2017]

2.5 Monitorování integrity pro lokalizaci autonomních vozidel

Klíčovou podmínkou pro úspěšné zavedení autonomních vozidel do provozu je přesná a spolehlivá lokalizace. Podle některých expertů je požadována přesnost 30 cm či méně v závislosti na prostředí, ve kterém se vozidlo pohybuje. Podobným výzvám čelil v minulosti i letecký průmysl, který zavedl pojem „integrita navigačního řešení“. Jedná se o míru důvěry ve správnost navigačního řešení poskytnutého systémem.

Integrita zahrnuje schopnost systému generovat upozornění v reálném čase, pokud navigační řešení nemůže být použito z důvodu nedostatečné jistoty v aktuální přesnosti jeho údajů. V opačném případě hovoříme o „Nebezpečí zavádějící informace (Hazardous Misleading Information)“. Je lepší vědět, že navigační řešení je nesprávné, a nepoužít jej než použít chybné informace.

Spolu s navigačním řešením se na základě dílčích pravděpodobností přispívajících k chybnému měření a použitím redundantních zdrojů lokalizace (jako např. GNSS satelit) vypočítá Úroveň ochrany (Protection Level), což je 3D prostor ve kterém se vozidlo nachází s velmi vysokou pravděpodobností (možnost chyby je menší než 10^{-7}). Pokud Úroveň ochrany přesahuje vyžadovanou úroveň přesnosti pro danou oblast a operaci (Alert Limit), musí systém do požadovaného času (Time to Alert) vygenerovat upozornění.

Dá se očekávat, že s rozvojem autonomní mobility se objeví i požadavky na monitorování integrity, která, pokud nebude splňovat požadavky pro danou oblast a operaci, bude vyžadovat zásah v řízení vozidla (zpomalení, alternativní navigaci, asistenci nebo vyčkání na znovuoobnovení požadované integrity). Proto se tímto směrem zaměřuje i evropský výzkum v rámci agentury ESA. [ESA 2018]

2.6 Tvorba přesných a aktuálních map

Stěžejním úkolem při robotickém řízení je přesná lokalizace – vozidlo musí mít k dispozici informaci s přesností na 20-30 cm, kde na vozovce se nachází. Tuto přesnost za běžných podmínek rozhodně neposkytují GNSS a nelze to očekávat ani v budoucnu. Velmi častým

řešením tohoto problému je vytvoření naprosto přesných 3D map s doplněním informací ze senzorů nazývaných „DNA vozovky“, nejčastěji 3D lidarů a kamery. Do takto vytvořených map se pak vozidlo při dalších průjezdech daným úsekem přesně lokalizuje. Tento přístup využívá většina dnes reálně fungujících robotických vozidel (Google, Uber, Voyage, ...). Tvorba těchto přesných map je však poměrně náročná i vzhledem k tomu, že mapy potřebují pravidelnou aktualizaci, aby co nejlépe odpovídaly skutečnosti a zejména kvůli obrovské velikosti dat (řádově TB/den/vozidlo), která v tomto objemu není možné přenášet běžně přes internet. Takto vytvořenou přesnou mapu pak může využívat více různých odběratelů – provozovatelů autonomních vozidel. Není tedy divu, že tvorba přesných map pro autonomní vozidla je nabízena jako služba a že v této oblasti se vytváří nový trh s přesnými mapami. Snaží se na něm prosadit jak firmy, které se dosud zabývaly automobilovými navigačními systémy (TomTom, Here) nebo nové startupy zaměřené přímo na tuto oblast (Carmera, DeepMap). Technologické firmy jako Google či Uber řeší tento problém využitím vlastních přesných mapových podkladů. [Hook 2018]

Vzhledem k řadě problémů spojených s tvorbou a využitím přesných map (např. možnost provozu pouze v omezené zmapované lokalitě, nutnost aktualizace apod.) odborníci hledají přístupy, které by závislost na přesných mapách eliminovaly – to je možné buď hledáním úspornějších metod uložení a práce s obrovskými přesnými mapami nebo zvyšováním inteligence autonomních vozidel tak, aby se dokázala lokalizovat i s využitím méně přesných map. [Ross 2018]

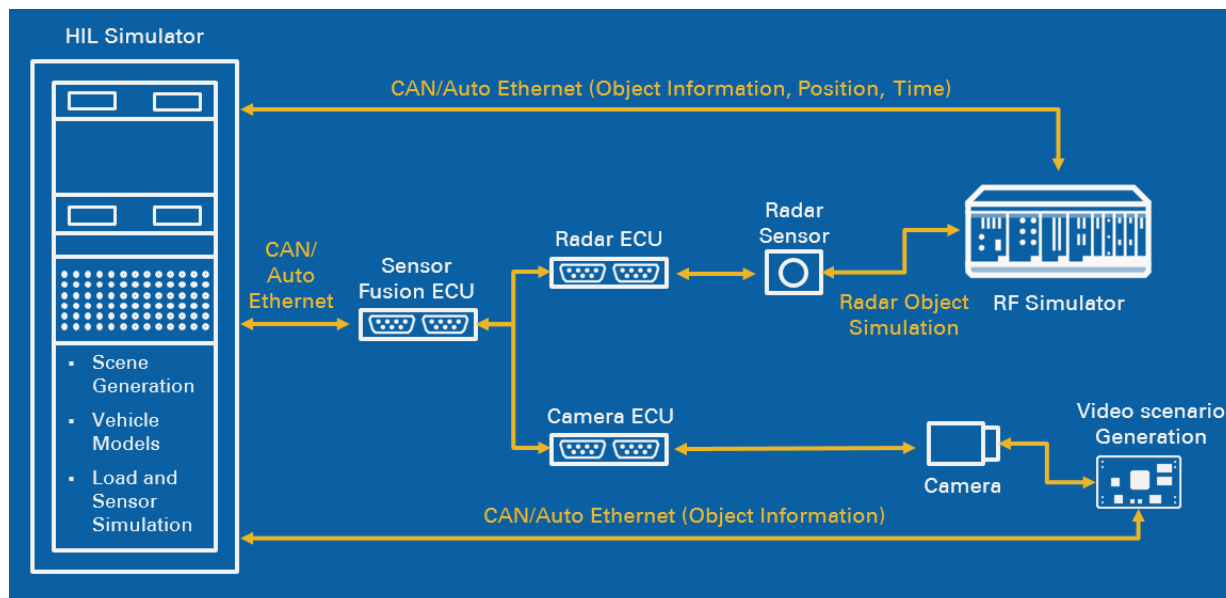
2.7 Simulace

Simulace se stávají velmi důležitou součástí vývoje i testování prvků ADAS systémů a autonomních vozidel. Např. vozy Waymo najezdily od počátku testování více než 5 milionů mil, zatímco v simulacích "urazí" jejich vozy cca 2.7 miliard mil ročně [Waymo 2017]. V současnosti je pro vývoj a testování automatického řízení využíváno buď interních simulačních nástrojů nebo nástrojů komerčně dostupných jejichž vývoj a množství se s poptávkou postupně zvyšuje.

Technologie simulací se postupně vylepšuje, na trhu jsou k dispozici simulační nástroje v celé škále schopností i ceny:

- Open source systémy jako Carla (<http://carla.org/>) či Microsoft AirSim
- Běžné simulační systémy (rFPro, IPG)
- Super-realistické simulační systémy běžící na serverových farmách či v cloud (např. Nvidia GTC)
- Software-in-the-loop (SIL) a hardware-in-the-loop (HIL) systémy

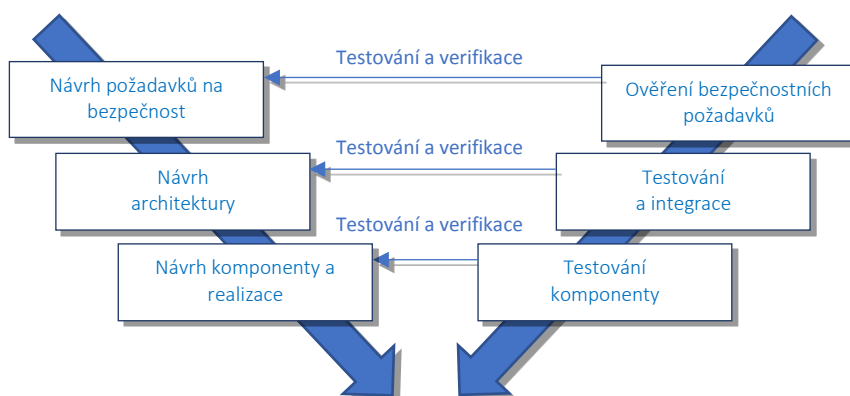
Použití nejnovějších simulačních systémů umožní vyvíjet, nasazovat a testovat prvky autonomního řízení rychleji a s vyšší mírou kvality samotných řešení.



Obrázek 16 : Testovací prostředí HIL - zdroj [NI2017]

2.8 Systémy odolné proti selhání

S rozvojem autonomních systémů začíná být zřejmé, že dnes běžně používané technologie pro výrobu komponentů pro automobilový průmysl nebudou dostačovat pro zajištění požadované spolehlivosti autonomního vozidla z hlediska funkční bezpečnosti [Meunier, 2018]. Funkční bezpečnost je dnes v automobilovém výrobním procesu běžně definována za pomoci standardu ISO 26262, který byl poprvé představen v roce 2011. Ten sleduje bezpečnost při vývoji elektrických a elektronických systémů. Tyto systémy jsou navrhovány tak, aby bylo možné monitorovat jejich selhání s následným potlačením vlivu selhání za účelem zajištění bezpečnosti cestujících. Standard definuje čtyři bezpečnostní úrovně. Od nejnižšího (ASIL A), přes B a C ke stupni ASIL D, který představuje nejpřísnější požadavky na bezpečnost. Rychlý pokrok ve vývoji autonomních vozidel a systémů ADAS způsobil, že se dnes intenzivně pracuje na modifikaci této normy. Verze ISO 26262:2018 by se měla objevit v průběhu tohoto roku. Vedle doplnění doporučení k návrhu ADAS systémů by měla obsahovat doporučené postupy vedoucí ke zvýšení spolehlivosti vyvíjených polovodičových součástek a specifický obsah týkající se motocyklů, autobusů a nákladních automobilů, který dříve touto normou nebyl pokryt.



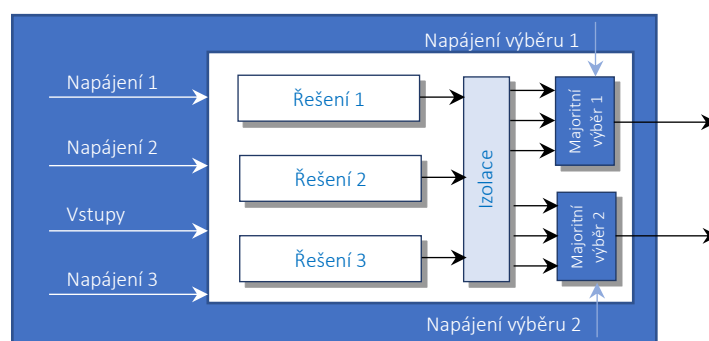
Obrázek 17 : V model pro vývoj komponentů podle ISO 26262

Existuje šest úrovní autonomie řízení vozidel provedené společností SAE (Society of Automotive Engineers). Úroveň nula neobsahuje žádné prvky autonomnosti. Úroveň jedna je charakteristická využitím jednoho asistenčního systému, jako je například adaptivní tempomat ACC (Adaptive Cruise Control) nebo asistent udržující vozidlo v jednom jízdním pruhu LA (Lane Assist). Úroveň 2 (probíhá od roku 2016) znamená kombinování několika asistenčních systémů současně (ACC+LA). Vyšší stupně jsou charakteristické tím, že se vozidlo chová autonomně, minimálně v některých vybraných situacích. Úroveň 3 (plánovaný nástup v roce 2020) může v některých případech vyžadovat převzetí řízení člověkem. Tento požadavek už není u stupně 4, kde je vozidlo schopné autonomního provozu i v městských aglomeracích (nástup očekáván v roce 2025). Řízení je zakončeno dosažením bezpečného stavu. Plně autonomní vozidlo, které je schopné provozu ve všech podmínkách provozu představuje úroveň 5. Nástup této úrovně zatím není v literárních zdrojích předpovídán.

Od úrovně SAE 4 je zde požadavek na autonomní dosažení bezpečného stavu. Bohužel bezpečný stav není u vozidla definován jako okamžité vypnutí/zastavení. Naopak, může se jednat o požadavek na ujetí několika kilometrů při jízdě na dálnici a následné zaparkování na nejbližším parkovišti, návrat domů, případně návštěva servisu.

Podívejme se na definici pojmů „bezpečný po selhání“ Fail Safe a „odolný proti selhání“ Fail Operational. U prvního existuje bezpečný stav (většinou jeden), do kterého je možné systém v případě poruchy přepnout. S přibývajícím autonomností vozidel se zjišťuje, že pojem jednoho bezpečného stavu u vozidla vlastně neexistuje. Vyskytují se zde různé bezpečné stavy a o konkrétním bezpečném stavu se autonomní systém rozhodne na základě analýzy aktuální polohy a stavu vozidla [Kohn et al, 2015]. Podobný pojem je „One fail operational technology“ [Leggett, 2017]. U systémů odolných proti selhání uvažujeme také pouze jednu

izolovanou poruchu, která není ihned následovaná jinou poruchou. Existence více bezpečných stavů a požadavek na jejich autonomní dosažení vyžaduje, aby bylo vozidlo navrženo jako systém odolný proti selhání, a ne pouze jako bezpečný po selhání. Vozidlo musí být vybaveno komponentami, které tuto skutečnost reflektují.



Obrázek 18 : Řešení 2oo3 (2 ze 3) používané v leteckém průmyslu

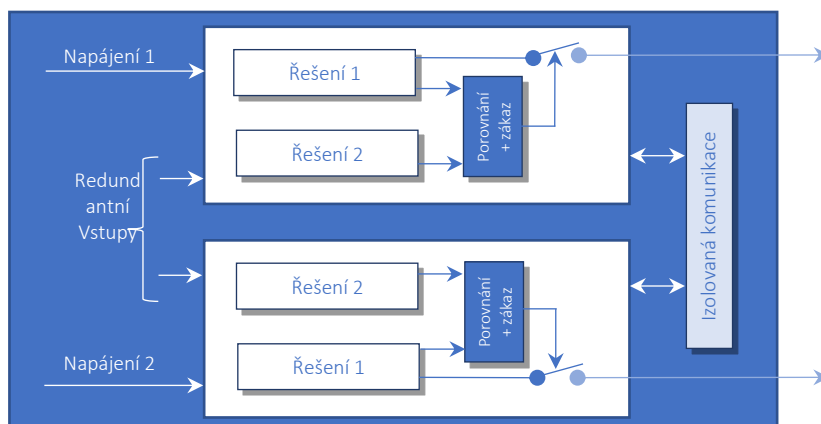
Běžně používaný třífázový motor tuto možnost nenabízí. V případě většiny poruch není tento motor schopen dalšího provozu. Redundance na úrovni dva ze tří - 2oo3, která se běžně používá v letectví není z hlediska ekonomického v automobilovém průmyslu přijatelná. U motoru by se jednalo o více než trojnásobnou cenu. Ani řešení 1oo2D (1 ze 2 s diagnostikou), tedy použití dvou motorů s diagnostikou by nebylo dostatečně ekonomické. Nabízí se konstrukce vícefázových (multi-phase) motorů. Existují různá zapojení s vícefázovými motory. V některých případech se používá kombinace několika třífázových subsystémů. Šesti-fázový motor je možné zapojit jako dva třífázové, devítifázový motor jako tři třífázové motory. V případě poruchy je pak možné odpojit nebo odstavit jeden třífázový subsystém. Cena takového řešení je na úrovni motoru prakticky srovnatelná s klasickými třífázovými motory. Složitost řešení se přenáší na úroveň měniče, kde místo jednoho třífázového měniče je jich použito několik, navíc není možné opomenout jejich vzájemné magnetické ovlivňování se. Je zřejmé, že toto řešení s sebou nutně přináší snížení maximálního dosažitelného momentu a tím i výkonu. Složitost se výrazným způsobem přesouvá také na řídicí procesor, protože se řídí několik subsystémů (třífázových motorů) a současně je nutné řešit diagnostiku jednotlivých subsystémů. To otevírá prostor pro využití vícejádrových vestavných procesorů s podporou zabezpečení pro automobilový průmysl (splňující požadavky standardu ISO 26262). Vývoj v této oblasti v posledních několika letech intenzivně probíhá, jsou dostupné procesory AURIX od firmy Infineon, procesory MPC57xx od firmy NXP, případně mikrokontroléry Herkules TMS570xx a další. Požadavek na odolnost proti selhání není možné splnit použitím řešení postavených na jednom vícejádrovém procesoru. Přestože jsou snahy o jeho vývoj vedeny požadavky současných bezpečnostních norem, umožňují spíše řešení bezpečná po poruše. Vznikají pokusy o dosažení řešení bezpečných proti selhání, které jsou výsledkem výzkumu a mezinárodních projektů. Jako příklad je možné uvést skončené projekty Aramis a EMC2, které se touto tematikou zabývaly. Navrhovaná řešení



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



vycházejí z použití dvou vícejádrových procesorů, kde jsou oba realizovány jako bezpečné po selhání a jsou vybaveny vlastní diagnostikou 2oo2DFS (2 ze 2 realizované jako bezpečné po selhání s diagnostikou).



**Obrázek 19 : Řešení 2oo2DFS (2 ze 2, oba bezpečné po selhání s diagnostikou)
pro zabezpečení proti selhání**

Jak bylo uvedeno výše, použití vícefázových motorů vyžaduje několik třífázových střídačů. Výhodou však je výrazná redukce maximálního proudu tekoucího výkonovými prvky. Často je možné použít nejběžněji používané moduly, které tak mohou být výrazně levnější. V současné době probíhá intenzivní výzkum na poli GaN a SiC technologií. Postupně se začínají objevovat součástky, které jsou na těchto technologiích postavené. Jejich velkou výhodou je zkrácení doby zapnutí a vypnutí a tím i snížení ztrát vedoucí k další minimalizaci navrhovaných střídačů a možnosti dosažení rychlejších vzorkovacích frekvencí. Vývoj v této oblasti je a bude enormní.

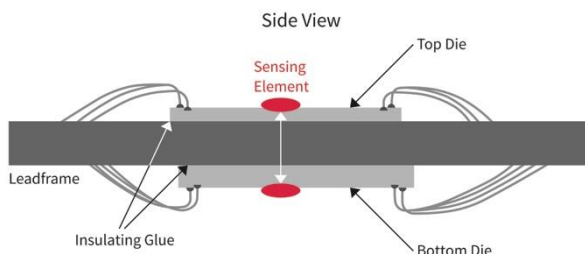
U motoru pro plně elektrická vozidla bude docházet k následujícím vylepšením:

- zlepšení tepelných a mechanických vlastností,
- zvyšování účinnosti a spolehlivosti,
- snižování rozměrů a hmotnosti,
- zjednodušení výrobních procesů.

Dá se očekávat, a také probíhá, rychlý vývoj v oblasti snímačů. Jako příklad je možné uvést snímač úhlového natočení, který v jednom pouzdře kombinuje dva snímače založené na různém fyzikálním principu. Jedná se o GMR a AMR princip. Kvůli různosti (diverzitě) principů, systémová chyba jednoho snímače nemusí vést ke ztrátě informace o poloze. Řešení zajišťuje „fail-safe“ funkcionalitu, s doplněním o diagnostiku umožňuje dosáhnout 2oo2DFS řešení splňující požadavky ASIL D.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 20 : Snímač TLE5309D pro ASIL D aplikace založený na GMR (horní část) a AMR (dolní část) principu (zdroj: [Infineon 2018])

Zatím je nutné diagnostiku řešit externě na základě změřených analogových hodnot obou snímačů, velmi brzy se však dá očekávat řešení inteligentního snímače, který se o ni vnitřně postará. O rychlosti vývoje v této oblasti hovoří skutečnost, že GMR princip byl objeven v roce 1988. V roce 1999 již existovaly snímače založené na tomto principu s širokým množstvím aplikací [Smith et al, 1999], v roce 2007 byla za tento objev udělena Nobelova cena. Od roku 1999 se jejich cena snížila na přibližně desetinu. Současně se výšila jejich přesnost, a proto dnes nahrazují nákladné inkrementální snímače a resolvery v mnoha aplikacích. Výhodou je bezkontaktní snímání, mnohem menší rozměry a poskytnutá informace o absolutní poloze. Vývoj bude pokračovat i na poli snímačů elektrického proudu, kde se dá očekávat jejich minimalizace a vylepšení v oblasti integrace.

Jeden ze způsobů, jak zvýšit odolnost proti selhání, je začlenění prvků prediktivní diagnostiky. To je ostatně nutné ze dvou důvodů

- včasná diagnostika poruch a jejich odstranění je cenově výhodnější jak pro řidiče, tak pro servis,
- diagnostika kterou dříve zajišťoval řidič na základě rozpoznání zvláštního chování, změny zvuku, zvýšení hluku a dalších projevů musí u autonomního vozidla převzít jeho vestavěný diagnostický systém [Kucharczyk, 2017].

Vedle probíhajícího vývoje MEMS snímačů vibrací a mikrofonů, který umožňuje začlenit prediktivní diagnostiku do širšího spektra pohonů, bude probíhat vývoj kombinací takovýchto snímačů za účelem získání informace o správné funkci – 1002. Prediktivní diagnostika je poměrně propracovaná oblast, která využívá znalostí z matematické statistiky. Je pravděpodobné, že z důvodu zvyšování složitosti jednotlivých subsystémů a navyšování jejich počtu, bude v oblasti prediktivní diagnostiky pro aktivní monitorování celého vozidla využívána i umělá inteligence [Kucharczyk, 2017] a strojové učení.

Cílem této kapitoly bylo podat přehled v oblasti vývoje systémů odolných proti selhání. Poměrně podrobně byla rozebrána tato problematika na příkladu elektrického pohonu. Jsou zmíněny technologie, kterých se tento vývoj dotýká a postupy pro jejich dosažení.

Jedná se o

- vývoj nových spolehlivých pohonů a výkonové elektroniky,
- inovace v oblasti elektroniky, snímačů, komunikačních systémů a řídicích systémů,
- vývoj nových materiálů s cílem dosáhnout lepších vlastností, snížení hmotnosti, zastavěného objemu a ceny,
- příprava testovacích zařízení pro validaci funkčnosti autonomních systémů,
- postupné zlepšování bezpečnostních norem, které bude reflektovat technologický vývoj ve výše zmíněných oblastech,

Problematika systémů odolných proti selhání se řeší na všech kritických částech vozidla. To jsou ty, které spadají podle ISO 26262 do ASIL C a ASIL D. U brzd a řízení se jedná o dlouhodobý proces. V poslední době probíhá vývoj směrem k odstranění mechanického jištění a jeho náhrada elektronikou. Největší boom probíhá v oblasti ADAS systémů. Požadavek na správnou funkci za všech možných podmínek vyžaduje využití širokého spektra snímačů s následnou datovou fúzí [Sari et al, 2018]. Sice to nebylo v provedeném rozboru implicitně zmíněno, ale velmi kritická je problematika rozvedení elektrické energie tak, aby jednotlivé subsystémy mohly být prohlášeny za odolné proti selhání [Gorelik et al, 2017]. Je zřejmé, že použití jednoho napájení a jeho výpadek by zhatil všechny snahy o odolnost proti selhání na úrovni komponent a je třeba tomuto problému věnovat maximální pozornost.

2.9 Komunikace V2X

Co se týče komunikace mezi vozidlem a ostatními vozidly v silničním provozu (V2V) či infrastrukturou (V2I) nebo cloudem (V2C), tato oblast stále naráží na velkou roztržičnost, nedostatek standardizace a z toho plynoucí malou připravenost, i když této oblasti se věnuje velké úsilí a probíhá řada aktivit [Qualcomm 2018].

Z těchto důvodů je v současnosti a nejbližší době možné očekávat zejména využití komunikace V2C, která slouží zejména pro sdílení informací o provozu a aktualizaci online map mezi vozidly jedné flotily.

2.10 Bezdrátové datové komunikační technologie

Autonomní vozidla bude v mnohem větší míře využívat online připojení k internetu. Budou klást tedy větší požadavky na mobilní datové sítě, a to z důvodů:

- Načítání přesných map (Hi-Res) pro lokalizaci a navigaci vozidla
- Posílání aktualizace na datové servery (v případě zjištění odchylky od mapy, informace o sjízdnosti, překážkách)
- Umožnění tele-operace, tzn. dálkového řízení v nestandardních situacích či v případě chybějících map (poslední míle)
- Získávání aktualizace firmware

Speciálně pro tele-operaci je potřeba sítí nové generace – je třeba dostatečný datový tok i nízká latence, což by síť 5G měly splňovat (propustnost až 20 GBit/s a latence 1 ms).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



3 Shrnutí

V tomto dokumentu jsme shrnuli aktuální směry technologického vývoje v oblasti snímačů, fúze, umělé inteligence, algoritmů řízení, zvyšování spolehlivosti a nastínili vhodné uplatnění těchto technologií a přístupů v oblastech autonomního řízení vozidla.

Speciálně v oblasti **umělé inteligence** je vidět výrazný pokrok, který může stávající přístupy zcela změnit – je proto dobré tuto oblast sledovat a průběžně verifikovat možnosti uplatnění v automotive prostředí.

Výzvou je i postupné **snižování závislosti** autonomních vozidel **na přesných 3D mapách** a zvyšování jejich autonomní inteligence tak, aby zvládla projet i předem nezmapované úseky.

V oblasti snímačů jde hlavně o rozvoj **lidarů**, kde pravděpodobně dojde k rozšíření Solid State lidarů a dále k celkovému zlevnění produkce, a tedy i k většímu použití u běžných vozidel.

Simulace je stále více a více využívána pro vývoj i testování prvků ADAS systémů a autonomního řízení. Technologie se zlepšuje a umožní i nasazení prvků umělé inteligence u produkčních vozidel – tyto nelze testovat deterministicky, a proto je potřeba provést mnohem rozsáhlejší stochastické otestování pomocí simulací.

Infrastruktura silniční síť také musí být výrazně rozšířena pro použití autonomních vozidel. Jedná se o poskytování online hi-res map, komunikace mezi autonomním vozidlem a dopravní infrastrukturou (ať lokální, tak i centrální). Komunikační síť nové generace musí zvládnout podstatně větší datové toky a zároveň zajistit malou latenci pro časově kritické operace (tele-operace).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



4 Seznam použité literatury

- [ACEA 2017] ACEA (9.5.2017) "**Truck industry gears up for wide-spread introduction of semi-automated convoys by 2023**", ACEA press release (<http://www.acea.be/press-releases/article/truck-industry-gears-up-for-wide-spread-introduction-of-semi-automated-conv>)
- [AP ITS ČR 2015-2020] Ministerstvo dopravy ČR (15.4.2015) "**Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)**", Strategický dokument resortu, (<https://www.databaze-strategie.cz/cz/md/strategie/akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-systemu-its-v-cr-do-roku-2020-s-vyhledem-do-roku-2050>)
- [Bergen 2018] Bergen M. (28.3.2018) „**Google Backs Startup Working on Remote-Controlled Driverless Cars**“, Bloomberg Hyperdrive, (<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-28/google-backs-startup-working-on-remote-controlled-driverless-cars>)
- [Blackmore] Blackmore "**Blackmore Automotive Lidar**" 2018, (<https://blackmoreinc.com/auto>)
- [Bosch 2018] Stephan Stass, Bosch „**Pushing the limits of automated driving with artificial intelligence and connectivity**" 2018, presentation from Tech.AD 2018 conference
- [Burke 2017] Burke, K. (27.8.2017) „**Humans help train their robot replacements**“, Automotive News, (<http://www.autonews.com/article/20170827/OEM06/170829822/data-annotation-self-driving>)
- [Cremers 2017] Cremers D., Wang R. (2017) „**Stereo DSO: Large-Scale Direct Sparse Visual Odometry with Stereo Cameras**“, Research report page, (<https://vision.in.tum.de/research/vslam/stereo-dso>)
- [Eggert 2015] Eggert J., Klingelschmitt S., Damerow F. (20.11.2015) „**The Foresighted Driver: Future ADAS Based on Generalized Predictive Risk Estimation**“, FAST-zero 2015 Symposium, At Gothenburg, Sweden
- [EU10 2017] Výbor pro dopravu a cestovní ruch (23.10.2017) „**Záchrana životů: zvyšování bezpečnosti vozidel v EU**“, Evropský parlament, (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2017-0330+0+DOC+XML+V0//CS>)
- [ESA 2018] ESA „**INTEGRITY MONITORING AND PREDICTION CONCEPT FOR AUTONOMOUS CAR RESILIENCE AND SAFETY**“, EXPRO NAVISP ELEMENT 1, ESA Intended invitation to tender, (http://emits.sso.esa.int/emits/owa/emits_iitt.show_iitt?actref=18.154.04&user=Anonymous)
- [FasterRCNN] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun "**Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks**" 6.1.2016 <https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



- [Frost 2016] Frost & Sullivan (2.8.2016) „**Future of Carsharing Market to 2025**“, marketing study, (<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=MB4D-01-00-00-00>)
- [Gorelik et al, 2017] Gorelik, K., Kilic, A. and Obermaisser, R. “**Energy management system for automated driving: Optimal and adaptive control strategy for normal and failure case operation**”, 2017 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, QC, 2017, pp. 1-8.
- [Hanley 2018] Hanley S., (11.3.2018) „**Waymo, Uber, & Tesla Are Pushing Autonomous Truck Technology Forward**“, Clean Technica (<https://cleantechnica.com/2018/03/11/waymo-uber-tesla-pushing-autonomous-truck-technology-forward/>)
- [Hawkins 2017] Hawkins A.J. (4.10.2018) „**Self-driving taxis are coming to residential neighborhoods**“, The Verge, (<https://www.theverge.com/2017/10/4/16424286/voyage-self-driving-taxi-car-test-san-jose-retirement-community>)
- [Hook 2018] Hook L. (21.2.2018) „**Driverless cars: mapping the trouble ahead**“, Financial Times, (<https://www.ft.com/content/2a8941a4-1625-11e8-9e9c-25c814761640>)
- [IHS 2015] Perslow H., Carlson J. (2015 June 17th) „**ADAS – Current & Future Perspectives**“, in IHS Automotive Seminar, Frankfurt, (https://ihsmarkit.com/pdf/IHS-ADAS-Current-and-Future-Perspectives_227834110913052332.pdf)
- [Infineon 2018] Infineon (13.7.2018) “**TLE5309D - Dual GMR/AMR Angle Sensor**” (https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE5309D-DS-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462617643590161951db7677950) - Infineon Data Sheet.
- [Khan 2018] Khan A. (7.1.2018) „**CES 2018: NVIDIA CEO Unveils Drive AR Platform for Autonomous Vehicles**“, Shacknews (<http://www.shacknews.com/article/102724/ces-2018-nvidia-ceo-unveils-drive-ar-platform-for-autonomous-vehicles>)
- [Kohn et al, 2015] Kohn, A., Käßmeyer, M., Schneider, R., Roger, A., Stellwag, C. and Herkersdorf, A.: “**Fail-operational in safety-related automotive multi-core systems**”, 10th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES), Siegen, 2015, pp. 1-4.
- [Korosec 2018] Korosec K. (4.7.2018) „**Baidu just made its 100th autonomous bus ahead of commercial launch in China**“, Techcrunch (<https://techcrunch.com/2018/07/03/baidu-just-made-its-100th-autonomous-bus-ahead-of-commercial-launch-in-china/?guccounter=1>)
- [Kucharczyk, 2017] Kucharczyk, S.: „**How will maintenance change with the autonomous vehicle.**” Apr 2017 / Transport, (<https://readwrite.com/2017/04/18/maintenance-and-the-autonomous-vehicle-tl1/>)
- [Leggett, 2017] Leggett, D. “**Hitachi develops One Fail-Operational technology for autonomous driving**” (https://www.just-auto.com/news/hitachi-develops-one-fail-operational-technology-for-autonomous-driving_id179481.aspx) [Rössger 2018]



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



- Rösger P. (1.2.2018) „**Report CES 2018: Automotive HMI Focus**“, Smart Mobility Hub, (<http://smart-mobility-hub.com/report-ces-2018-automotive-hmi-focus/>)
- [Meunier, 2018] Meunier, J. P. “**Automotive functional safety: The evolution of fail safe to fail operational architecture**” (<https://blog.nxp.com/connected-car/automotive-functional-safety-the-evolution-of-fail-safe-to-fail-operational-architecture>)
- [MRFR 2018] Market Research Future (July 2018) „**Mobility as a Service Market Research Report- Forecast 2023**“, Market research report, (<https://www.marketresearchfuture.com/reports/mobility-as-a-service-market-3109>)
- [NI23017] National Instruments “**Altran and NI Demonstrate ADAS HIL With Sensor Fusion**” 10.10.2017 (<http://www.ni.com/white-paper/53961/en/>)
- [PerceptiveAutomata] Sam Anthony “**Introducing Perceptive Automata: Human Intuition for Self-Driving Cars**” 2018 (<https://medium.com/perceptive-automata/introducing-perceptive-automata-human-intuition-for-self-driving-cars-3d2aaa05c083>)
- [Qualcomm 2018] Qualcomm (4.7.2018) „**ConVeX Consortium Hosts Europe’s First Live C-V2X Direct Communication Interoperability Demonstration Between Motorcycles, Vehicles, and Infrastructure**“, Qualcomm press release, (<https://www.qualcomm.com/news/releases/2018/07/04/convex-consortium-hosts-europes-first-live-c-v2x-direct-communication>)
- [R-FCN 2016] Jifeng Dai, Yi Li, Kaiming He, Jian Sun (21.6.2016) “**R-FCN: Object Detection via Region-based Fully Convolutional Networks**” (<https://arxiv.org/pdf/1605.06409.pdf>)
- [Roboauto-YOLO 2017] Roboauto “**YOLO implementation in GTA V.**” 1.12.2017 (<https://blog.roboauto.cz/yolo-implementation-in-gta-v-1fb6c2bfc198>)
- [RoboautoSeg 2017] Roboauto „**Segmentation of front camera video**“ 2017 (<https://www.youtube.com/watch?v=P-PcyuF6dyk>)
- [Roboauto 2017] Roboauto (5.2.2018) „**Roboauto in year 2017**“, Roboauto blog, (<https://blog.roboauto.cz/roboauto-in-year-2017-91c245e6a1e5>)
- [Ross 2018] Ross P.E., (7.5.2018) „**Self-Driving Cars Won't Need Accurate Digital Maps, MIT Experts Say**“, IEEE Spectrum, (<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/mit-experts-selfdriving-cars-wont-need-accurate-digital-maps>)
- [Salay et al, 2018] Salay, R., Queiroz, R., & Czarnecki, K. “**An Analysis of ISO 26262: Using Machine Learning Safely in Automotive Software.**” SAE Technical Paper, 2018-01-1075, 2018.
- [Sari et al, 2018] Sari, B. and Reuss, H.-C. “**Fail-Operational Safety Architecture for ADAS Systems Considering Domain ECUs**”, SAE Technical Paper 2018-01-1069, 2018.
- [SSD 2016] Wei Liu¹, Dragomir Anguelov², Dumitru Erhan³, Christian Szegedy³, Scott Reed⁴, Cheng-Yang Fu¹, Alexander C. Berg „**SSD: Single Shot MultiBox Detector**“ 29.12.2016 (<https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>)
- [Smith et al, 1999] Smith, C. H. and Schneider, R. W. “**Low-Field Magnetic Sensing with GMR Sensors**”, Nonvolatile Electronics, Inc., Sensors EXPO-Baltimore May, 1999



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



- [Udacity 2017] Dhanoop Karunakaran “**Semantic segmentation — Udaity’s self-driving car engineer nanodegree**” (<https://medium.com/intro-to-artificial-intelligence/semantic-segmentation-udaitys-self-driving-car-engineer-nanodegree-c01eb6eaf9d>)
- [YOLOv3] Redmon, Joseph and Farhadi, Ali „**YOLOv3: An Incremental Improvement**“ arXiv 2018 (<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>)
- [Walker 2018] Walker Jon, (19.7.2018) „**Self-Driving Trucks – Timelines and Developments**“, Techemergence (<https://www.techemergence.com/self-driving-trucks-timelines/>)
- [Waymo 2017] Waymo, “**Waymo Safety Report - On the Road to Fully Self-Driving**”, 15.11.2017 (<https://storage.googleapis.com/sdc-prod/v1/safety-report/waymo-safety-report-2017-10.pdf>)
- [Waymo 2018-05] () Dmitru Dolgov, Waymo, “**Google I/O Recap: Turning self-driving cars from science fiction into reality with the help of AI**” 8.5.2018 (<https://medium.com/waymo/google-i-o-recap-turning-self-driving-cars-from-science-fiction-into-reality-with-the-help-of-ai-89dded40c63>)
- [Wayve 2018] Wayve “**Learning to drive in a day.**” 28.6.2018 (<https://wayve.ai/blog/learning-to-drive-in-a-day-with-reinforcement-learning>)
- [Wiki ADAS 2018] wikipedia article „**Advanced driver-assistance systems**“ (https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_driver-assistance_systems)