



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



Technologické trendy v silniční dopravě

3. etapa

oblast Autonomní vozidla

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

říjen 2018



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



Obsah

1	Charakteristika průmyslových a společenských změn.....	3
1.1	Vlastnictví vozu	3
1.2	Plynulost dopravy	3
1.3	Parkování	3
1.4	Nástupní a výstupní plochy	4
1.5	Počet a obnova vozidel	4
1.6	Nové typy vozidel	4
1.7	Pojištění	4
1.8	Pracovní trh	5
1.9	Mobilita pro mladé a hendikepované	5
1.10	Psychologické aspekty autonomního řízení.....	5
2	Popis hlavních trendů technologického vývoje	6
2.1	Asistenční systémy.....	6
2.2	Teleoperace v řízení vozidel	7
2.3	HMI v řízení vozidel	8
2.4	Automatizované řízení osobních vozidel.....	9
2.5	Automatizované řízení v MHD.....	10
2.6	Automatizované řízení nákladních vozidel	11
2.7	Carsharing.....	11
2.8	Mobility operátoři.....	12
2.9	Elektromobilita	13
3	Identifikace vhodných způsobů uplatnění nových technologií a přístupů	14
3.1	Nové senzorické systémy.....	14
3.2	Umělá inteligence	15
3.3	Získávání a anotace dat z provozu.....	19
3.4	Datová fúze.....	19
3.5	Monitorování integrity pro lokalizaci autonomních vozidel	20
3.6	Tvorba přesných a aktuálních map.....	20
3.7	Simulace.....	21
3.8	Systémy odolné proti selhání	22
3.9	Komunikace V2X	26
3.10	Bezdrátové datové komunikační technologie	26
4	Identifikace bariér bránících uplatnění nových technologií a přístupů v praxi	27
4.1	Technické bariéry.....	27
4.2	Bariéry v automobilovém segmentu	27
4.3	Legislativní bariéry.....	28
4.4	Společenské bariéry.....	28
5	Shrnutí.....	29
6	Seznam použité literatury	30

1 Charakteristika průmyslových a společenských změn

Kromě zvýšené bezpečnosti provozu lze od nasazení autonomních vozidel očekávat celou řadu společenských změn, jež jsou podrobněji rozvedeny v následujících kapitolách.

1.1 Vlastnictví vozu

V průměru vozidlo 96 % své životnosti není používáno a pouze je zaparkováno a morálně zastarává. Toto jistě není efektivní využití zdrojů. Sdílení vozidla (taxi služba) je nyní používána v menší míře, převážně proto, že potřeba řidiče zvyšuje cenu takovéto služby. Nyní zaváděný Carsharing tradičních vozidel má zase nevýhodu malé penetrace a neobsloužení první a poslední míle. Už příklad aktuálních disruptorů odvětví taxi (Uber, Lyft, Liftago a další) ukázal, že když výrazněji klesne cena mobility, lidé ji začnou podstatně více využívat.

U autonomních vozidel je cena řidiče velmi malá (rozložená do ceny vozu) a proto se očekává prudký růst v oblasti mobility operátorů (taxi služeb). Ostatně i zmíněné firmy typu Uber či Liftago se netají tím, že berou dnešní situaci (s lidskými řidiči) jako přechodnou a jejich primární cíl je ovládnout budoucí trh mobility operátorů. Na pozici mobility operátorů ale aspirují i jiní hráči, jako jsou například výrobci automobilů, kteří nechtějí ztratit přímý vztah s finálním zákazníkem.

S rozvojem mobility operátorů klesne výrazně podíl soukromě vlastněných vozidel a vznikne potřeba společné infrastruktury (např. na objednávání jízd), regulace a sdílení dat. Pravděpodobně zůstane malá skupina majitelů vozidel, pro které je vozidlo i mobilním pracovištěm či skladem (např. řemeslníci).

1.2 Plynulost dopravy

Nasazení autonomních vozidel vzhledem k optimalizaci zrychlování i zpomalování zvýší plynulost dopravy – experimenty ukázaly, že i malý počet autonomních vozidel má velký vliv na zabránění vzniku dopravních front. [Stern 2017] Dále se zvýší využití stávajících zejména rychlostních komunikací, kdy může dojít k lepší časové optimalizaci – autonomní nákladní doprava bude využívat zejména noční hodiny provozu, kdežto osobní doprava denní dobu. To může být podpořeno i určitou formou regulace pomocí časově diferencované výše mýtného.

1.3 Parkování

S prudkým poklesem soukromého vlastnictví vozu se očekává, že razantně klesne potřeba parkování vozidel v centru měst a v rezidenčních čtvrtích – je tedy možné tvrdit, že je to šance pro města znovu se nadechnout, pročistit a přiblížit lidem. Ulice v rezidenčních čtvrtích tedy nebudou plné parkujících aut a lze dát větší prostor pro zeleň a společenské aktivity lidí. Mezistupněm jsou ADAS systémy automatického parkování (Valet parking), v současné době se řada produktů chystá do produkce. Také je možné počítat s potřebou určité zásoby parkovacích míst ve frekventovaných oblastech (např. nákupní a kancelářská centra

v pracovní době), kde bude čekat menší množství autonomních vozidel připravených k vyzvednutí pasažérů, místo toho, aby sem přijížděla z méně či více vzdáleného provozu až na konkrétní požadavek (analogie k systému vyrovnávacích „cache“ pamětí u dnešních počítačů).

Naopak v době snížené potřeby mobility (typicky v noci) budou autonomní vozidla zaparkována na odstavných parkovištích mimo centra měst – zde bude možné využít např. velká parkoviště u obchodních center, umístěných obvykle blízko páteřní dopravní infrastruktury, která jsou v dané době nevyužitá.

1.4 Nástupní a výstupní plochy

Počet parkovacích míst klesne, na druhé straně bude potřeba výrazně rozšířit nástupní a výstupní plochy pro pasažéry tak, aby mohlo dojít k bezpečnému nástupu a výstupu na frekventovaných místech.

1.5 Počet a obnova vozidel

Je odhadováno, že pro zajištění stávající potřeby transportu bude potřeba cca 30 % stávajícího počtu vozidel. Tato úspora vyplývá z většího sdílení vozového parku. Tato vozidla budou však mít cca 3x větší nájezd za rok, tudíž dalším pozitivním efektem bude rychlejší obnova vozového parku a rychlejší použití modernějších a úspornějších technologií.

1.6 Nové typy vozidel

Již aktuální rozšíření mobility služeb typu Uber či Liftago ukázalo, že tyto služby neberou své uživatele jen ze skupiny řidičů vlastních aut, ale také ze skupiny uživatelů městské hromadné dopravy. Dochází již tedy k tomu, že se provoz v centru měst ještě více zahušťuje. Aby se tomuto negativní efektu zabránilo, bude pravděpodobně potřeba vzniku nových typů vozidel, které překlenou rozdíl mezi osobními taxi a velkými vozy MHD – měly by udržet osobní a flexibilní formát dopravy, a přitom zvýšit hustotu pasažéru na silnici.

1.7 Pojištění

V současné době je povinné a havarijní pojištění vozidel jedním z velkých segmentů pojišťovnictví. S přechodem na autonomní řízení se budou pojišťovny muset přizpůsobit následujícím změnám:

- Nižší nehodovost vozidel (bude tlak na snížení ceny pojistného)
- Přesun vlastnictví většiny parku na mobility operátory, kteří budou požadovat vlastní, výhodnější podmínky pojištění anebo se budou samopojišťovat (pro velkou flotilu to dává ekonomický smysl)
- Vymizí trestní odpovědnost řidiče, na druhé straně bude společenský tlak na vyšší kompenzace v případě škod na majetku a zdraví osob

1.8 Pracovní trh

Rozvoj autonomní dopravy přinese zásadní dopady i do struktury pracovního trhu. Je možné očekávat úbytek pracovních míst řidičů nákladní dopravy. Tato místa se budou nejspíše restrukturalizovat na operátory telematického řízení a dále pracovníky v překladových uzlech či řidiče obsluhující nejsložitější „poslední míli“ doručení zboží.

Také lze očekávat úbytek pracovních míst v oblasti poskytování TAXI služeb. Tento pracovní trh už je v současnosti do značné míry ovlivněn poskytovateli přepravních služeb typu Uber či Liftago a autonomní vozidla k tomuto trendu ještě přispějí.

1.9 Mobilita pro mladé a hendikepované

Autonomní vozidla přinesou výrazné zvýšení možnosti mobility pro hendikepované a starší lidi, kteří nemohou sami řídit. Samozřejmě pouze v případech, kdy není nutná následná asistence po vystoupení z vozu. Je možné očekávat rozvoj speciálně vybavených vozidel např. pro nevidomé či neslyšící pasažéry.

Možnost využití individuální mobility vzroste i pro nejmladší generaci. S rostoucí oblibou využívání mobility jako služby dojde ke zmenšování počtu lidí s řidičským oprávněním. Trend snižování počtu mladých lidí s řidičským oprávněním je již patrný [Morley 2017] a v současnosti se připisuje zejména vlivu moderní online komunikace. Autonomní řízení pravděpodobně přispěje k jeho prohloubení. Jako problém je možné vnímat především riziko dalšího omezení aktivního pohybu pro mladou generaci.

1.10 Psychologické aspekty autonomního řízení

Jízda v autonomním vozidle s sebou přinese i nové psychologické aspekty. Ne každý bude akceptovat ztrátu kontroly a bude chtít využívat autonomní jízdu (obdobu můžeme nalézt třeba ve strachu z létání letadlem). Dále bude zcela jiný přístup k řešení kritických situací, zejména pak od autonomie stupně 4 a 5, kdy posádka nebude již aktivně zasahovat přímo do řízení, ale pouze signalizuje nebezpečnou situaci formou tísňového tlačítka a tím spustí nouzový manévr (obdobu záchranné brzdy ve vlaku).

Dalším pravděpodobným důsledkem lidské nedůvěřivosti budou pokusy o "testování" chování autonomních vozidel ve smíšeném provozu ostatními účastníky provozu. Ještě více expresivnějším výrazem takového chování může být až "šikanování" autonomních vozidel lidskými účastníky provozu. Bude třeba hledat řešení těchto situací jak v legislativě, tak v zajištění záznamu, automatického zdokumentování a následného postihu podobného chování.



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



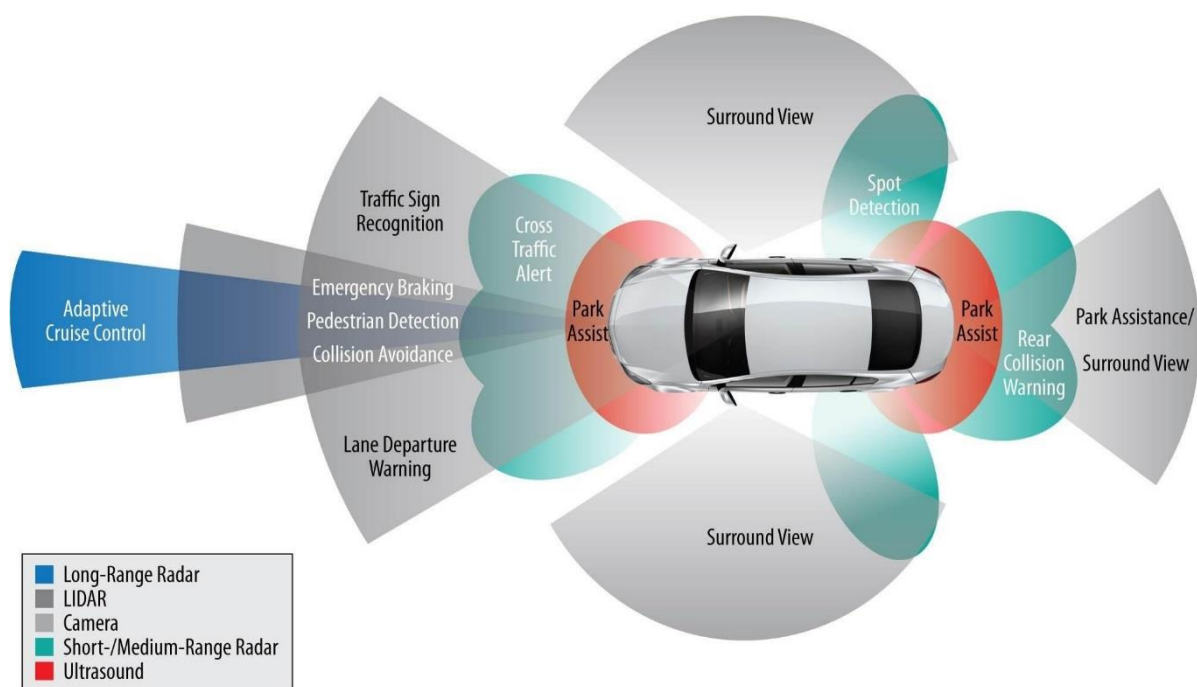
2 Popis hlavních trendů technologického vývoje

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.

2.1 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.

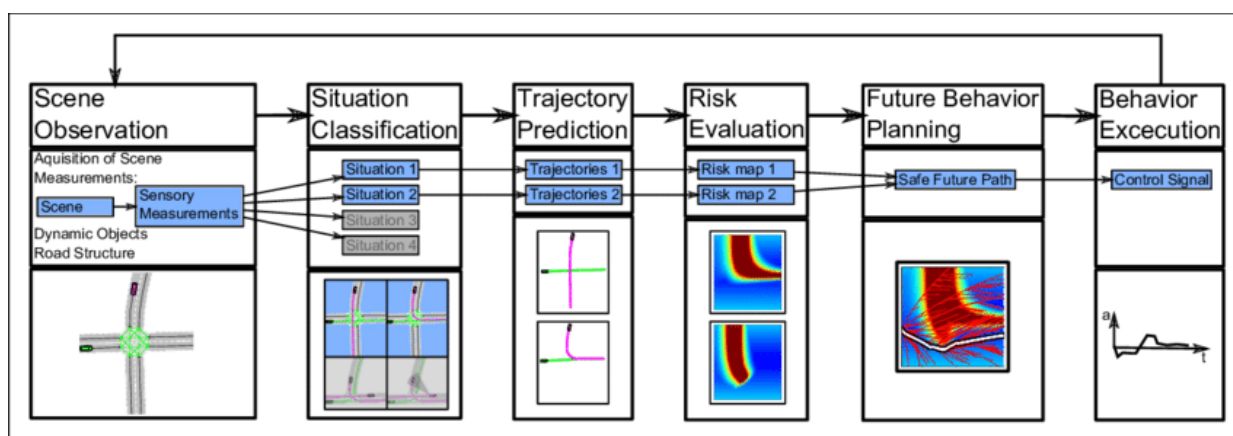


Obrázek 1 : Nejběžnější asistenční systémy (zdroj: <https://www.mentor.com>)

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])

2.2 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. Využití se nabízí i v nebezpečných či lidem nepříznivých provozech jako jsou doly, lomy apod.

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 mezičase 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)

2.3 HMI v řízení vozidel

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

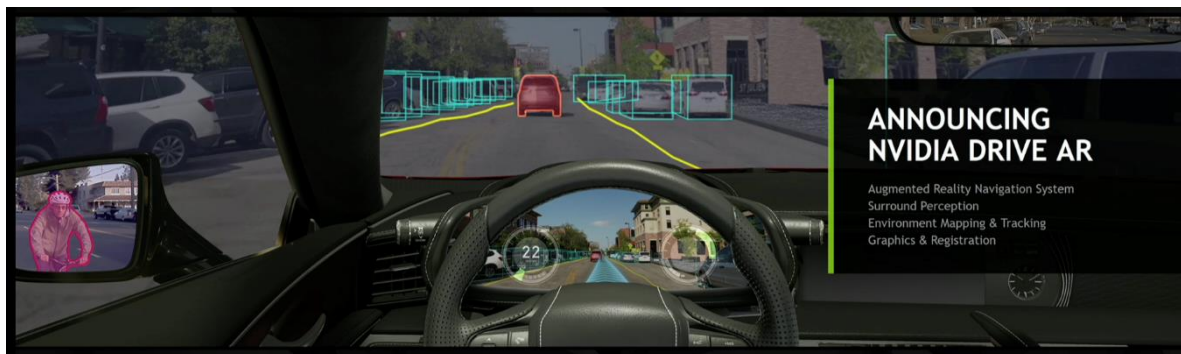
Již běžně ve vozidlech můžeme narazit na asistenty zvládající verbální komunikaci a rozpoznávání řeči (např. pro ovládání hands-free nebo autorádia), rozšiřují se informativní či výstražná hlášení systému, klasické kontrolky jsou doplněny podrobnější informací na palubním displeji. V budoucnu můžeme 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 personálních 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]

2.4 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.

2.5 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]

2.6 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.

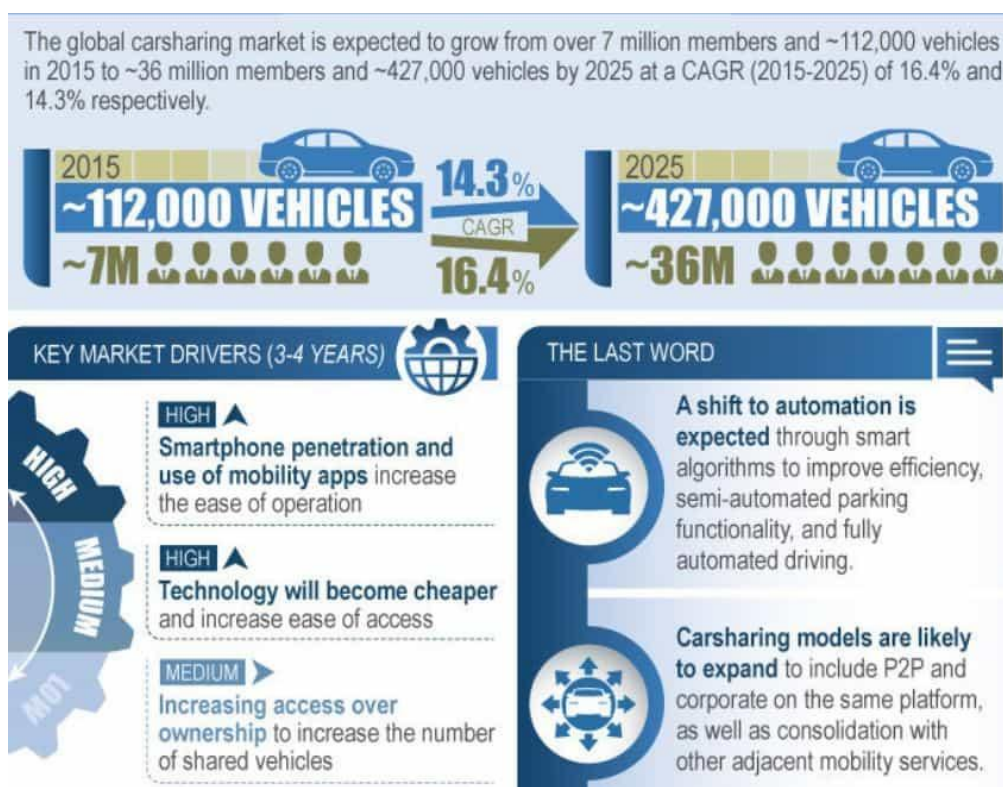
Další využití autonomních nákladních vozidel je možné a děje se již dnes v konkrétních aplikacích jako jsou překladiště, přístavy, doly a další místa, kde je jasně ohraničené provozní prostředí, omezený přístup ostatních účastníků silničního provozu i osob a nízká provozní rychlost. [Walker 2018]

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]

2.7 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]



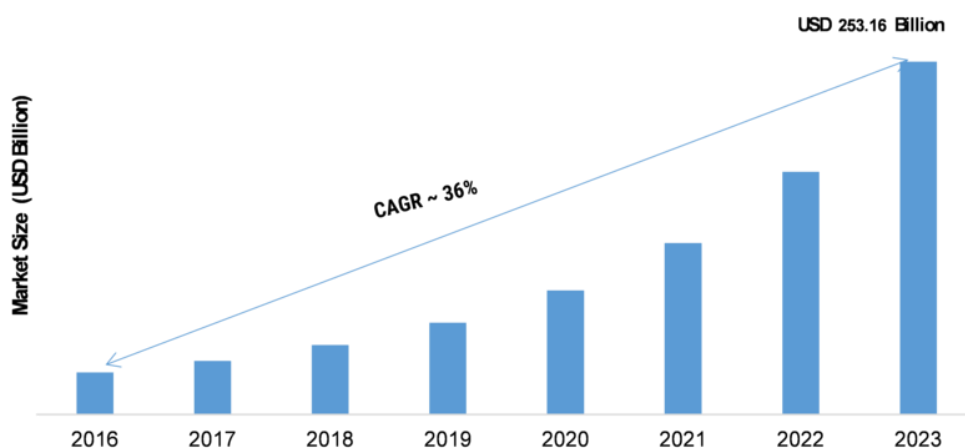
Obrázek 6 : Marketingová studie předpovídá nárůst carsharingového trhu pětinasobně mezi roky 2015 až 2025 (zdroj: [Frost 2016])

2.8 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.),

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])

2.9 Elektromobilita

Automatické řízení není přímo závislé na elektromobilitě, ač je s ní často nesprávně spojováno. Systémy automatického řízení je možné stejně dobře využít i u "klasických" benzinových či naftových vozů.

Automatické řízení však bude přínosem pro rozvoj elektromobility, neboť umožní snadnější přístup k dobíjecím stanicím v libovolném čase nezávislém na času řidiče. Autonomní elektromobil se může kdykoli odjet sám dobít a následně se vrátit. To povede i k optimalizaci využití nabíjecích stanic. Co je třeba v tomto směru vyřešit je otázka technologie a bezpečnosti neasistovaného nabíjení elektromobilů.

3 Identifikace vhodných způsobů uplatnění nových technologií a přístupů

3.1 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.

3.1.1 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.

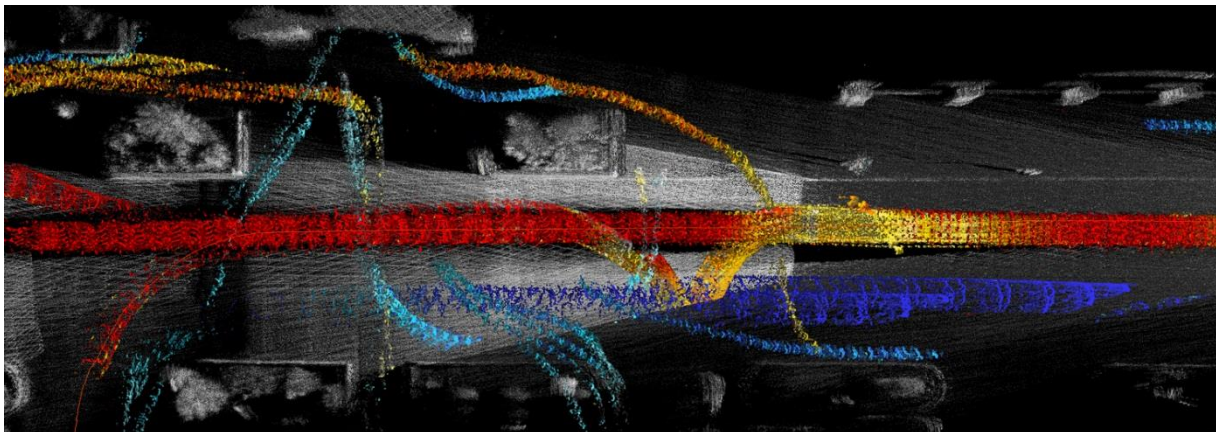


Obrázek 8 : Solid State Lidar od firmy Velodyne (Velarray) – zdroj <http://velodynelidar.com>

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]

3.1.2 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]

3.2 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 samořiditelných 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.

3.2.1 Zpracování obrazu

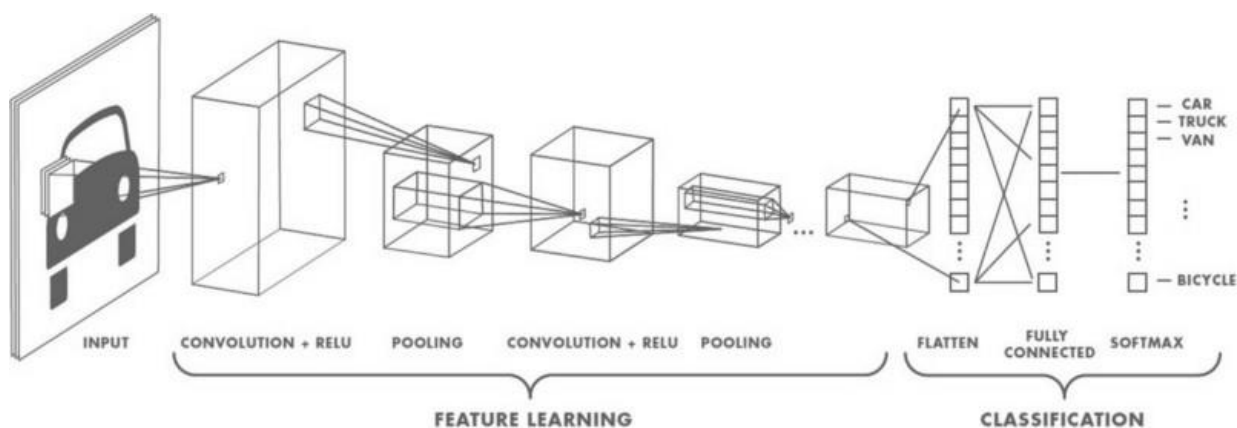
Rozvoj konvolučních neuronových sítí (Convolutional Neural Networks - CNN) v posledních letech umožnil výrazně zlepšit schopnosti počítačového vidění a identifikace objektů.



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

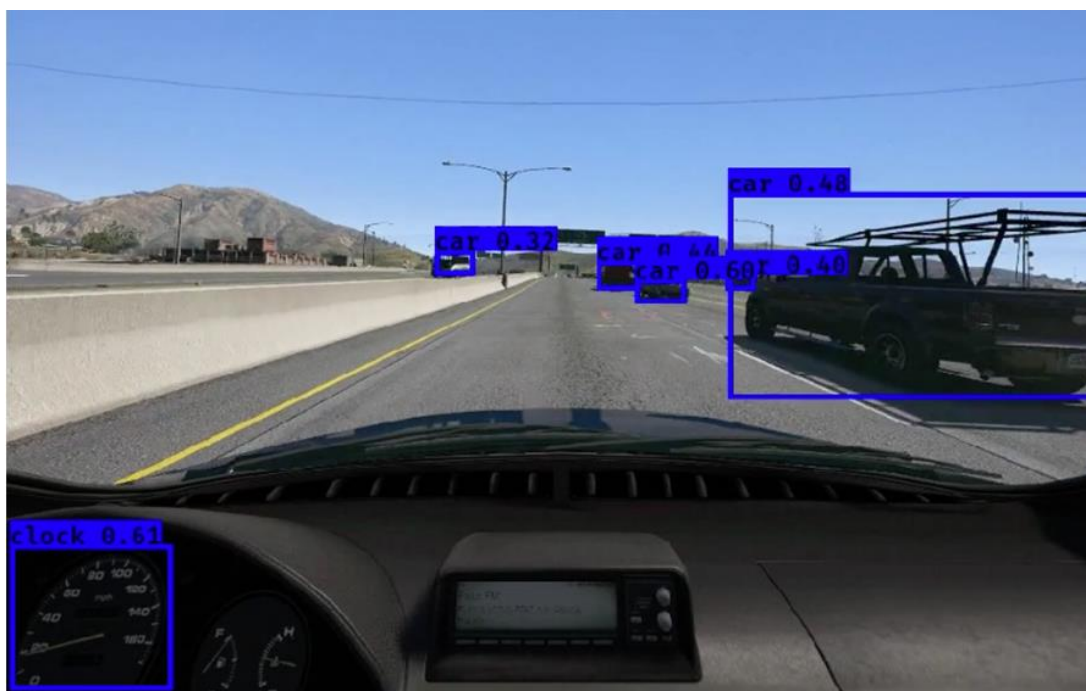


Klíčovou vlastností CNN je schopnost rozpoznat v obraze tzv. význačné vlastnosti (features) pomocí konvolučních filtrů.



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 obraz (frame) 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]



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



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.

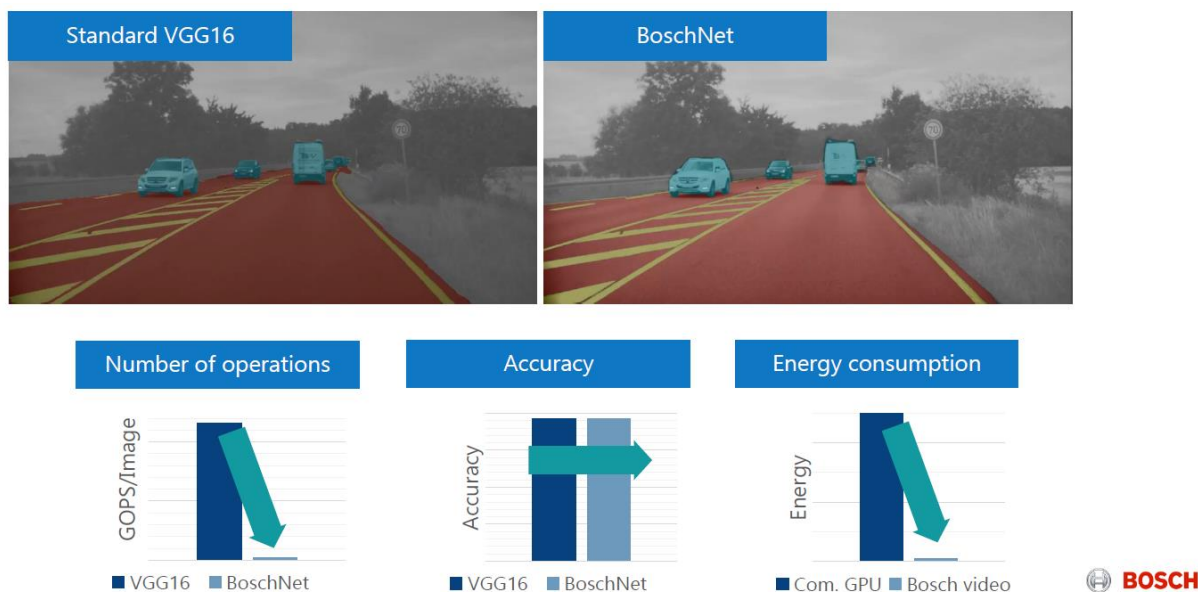
Jako další metody můžeme zmínit SSD: Single Shot MultiBox Detector [SSD 2016] či Region-based Fully Convolutional Networks [R-FCN 2016].

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).



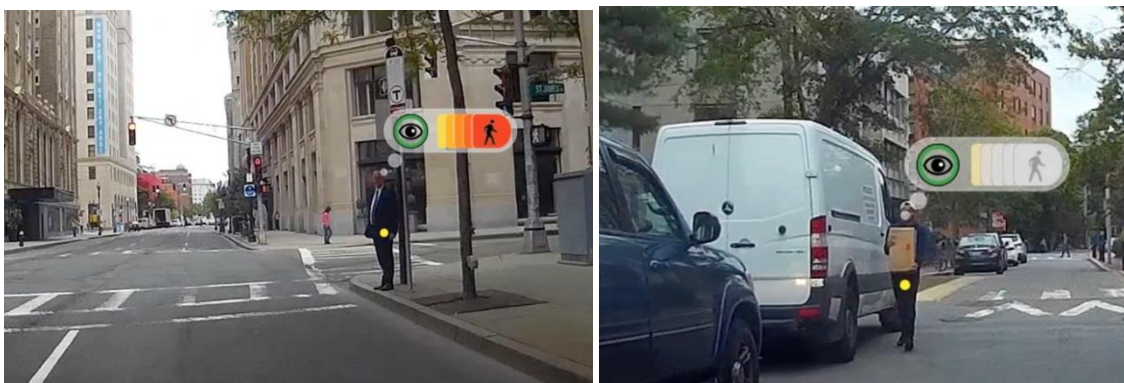
Obrázek 13 : Porovnání BoschNet a standardní VGG16 sítě pro segmentaci obrazu – zdroj [Bosch 2018]



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]

3.2.2 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).

3.2.3 Reinforcement learning – průběžné zdokonalování

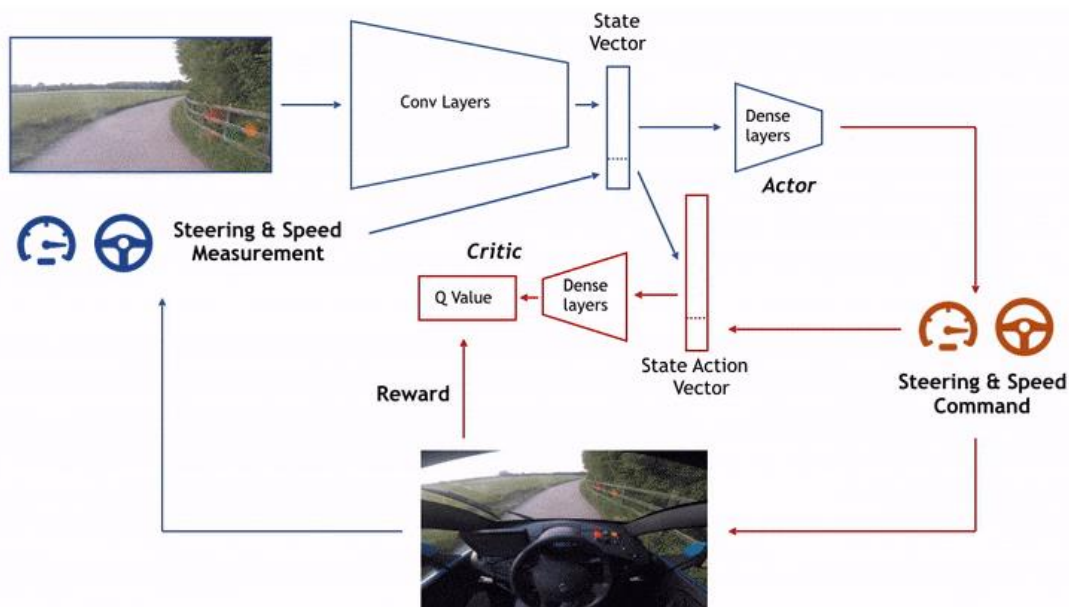
Zajímavým přístupem je použití Reinforcement learning (RL) pro samotné řízení vozidla.

Princip RL spočívá v učení požadovaného chování pomocí ocenění (penalizaci) jednotlivých stavů a nalezení optimálního řešení 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 o délce 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]

3.3 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.

3.4 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]

3.5 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]

3.6 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



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



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 (Carmara, 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]

3.7 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.

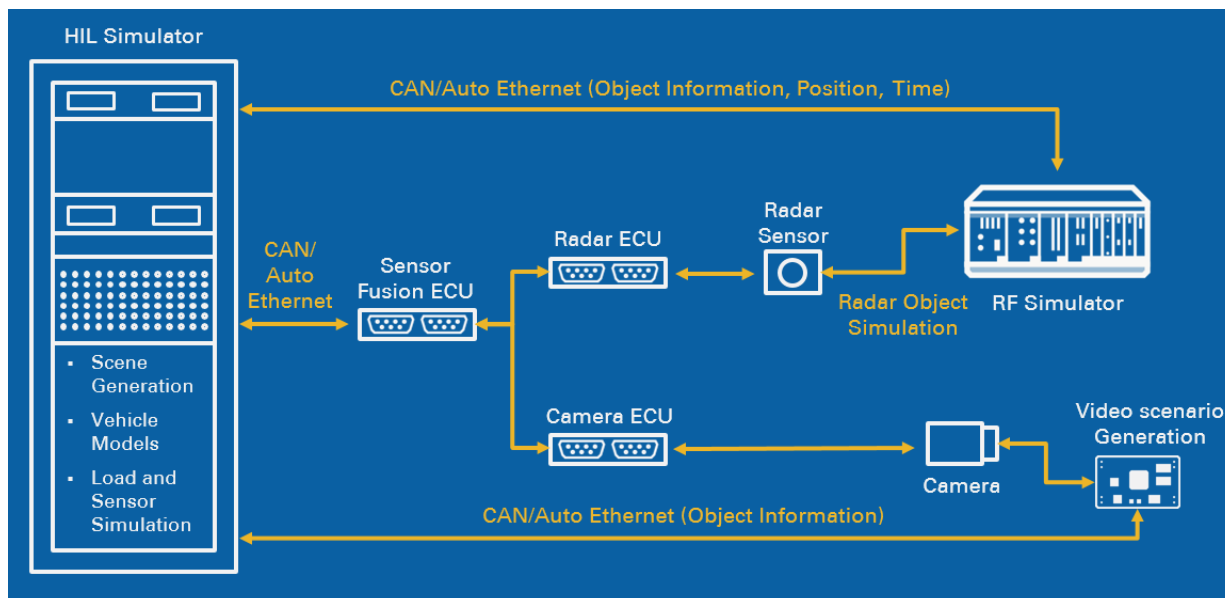
Technologie simulací se postupně vylepšuje, na trhu jsou k dispozici simulační nástroje v celé škále schopností i ceny:

- 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.



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



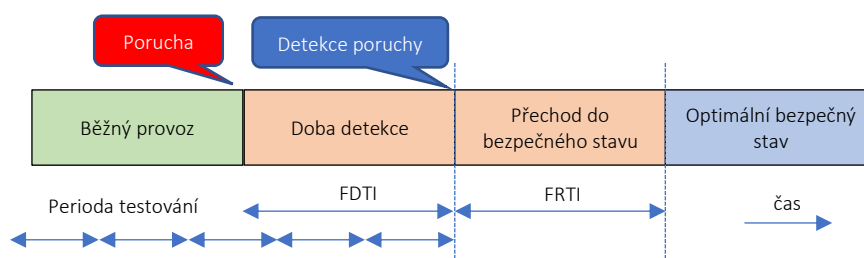
Obrázek 16 : Testovací prostředí HIL - zdroj [NI2017]

3.8 Systémy odolné proti selhání

Přestože se s prototypy autonomních vozidel setkáváme čím dál častěji, musí tato oblast nejprve technologicky dozrát. Tuto skutečnost si uvědomují výrobci současných automobilů, kteří se svých plánech počítají s komercializací autonomních vozidel kolem roku 2050, i autoři různých článků [Zaki 2017]. Cena těchto prototypů je obrovská a stále mají rezervy ve spolehlivosti, funkční bezpečnosti a správném rozhodování. Jsou často postaveny ze součástí, které nejsou navrženy na dlouhodobý provoz, neprošly dlouhým procesem optimalizací na úrovni komponent, ale hlavně na úrovni celého vozidla.

V poslední době je možné sledovat vývoj v oblasti norem pro automobilový průmysl, které umožňují dosáhnout požadovaného stupně bezpečnosti. Příkladem může být norma ISO 26262, jejíž reedice bude vydána koncem roku 2018. Přinese zobecnění pro autobusy, nákladní auta a motocykly. Dále se zabývá požadavky na bezpečnost systémů ADAS, jejichž funkcionality nebyla v dřívější době zřejmá. Norma pokrývá deduktivní a induktivní metody analýzy poruchovosti – FTA (Fault Tree Analysis) a FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Požadavky na bezpečnost (bezpečnostní cíle) jsou definovány pomocí HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment). Bezpečnostní cíle jsou analyzovány na systémové úrovni a jsou rozpracovány na bezpečnostní požadavky. Rozvoj těchto postupů a norem se dá očekávat i nadále. Tento trend se bude pozitivně projevovat na všeobecném povědomí a akceptaci autonomního řízení, může se však projevit i negativně ve smyslu znemožnění dosažení specifikovaných bezpečnostních konceptů, jak je možné například vidět u striktních požadavků na psaní softwarového vybavení pro oblast leteckého průmyslu pomocí normy DO-178C.

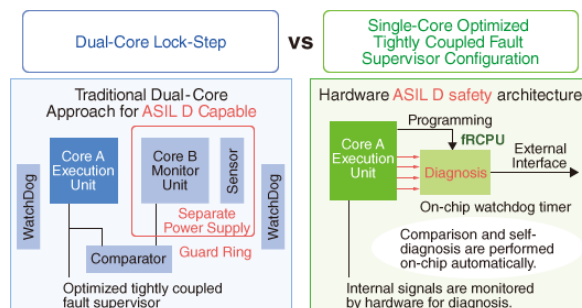
Odolnost proti selhání bude u autonomních vozidel důležitým požadavkem. Bez tohoto rysu by se jen velmi obtížně nalézala všeobecná akceptace konceptu autonomních vozidel. Zajištění odolnosti proti selhání vychází z postupného vývoje, který probíhá na všech úrovních, od návrhu základních snímačů a aktuátorů, přes návrh subsystémů, až po systémovou úroveň. V případě selhání musí být systém schopen chybné chování zdetekovat, rozpoznat a na úrovni řízení zajistit změnu funkcionality tak, aby byla částečně zajištěna původní funkčnost. Poměrně velkým, ne-li největším problémem, je včasná detekce poruchy, aby nebyla omezena bezpečnost provozu a současně nedocházelo k falešným alarmům. Časový interval od vzniku poruchy do její detekce se nazývá Fault Detection Time Interval (FDTI).



Obrázek 17 : Průběh detekce poruchy

Časový interval od detekce poruchy do přepnutí do vhodného bezpečného stavu se nazývá Fault Reaction Time Interval (FRTI). Součet těchto časů je nedílnou součástí požadavků na bezpečnost (Obrázek 17).

Podpora pro realizaci systémů odolných proti selhání se již nachází v moderních procesorech vyráběných pro použití v automobilovém průmyslu. Firma Toshiba nabízí mikrokontroléry navrhované na zajištění funkční bezpečnosti. Jejich jádro je napevno spojené s hardwarovými testery, které sledují správnost signálů (Obrázek 18). Tím je zajištěna sebediagnostika, která se spravuje pomocí dostupného softwarového vybavení.



Obrázek 18 : Srovnání architektur pro dosažení standardu ASIL D (převzato z <https://toshiba.semicon-storage.com/us/product/automotive/micro/functional-safety.html>)



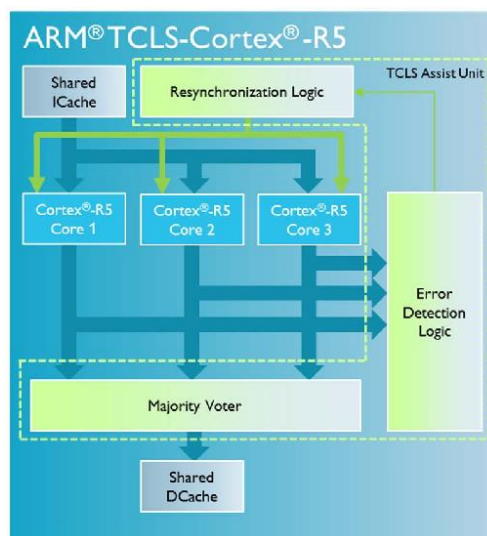
EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Výhodou tohoto řešení je nižší náročnost na plochu čipu a na jeho spotřebu ve srovnání s klasickým zapojením dvou jader v lock-step režimu. Firma Toshiba tak umožňuje realizovat systémy bezpečné při selhání použitím jednojádrových procesorů. Jejich dvoujádrové varianty umožňují navrhovat systémy odolné proti selhání.

Mikrokontroléry rodiny AURIX vybavené jádry Tricore jsou navrženy tak, aby s nimi bylo možné dosáhnout nejvyšších standardů zabezpečení v automobilovém průmyslu. První generace obsahuje až tři jádra, z nichž dvě mohou běžet v lock-step režimu. Jsou zde využity dva druhy jader, které mohou posloužit pro zajištění rozdílnosti (diverzity) na hardwarové úrovni. Druhá generace těchto procesorů obsahuje až šest jader, z nichž čtyři mohou běžet v režimu lock-step. Byly navrženy s cílem využití v systémech ADAS pro zajištění vysoké úrovně funkční bezpečnosti. Procesory AURIX obsahují jednotku pro správu bezpečnosti, která zpracovává jednotlivé alarmy mikrokontroléru. Umožňují detekci poruch a jsou vybaveny záložními napájeními.

Objevují se i varianty procesorů v architektuře 3oo2 (Obrázek 19). Jedno takové řešení je popsáno v [Iturbe et al 2016]. Staví na využití tří jader zapojených v lock-step režimu. Je zde zajištěno rozsynchronizování běhu všech tří jader, obsahuje blok detekce chyb a vybírá stejný výsledek získaný alespoň ze dvou jader.



Obrázek 19 : Tří jádrový procesor s jádry zapojenými v lock-step režimu s posunutím času výpočtu.

Na úrovni motoru pro plně elektrická vozítka se dosahuje odolnosti proti selhání využitím vícefázových střídavých elektrických motorů. Ve srovnání s klasickým spalovacím motorem, kde je redundance v počtu válců, která zajišťuje, že tento motor může pracovat i při poruše jednoho válce, vede u běžně používaného třífázového motoru ztráta jedné fáze k nemožnosti pokračovat v další jízdě. Přestože to na první pohled vypadá, že v případě využití třífázových subsystémů v jednom motoru umožňuje využít běžných algoritmů řízení třífázových motorů, není to zcela pravda [Brockerhoff et al 2015]. Statorová vinutí jsou umístěna ve stejném prostoru a navzájem se ve své činnosti ovlivňují. Celé řešení má řadu dílčích výhod, kterými

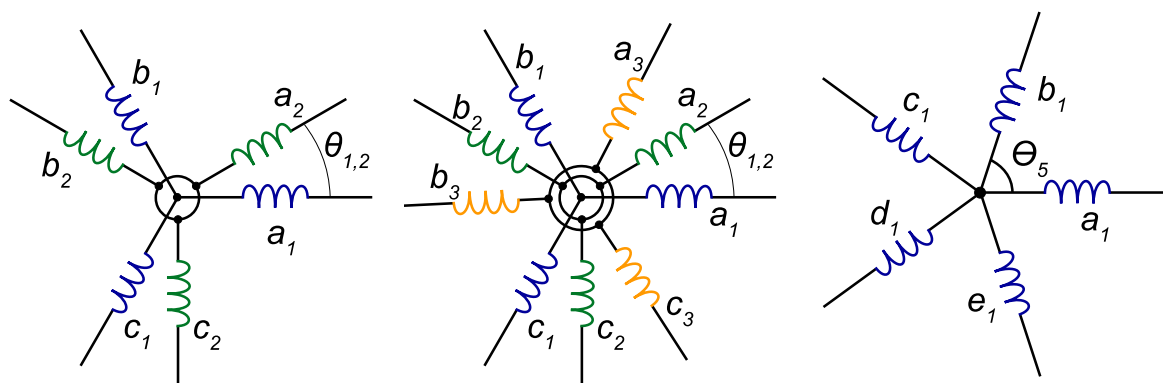


EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



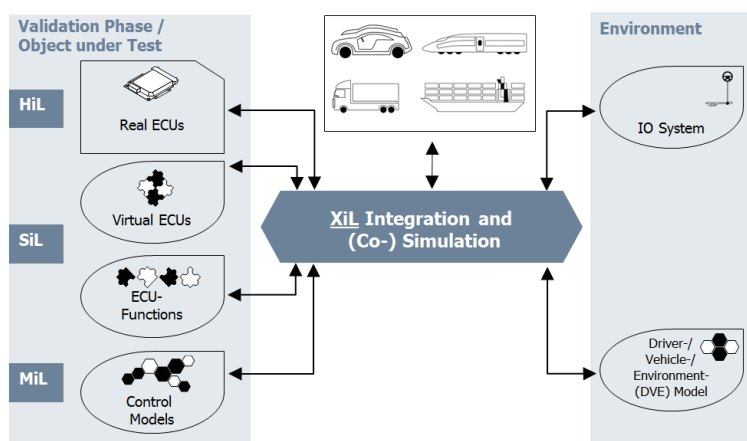
jsou snížení maximálního proudu, možnost použití výkonových součástek dimenzovaných na nižší proudy a další.

Využití prvků redundance se poměrně snadno realizuje na hardwarové úrovni. Mnohem složitější je situace při vývoji programového vybavení. Pro každou uvažovanou poruchu je nutné zajistit algoritmy pro její detekci a také vytvořit řídicí algoritmy zajišťující činnost ve funkční poruše. Dá se proto očekávat, že ještě více vzroste požadavek na počet IT specialistů.



Obrázek 20 : Různé konfigurace statorových vinutí vícefázových elektrických motorů (2x třífázový motor, 3x třífázový motor a pětifázový motor).

Velký důraz je a bude čím dál tím více kladen na validaci systémů odolných proti selhání. Dá se říci, že přístupy X in the Loop (XiL), jako jsou MiL, SiL, PiL a HiL, jsou v dnešní době běžně používané (Obrázek 21).



Obrázek 21 : Integrace X in the Loop simulačních metod (převzato z https://www.etas.com/en/products/applications_virtualization_xil_approach.php)

Problémem u systémů bezpečných proti selhání je samotné vygenerování poruchy tak, aby bylo možné otestovat reakci systému na její výskyt. Vedle prostředků pro detekci chyb se do

systémů vkládají jednotky pro emulaci vzniku poruch – Failure Insertion Units (FIU). Bez jejich pomoci by nebylo možné dosáhnout dostatečného pokrytí testů [Zhang 2011]. FIU jsou také nedílnou součástí HiL simulátorů (dSPACE, NI, ETAS, Opal-RT, ...). Umožňují emulovat situace jako rozpojení obvodu, zkrat na zdroj napětí, na zemní potenciál, zkrat mezi datovými vodiči a další [NI 2018].

Cílem této kapitoly bylo podat přehled v oblasti vývoje systémů odolných proti selhání. Poměrně podrobně byla rozebrána tato problematika na příkladu nově vyvíjených mikrokontrolérů. Byly zde zmíněny problémy tohoto vývoje a jejich možná řešení.

3.9 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.

3.10 Bezdrátové datové komunikační technologie

Autonomní vozidla budou 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 sítě 5G měly splňovat (propustnost až 20 GBit/s a latence 1 ms).

4 Identifikace bariér bránících uplatnění nových technologií a přístupů v praxi

Rozvoj autonomních vozidel je mezioborovou záležitostí, která zasáhne do velké škály aspektů našeho života. Proto, existuje celá řada oblastí, ve kterých je možné identifikovat překážky pro další rozvoj.

4.1 Technické bariéry

Hlavním technickým problémem je v současnosti chybějící řešení pro autonomii stupňů 4 a 5, přičemž panují obavy, že autonomie stupně 3 nebude prakticky použitelná z důvodů nemožnosti plnohodnotného předání řízení zpět řidiči v dostatečně krátkém čase. Hlavními technickými výzvami v této oblasti je zejména řešení první a poslední míle a komplexních dopravních situací.

Dále je třeba zmínit nedostatečnost stávající infrastruktury jako je komunikace car2x, dostupné HD mapy, testovací infrastruktura, realističtější simulace a anotovaná data. Ne zcela vyřešenou otázkou je také spotřeba systémů autonomního řízení. [Silver 2017]

4.2 Bariéry v automobilovém segmentu

Pokud se jedná o připravenost výrobců automobilů, pak mluvíme v podstatě o "revoluci" v celém tomto segmentu. Do současnosti byly automobilky zejména výrobci hardware, nicméně situace se velice rychle mění a hlavní roli ve vozidlových systémech začíná hrát software. Musí zde tedy dojít k restrukturalizaci výrobních procesů a celého řetězce tak, aby se z automobilek stali výrobci software.

Dalším aspektem je cena autonomních systémů, které výraznou měrou mohou zvýšit cenu vozidel. Například 3D lidar, který je v současnosti klíčovým snímačem u velké většiny fungujících autonomních konceptů, svojí cenou převyšuje cenu vlastního vozidla. Proto je kladen důraz na hledání řešení, která budou schopna využít cenově dostupnější snímače, k čemuž je třeba zejména dořešení problematiky pokročilé fúze těchto snímačů. Současně se hledají cesty ke zefektivnění a zlevnění výroby stávajících drahých snímačů. Otázkou je, zda pro snížení ceny bude stačit pouhá masová výroba, nebo zda bude třeba výrazně zlepšit technologické řešení současných nákladných senzorů.

Dále je třeba vnímat nutnost postupné kompletní změny modelu výroby a prodeje vozidel, kdy zákazníci nebudou koncoví uživatelé ale spíše firmy poskytující mobilitu jako službu, tedy operátoři mobility. Jedná se tedy o změnu prodejního a servisního řetězce z B2C na B2B, čemuž se stávající výrobci automobilů musí přizpůsobit. Možností je i zapojení těchto výrobců do trhu s mobilitou a vznik velkých mobilních operátorů spojených s konkrétními automobilkami. Současně můžeme registrovat příchod nových výrobců z řad technologických firem s jiným přístupem k celé problematice (Tesla) a rizika s tím spojená.



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



4.3 Legislativní bariéry

Hlavní legislativní bariérou je chybějící legislativní rámec v EU a zatím pouze částečně vytvořená legislativa v USA. V Asii a Austrálii je situace podobná [AD 2017, NTC 2017], v afrických zemích zatím otázka autonomního řízení není na pořadu dne. [Grobler 2017] V rámci legislativního procesu bude nutné dořešení otázek jako odpovědnost za provoz autonomního vozidla, etika provozu, úprava dopravních předpisů (např. dopravní kontroly), státní regulace (kontroly funkčnosti a bezpečnosti, povolování provozu a dalších).

4.4 Společenské bariéry

Pro plnohodnotné akceptaci a rozšíření autonomních vozidel bude nutno čelit i řadě společenských bariér, jako jsou:

- **Hluboce zakořeněné vlastnictví vozidla, společenský status**

Pro mnoho lidí je vlastnictví vozidla pevně daný bod, kterého se nebudou chtít vzdát. Mnohdy vozidlo dané značky slouží i jako společenský statusový symbol, jakou pozici daný člověk ve společnosti zaujímá.

Nicméně autoři této práce očekávají, že funkci společenského statusu převzou jiné výrobky (dnes to již je např. mobilní telefon). Také diferenciací úrovně služeb mezi mobility operátory může fungovat jako společenský status (stejně tak jako economy a business třída u letecké dopravy).

- **Předsudky a obava z AI, nedůvěra**

Experimenty společnosti Wymo ukázaly, že předsudky a obava z automatické řízení vozu vyprchají velmi rychle a lidé vzápětí využívají nově získaný volný čas ke svým aktivitám

- **Vozidlo jako mobilní zavazadlo**

Mnohdy je vozidlo používáno mimo jiné jako mobilní základna/zavazadlo.

Pravděpodobně ekonomické aspekty donutí většinu uživatelů tento způsob využití vozidla opustit.

- **Přechodné zvýšení hustoty dopravy**

Autonomní doprava může ve střednědobém horizontu paradoxně ještě zvýšit hustotu dopravy ve městech, protože se stane konkurencí hromadné dopravě. To bude kompenzováno až zavedením nových (vícemístných) typů vozidel umožňujících zvýšení přepravní hustoty osob, případně regulačními opatřeními ve městech s důrazem na kombinaci různých druhů dopravy.

5 Shrnutí

V tomto dokumentu jsme shrnuli jak nadcházející průmyslové a společenské změny, tak 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. Rostou také nároky na spolehlivost systémů a tvorbu **systémů odolných proti selhání**.

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 sítě 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 sítě 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



6 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>)
- [AD 2017] 2025AD Team (15.11.2017) "**How to Deal with the Constraints of China's Laws on Driverless Cars**", 2025AD press release (<https://www.2025ad.com/latest/2017-11/china-driverless-car-regulation/>)
- [ALEC 2017] ALEC (2017) "**Vehicle platooning for safety and efficiency act**", (<https://www.alec.org/model-policy/vehicle-platooning-for-safety-and-efficiency-act/>)
- [Anders 2018] Anders M. (2018) "**Metro Detroit cities prepare for autonomous vehicles with smart infrastructure**", Modelmedia, (<http://www.modeldmedia.com/features/smart-infrastructure-launch.aspx>)
- [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>)
- [BBC 2017] BBC news (23. 11. 2017) "**Singapore to use driverless buses from 2022**", (<http://www.bbc.com/news/business-42090987>)
- [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>)
- [BI 2016] Radovanovic D., Muoio D. (4.10.2016) "**This is what the evolution of self-driving cars looks like**", (<http://www.businessinsider.com/what-are-the-different-levels-of-driverless-cars-2016-10>)
- [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
- [Brockhoff et al 2015] Brockhoff, P; Schon, W; Blaha, P; Vaclavek, P; Burkhardt, Y, 2015: "**Disc Inverter in Highly Integrated 9-phase Drivetrain for E-Mobility**". 17th European Conference On Power Electronics And Applications (EPE'15 ECCE-EUROPE), 2015
- [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>)



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



- [Buspress 2016] (19.4.2016) „**Truck platooning zlepšuje bezpečnost a plynulost provozu i životní prostředí**“, buspress.eu, (<http://www.buspress.eu/truck-platooning-zlepso-bezpecnost-a-plynulost-provozu-i-zivotni-prostredi/>)
- [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>
- [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>)
- [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.
- [Grobler 2017] Grobler Ch. (28. 12. 2017) “**Why Self-driving Cars Won’t Work in South Africa Yet**”, Suzuki blog, (<http://blog.suzukiauto.co.za/blog/why-self-driving-cars-wont-work-in-south-africa.-.-yet>)
- [Hamilton 2017] Hamilton M., Hamilton E. (2017) “**Cities Should Not Design for Autonomous Vehicles**“, Market Urbanism, (<http://marketurbanism.com/2017/11/13/cities-should-not-design-for-autonomous-vehicles/>)
- [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/>)
- [Harris 2017] Harris H. (2017, February 2) “**The 2,578 Problems With Self-Driving Cars - Reports from companies testing autonomous vehicles in California show they are**



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



- improving but still far from perfect" (<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/the-2578-problems-with-self-driving-cars>)
- [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>)
- [Chauhan 2017] Chauhan G. (2017, November 14) "What should one do when an automatic car's brakes fail? As there is no gear control to slow down the car, how does one get it to a halt? " (<https://www.quora.com/What-should-one-do-when-an-automatic-cars-brakes-fail-As-there-is-no-gear-control-to-slow-down-the-car-how-does-one-get-it-to-a-halt.>)
- [IHS 2015] Perslow H., Carston 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)
- [Iturbe et al 2016] Iturbe, X., Venu, B., Ozer, E., & Das, S. (2016). „A Triple Core Lock-Step (TCLS) ARM® Cortex®-R5 Processor for Safety-Critical and Ultra-Reliable Applications”. 2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshop (DSN-W), 246-249
- [Isermann 2002] R. Isermann, R. Schwarz and S. Stolz (2002, October) "Fault-tolerant drive-by-wire systems" in IEEE Control Systems, vol. 22, no. 5, pp. 64-81. doi: 10.1109/MCS.2002.1035218
- [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>)
- [Kluc 2016] Kluc M. (2016) "Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu", DP ČVUT ÚBTI, (<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68247/F6-DP-2016-Kluc-Michal-autonomni%20vozidla.pdf>)
- [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>)
- [Kumar 2013] Kumar S. (2013, April 15) "What is limp home mode in a car?" (<https://www.quora.com/What-is-limp-home-mode-in-a-car>)
- [Morley 2017] Morley K. (10. 7. 2017) "Record decline in teenagers learning to drive, figures show", The Telegraph, (<https://www.telegraph.co.uk/news/2017/07/10/record-decline-teenagers-learning-drive-figures-show/>)
- [MRFR 2018] Market Research Future (July 2018) „Mobility as a Service Market Research Report- Forecast 2023“, Market research report,



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



- (<https://www.marketresearchfuture.com/reports/mobility-as-a-service-market-3109>)
- [Muio 2016] Muio D. (2016, September 14) "I was behind the wheel when a self-driving Uber failed — here's what happens" (<http://www.businessinsider.com/uber-self-driving-car-fails-2016-9>)
- [NHTS 2015] "Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey." National Highway Traffic Safety Administration, February 2015. (<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>)
- [NI23017] National Instruments "Altran and NI Demonstrate ADAS HIL With Sensor Fusion" 10.10.2017 (<http://www.ni.com/white-paper/53961/en/>)
- [NTC 2017] NTC Australia (October 2017) "Changing driving laws to support automated vehicles", Discussion Paper, (<https://www.ntc.gov.au/current-projects/changing-driving-laws-to-support-automated-vehicles/>)
- [NI 2018] "Using Fault Insertion Units (FIUs) for Electronic Testing", white paper <http://www.ni.com/white-paper/10340/en/>
- [Pawsey 2017] Pawsey C. (2017) "How Artificial Intelligence Is Key for Autonomous Vehicle Development", Trucks.com news, 2017 (<https://www.trucks.com/2017/11/29/artificial-intelligence-key-autonomous-vehicle-development/>)
- [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>)
- [Price 2017] Price R. (7.9.2017) „You can ride a driverless shuttle bus around East London right now", Business insider UK, (<http://uk.businessinsider.com/self-driving-bus-trials-in-east-london-navya-2017-9>)
- [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->



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



[think/transportation/self-driving/mit-experts-selfdriving-cars-wont-need-accurate-digital-maps](https://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.
- [Salesky 2017] Salesky B. (16. 10. 2017) **"A Decade after DARPA: Our View on the State of the Art in Self-Driving Cars"**, Argo AI, (<https://medium.com/self-driven/a-decade-after-darpa-our-view-on-the-state-of-the-art-in-self-driving-cars-3e8698e6afe8>)
- [Silver 2018] Silver D. (2018) **"Car Washes for Self-Driving Cars"**, Udacity (<https://medium.com/self-driving-cars/car-washes-for-self-driving-cars-f7fdc52b7abd>)
- [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>)
- [SMPLC 2017] **"Shared Mobility Principles for Livable Cities"** (<https://www.sharedmobilityprinciples.org/>)
- [Statt 2017] Statt N. (8. 11. 2017) **"A self-driving shuttle in Las Vegas got into an accident on its first day of service"**, The Verge, (<https://www.theverge.com/2017/11/8/16626224/las-vegas-self-driving-shuttle-crash-accident-first-day>)
- [Stern 2017] **"Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments"**, Raphael E. Stern, Shumo Cui, Maria Laura Delle Monache, Rahul Bhadani, Matt Bunting, Miles Churchill, Nathaniel Hamilton, R'mani Haulcy, Hannah Pohlmann, Fangyu Wu, Benedetto Piccoli, Benjamin Seibold, Jonathan Sprinkle, Daniel B. Work (<https://arxiv.org/abs/1705.01693>)
- [Thierer 2014] Thierer A., Hagemann R. (2014) **"Removing Roadblocks to Intelligent Vehicles and Driverless Cars"**, MERCATUS WORKING PAPER, (<https://www.mercatus.org/system/files/Thierer-Intelligent-Vehicles.pdf>)
- [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 2016] Walker J. (26.10.2016) **"Are Fully Driverless Vehicles Coming Soon? Doubts, and Smarter Hopes"** (<http://humantransit.org/2016/10/are-fully-driverless-vehicles-coming-soon-reasons-for-doubt.html>)
- [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>)



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



- [Waymo 2018] **“Waymo’s fully driverless minivans are already putting people to sleep”**
Andrew J. Hawkins, The Verge,
(<https://www.theverge.com/platform/amp/2018/3/13/17114194/waymo-driverless-minivan-arizona-early-rider-video>)
- [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)
- [Zaki 2017] Zaki, A.: **„Cover Story - Motor: Eye on Future Autonomous vehicles: Impact on future stability of motor insurance”**. [dostupné online:
<http://www3.asiainsurancereview.com/Magazine/Magazine-Articles/mgid/329/cid/3>], 2017.
- [Zhang 2011] Zhang, Z.: **„Optimization of Fault-Insertion Test and Diagnosis of Functional Failures”**. Dissertation thesis in the Graduate School of Duke University, 2011.