

Autonómne vozidlá

Základnou myšlienkou autonómnych (robotických, “self driving”) vozidiel je vytvorenie a zavedenie automobilu, ktorý by bol schopný plniť prepravné úlohy bez potreby manuálneho riadenia ľudským šoférom. Nápad autonómnych vozidiel sa objavil už dávno pred vznikom prvého počítača, pričom sa ale pôvodne na základe dobovej technológie predpokladalo, že automobily budú jazdiť po vopred určených trasách s využitím napríklad magnetov alebo koľajníc a nebude možné aby nahradili človeka v jeho komplexnom vnímaní a rozhodovaní. V súčasnosti máme však vďaka masívnemu rozvoju počítačov a s nimi umelej inteligencie a robotiky poprvý krát v histórii nástroje, s ktorými máme možnosť tieto idey transformovať do praxe. Veľké svetové univerzity a s nimi spoločnosti ako Audi, Google, Mercedes-Benz, Toyota a pod. vynakladajú značné úsilie na výskum týchto automobilov a v posledných rokoch predviedli verejnosti niekoľko čiastočne funkčných prototypov. V prípade úspechu ich iniciatívy budú mať rôzne variácie robotických vozidiel nespočet využítí v armáde, komerčnej logistike, vesmírnych programoch, civilnej preprave a v mnohých ďalších oblastiach. V tomto referáte sa zameriame na osobné autonómne vozidlá, ktoré sú súčasťou ambiciózneho vízie úplnej automatizácie veškerej dopravy na cestných komunikáciách. Poukážeme na niektoré aspekty, ktoré s takouto víziou súvisia a na reálnom projekte si ukážeme základné princípy, na ktorých funguje prototyp jedného z najvyspelejších robotických osobných áut súčasnosti.

Prínos a problémy autonómnych automobilov

Doprava je kritická sféra pre fungovanie modernej spoločnosti a v súčasnosti sa v nej potýkame s mnohými problémami, ktoré v budú v budúcnosti naberať na intenzite. Jej zautomatizovanie je možnou cestou k riešeniu niektorých kľúčových z nich. Prvou výhodou zavedenia autonómnych áut by bolo zníženie počtu smrteľných dopravných nehôd. Tie sú jednou z hlavných príčin úmrtia mladých ľudí od 4 do 35 rokov a viac než 90% z nich je spôsobené ľudským zavinením. Celosvetovo by to znamenalo 1.2 milióna zachránených životov ročne. Pre porovnanie na vírus HIV v roku 2013 zomrelo približne 1.5 milióna ľudí, takže zavedenie autonómnych automobilov by malo podobný prínos pre našu spoločnosť ako vynájdenie lieku na HIV. Ak by sme sa nemuseli vedovať riadeniu vozidiel získali by sme taktiež veľa ušetreného času, ktorý by sme mohli využiť na niečo užitočnejšie. Len v USA ročne ľudia strávia šoférom v priemere 30 miliárd hodín, čo je množstvo ušetreného ľudského časového kapitálu, aké by NASA stačilo na realizovanie 20 Apollo projektov pristátia na mesiaci. S robotickými vozidlami by premávka mohla dosiahnuť optimálny stav. Automobily by jazdili s oveľa menšími rozstupmi, vyššou rýchlosťou pri minimálnej novej spotrebe. To by znamenalo menej času stráveného cestovaním, rýchlejšie dodávky tovaru kamiónmi a potenciálne zníženie ekologických dopadov. Problémy s parkovaním by mohli byť čiastočne vyriešené tak, že autá budú parkovať po vyložení pasažierov tam kde to bude najvýhodnejšie. V ideálnom prípade by však vozidlá mohli slúžiť podobne ako taxi komukoľvek kto ich práve potrebuje a prakticky by mohli byť neustále v pohybe bez potreby parkovania. Veľké mestá by využili väčšinu plochy potrebnej pre parkoviská na stavbu iných užitočnejších objektov. Bez nutnosti manuálne ovládať vozidlá by bola automobilová preprava dostupná takmer každému. To znamená, že plnohodnotnej prepravy by boli schopní aj slepí, ľudia v zlom zdravotnom stave, deti a podobne.

Na druhej strane sa potýkame s mnohými problémami, kôli ktorým sa nám nemusí podať takýto ideálny stav dosiahnuť. Je možné, že sa nám automobil schopný nahradiť ľudského šoféra nepodarí vyvinúť kôli technologickým prekážkam. Ak by sa nám to podarilo najväčšou hrozbou

budú bezpečnostné riziká, namä prevzatie kontroly nad vozidlom niekým neoprávneným. Na druhej strane diaľkovo riadené a autonómne ozbrojené drony sú oveľa nebezpečnejšie a sú armádami používané. Je otázne, ako sa má takéto auto zachovať v kritickej situácii ako je neodvratiteľná nehoda, kde musí vybrať z viacerých alternatív, kde pri každej z nich dôjde k ublíženiu na zdraví. Obavy sú taktiež z toho, že takéto automobily by boli príliš veľký zásah do súkromia. V neposlednom rade bude potrebné vyriešiť množstvo legislatívnych, etických a ekonomických otázok, ktoré rozhodnú o tom, či bude možné takéto vozidlá zaviesť do premávky.

Projekt vývoja autonómneho automobilu - Google self driving car

Samotný vývoj autonómneho vozidla je veľmi komplexná multiodborová záležitosť. Zahŕňa z technického hľadiska hneď niekoľko kľúčových odvetví umelej inteligencie a robotiky. Ako príklad realizácie technickej stránky projektu autonómneho osobného vozidla si predstavíme v súčasnosti najpopulárnejšie auto od Google. Google oznámil projekt „Google self driving car“ v roku 2010 ako súčasť čiastočne utajovanej skupiny inovatívnych výzkumných projektov Google[X], ktoré majú za úlohu zásadne ovplyvniť našu spoločnosť. Projekt sa masívne zviditeľnil a je všeobecne verejnosťou považovaný za najpokročilejší najmä vďaka úspešným testom v reálnej premávke v Californii. Tá je jedným z niekoľkých štátov v USA, ktoré dovoľujú testovanie robotických vozidiel, avšak len za asistencie ľudského šoféra s možnosťou okamžitého prebratia manuálnej kontroly. Prvé testovacie automobily boli upravené verzie sériovo vyrábaných vozidiel, na ktoré prirobili senzory a počítač. Google upravil hneď niekoľko testovacích áut typu Lexus RX, Audi TT a Toyota Prius, ktoré spolu dodnes v premávke najazdili viac než 1 000 000 km. Za tú dobu sa stali účastníkmi hneď dvoch dopravných nehôd. Jednu spôsobil iný účastník cestnej premávky a o tej druhej, ktorú spôsobil testovacie vozidlo Google tvrdí, že automobil bol v tom čase pod kontrolou testovacieho jazdca (čo ale nemusí byť pravda). V máji 2014 Google predstavil prvý prototyp vlastného vozidla konštrukčne navrhnutého od základu pre „self driving“. Ten označujú samotní výskumníci, ktorí ho vyvinuli za „prototyp prototypu“. Toto auto nieje nasadené v premávke, pretože celé jeho manuálne ovládanie sa skladá zo zeleného tlačítka „START“ a červeného tlačítka „STOP“, pričom cieľová destinácia sa zadáva slovné. Auto má zaoblenú karosériu prispôbenú laserovým sensorom na streche, ktorých lúče sa od hranatej karosérie upravených áut odrážali a rozptylovali. Na upravených aj novom prototypu auta sa nachádzajú potrebné senzory a výpočtová jednotka. Senzory zasielajú dáta počítaču a ten má pod kontrolou mechanické ovládanie motora, bŕzd a riadenia. Časť výpočtov sa v súčasnosti realizuje aj vzdialene. Súčasťou konštrukcie nového prototypu je aj duálny mechanizmus ovládania, pri ktorom ak počítač stratí kontrolu nad ovládacími prvkami z dôvodu poruchy, má k dispozícii ďalší plne funkčný mechanizmus nezávislý od toho nefunkčného.

Ako funguje Google self driving car

Aby mohlo auto správne fungovať v premávke bez ľudského zásahu, musí dokázať zodpovedať nasledujúce otázky:

1. Kde sa nachádzam?
2. Čo sa nachádza v mojom okolí?
3. Aké akcie podniknú objekty v mojom okolí?
4. Akú akciu podniknem ja?

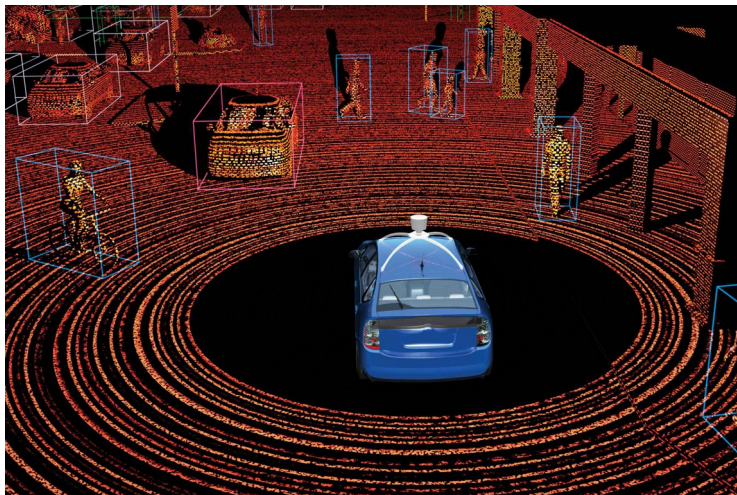
1. Kde sa nachádzam?

Na to aby vedelo odpovedať na prvú otázku využíva menej presné GPS, senzory pohybu na kolesách a veľmi podrobnú mapu. Tú pracovníci pripravujú dopredu opakovanými prejazdami po cestách podobne ako pri Google Maps a ručne ju dopĺňajú o informácie, ktoré nieje možné zbierať

automatizovane. Na tejto mape sú zaznamenané okrem samotných ciest aj prechody, dopravné značenia, semafóry, pruhy a ich šírky, železničné priecestia a podobne. Podľa GPS a mapy vie auto približne určiť oblasť na mape, v ktorej sa približne nachádza a na základe dát zo senzorov pohybu vie veľmi presne určiť svoju polohu.

2. Aké objekty sa nachádzajú v mojom okolí?

Najdôležitejšími senzormi, na základe ktorých vozidlo vníma svoje okolie sú laser, radar a kamera. Laser sa nachádza na streche automobilu. Tento otáčajúci sa „toilet paper roll“ je komerčne dostupné zariadenie LiDAR od firmy Velodyne, ktoré pozostáva zo 64 laserov realizujúcich 1.3 milióna skenov okolia za minútu. LiDAR dokáže vytvoriť veľmi podrobnú 3D mapu okolia do vzdialenosti 100 metrov v 360° panoráme, kde zachytí všetky okolité objekty, ich tvary a polohu. Rôzne lasery sa odrážajú od rôznych povrchov a dostatočne rýchlo na to, aby spoľahlivo detekovali, ktoré objekty v okolí sú v pohybe, nie však aká je presne ich rýchlosť. Metódami strojového učenia má auto naučené klasifikátory, na základe ktorých vie klasifikovať automobily, cyklistov a chodcov a prípadne iné objekty, ktoré sa v premávke vyskytujú. Oproti ľudskému šoférovi má teda výhodu, že nepretržite sleduje celé svoje okolie a má prehľad o všetkých objektoch naokolo, nie len pred ním.



Obr. 1. Lasery LiDAR-u detekujú okolité objekty

Na prednom a zadnom nárazníku sa nachádza radar. Ten je podobný ako u systémov ACC (Adaptive Cruise Control), ktoré na bežných automobiloch automaticky zrýchľujú a spomaľujú aby automobil udržal konštantnú vzdialenosť od vozidla vpredu v kolóne. Radar funguje na väčšiu vzdialenosť (okolo 200 metrov) a detailne sleduje objekty pred a za automobilom. Veľmi presne meria ich rýchlosť a detekuje včas, že sa do jazdnej dráhy automobilu približuje nejaký iný objekt, napríklad auto zaraďujúce sa z iného jazdného pruhu. Menej zrejme výhody radaru sú napríklad to, že vidia aj cez vegetáciu, takže niesu obmedzené optickým videním ako človek. Taktiež sa radarové vlny odrážajú popod podvozky najbližších áut, takže sme s ním schopní sledovať dve autá v kolóne dopredu a tak lepšie predvídať ich akcie. Radar a laser sú technológie, ktoré robotickému vozidlu umožňujú sledovať to, čo človek nedokáže a sú tak jedným z primárnych dôvodov, prečo môžu byť vozidlá bez ľudskej kontroly bezpečnejšie. Dokazujú to aj rôzne kuriózne situácie z testovacích jazd, napríklad z jednej nočnej. Automobil plynulo prechádzal pod vlastnou kontrolou cestou v tmavom lese neskoro v noci, kedy bola veľmi malá viditeľnosť. Odrazu začal nezvyčajne prudko spomaľovať až do zastavenia, čím vydesil testovacieho jazdca, ktorý ani nestihol prebrať kontrolu kým sa auto zastavilo. Ihneď na to vyskočil z lesa jeleň a prebehol cez cestu. Automobil detekoval jeleňa aj v úplnej tme skrz vegetáciu lesa v takej situácii, kde by človek nemal šancu zareagovať a vyhnúť sa tak nehode.

Samotné ľudské videnie automobil napodobňuje s pomocou kamier vpredu. Tie poskytujú kvalitný obraz pre počítačové spracovanie. Na ňom sa detekuje aká je farba na semafore, či blikajú smerovky iného auta, rozpoznávajú sa dopravné značenia a taktiež výluky na ceste. Napríklad keď auto spozoruje oranžové kužely vie, že má byť opatrnejšie. Ďalšie kamery sú rozmiestnené vo dvojiciach okolo karosérie a detekujú objekty aj s ich vzdialenosťou podobne ako oči človeka s účinnosťou do 30 metrov.

3. Aké akcie podniknú objekty v mojom okolí?

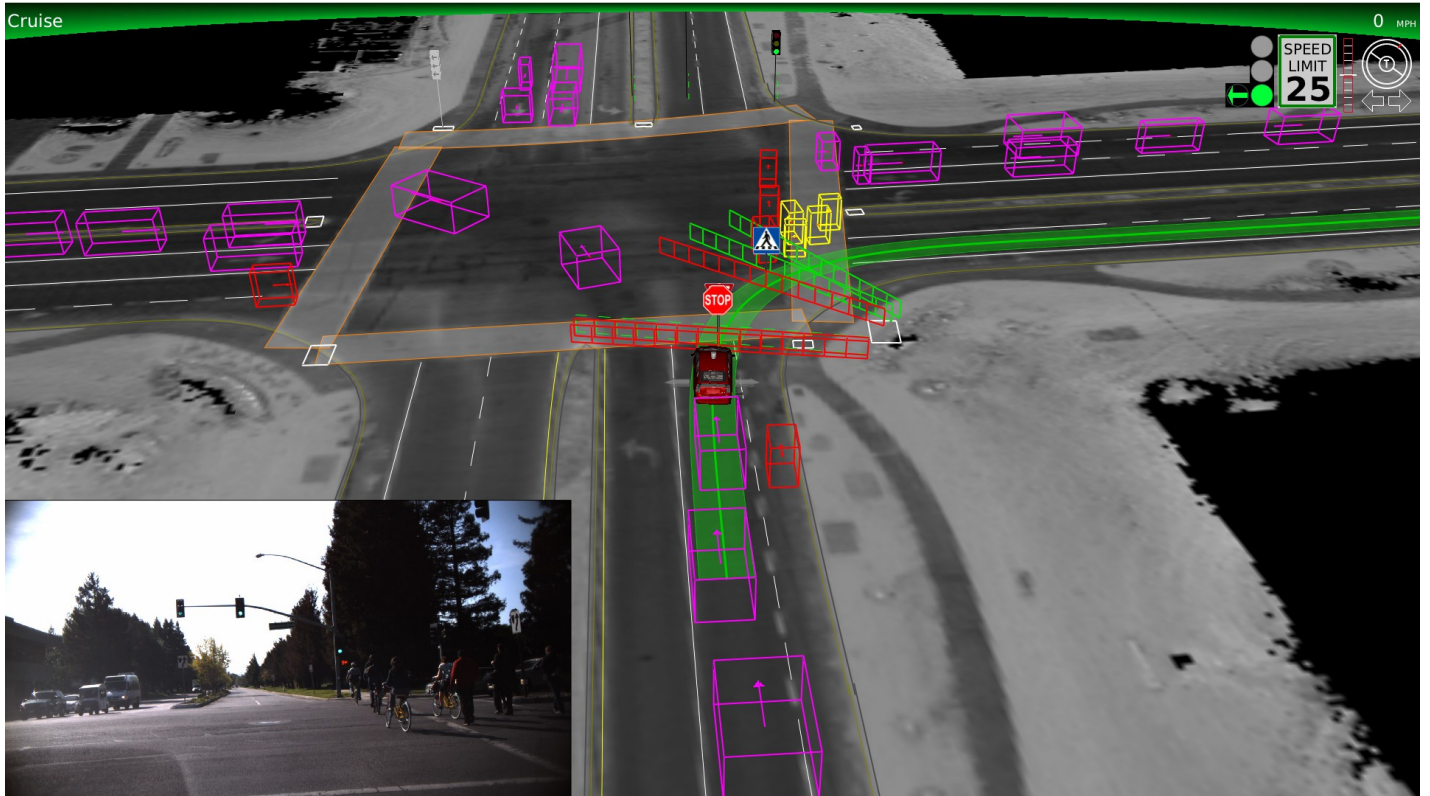
Laser radar a kamera zaisťujú vnímanie automobilu a odpovedajú na druhú otázku. V každom momente má automobil prehľad o všetkých statických aj dynamických objektoch v jeho okolí, ich zaradení do tried ako chodec, automobil cyklista, rozmeroch, rýchlosti a smeru pohybu. Pre odpoveď na tretiu otázku je potrebné vytvoriť pravdepodobnostné a matematické modely správania účastníkov cestnej premávky a iných objektov, ako napríklad chodcov, ktorí majú na ňu priamy vplyv. K tomu napomáha strojové učenie, pomocou ktorého boli výskumníci napríklad schopní odsledovať na oko nepatrné rozdiely v dráhe po ktorej sa pohybujú ľudskí vodiči od tej optimálnej. Medzi najnovšie prvky, ktoré vývojári do softwaru pridali je detekcia slepých ulhov ostatných vodičov, ktorá značne vylepšuje bezpečnosť. Na základe týchto modelov a sledovaných okolitých objektov automobil predvída ako sa budú chovať v nasledujúcich časových okamihoch.

4. Akú akciu podniknem ja?

So všetkými týmito informáciami automobil odpovedá na poslednú otázku. Tu prichádzajú na radu opäť modely správania, ktoré určujú ako sa má auto zachovať v závislosti od všetkého čo vie. Zohľadňuje tak vopred vypočítané predpokladané dráhy okolitých objektov, svoju plánovanú dráhu a súčasnú rýchlosť, rýchlostné limity na ceste a iné faktory podobne ako človek. Automobil má neustále naplánovanú svoju budúcu trasu a na základe týchto rozhodnutí ju priebežne upravuje. V každom momente presne vie aký má byť ťah motora a otočenie riadenia a či má brzdiť a prakticky ide o jediné mechanické prvky, ktoré výpočtová jednotka automobilu ovláda. Všeobecne je Google auto koncipované ako defenzívny šofér, ktorý neporušuje pravidlá cestnej premávky, je ohľaduplné voči ostatným vodičom a jazdí bezpečne.

Testovanie a vývoj Google automobilu

Prototypy áut testujú vždy dvaja testovací jazdci, ktorí majú dve úlohy. Za prvé sú povinní v prípade, že si niesú istí, že automobil urobí to, čo je bezpečné prevziať kontrolu nad vozidlom a za druhé poskytujú dôležitý feedback vývojárom. Počas testovacej jazdy sa logujú všetky dôležité podrobnosti a to aj plánovaná trasa v nejakom časovom okamihu. To umožňuje testerom prevziať pri neistote kontrolu nad automobilom s tým, že na to aby zistili, či by aj bez toho správne zareagoval im stačí prezrieť záznam z jazdy až po jej skončení. Na obrázku 2 môžeme vidieť ako sa dá automaticky vizualizovať takýto log z jazdy.



Obr. 2. Vizualizácia záznamu testovacej jazdy.

Dole v rohu je fotografia kamerového záznamu konkrétnej situácie. Šedým je vyznačená mapa cesty s vyznačenými pruhmi, semaforami a dopravným značením, ktoré bolo vopred zmapované. O tom, kde sa nachádza pre neho relevantný semafor vedel automobil na základe dát v mape. Z kamerového záznamu potom detekoval jeho farbu. Trasa, po akej pôjde je vyznačená zeleným pásom. Ak by vozidlo detekovalo nejakú prekážku alebo napríklad ohrozenie, túto plánovanú trasu okamžite upraví. Pomocou laserov a radarov rozpoznalo kvádrmi vyznačené okolité dynamické objekty a k nim určilo ich triedu, veľkosti, rýchlosť a predpokladanú dráhu. Fialovo sú vyznačené ostatné automobily, červenou cyklisti a žltou chodci. Práve chodci a cyklisti sú veľmi rizikovní, pretože ich chovanie býva často ťažko odhadnuteľné aj pre ľudského vodiča. Je náročné odlíšiť, či má stojaci chodec v úmysle vstúpiť na vozovku mimo prechodu alebo zastavil z iného dôvodu. U cyklistov napríklad auto vie rozpoznať rozpaženú ruku ako signál odbočenia. Taktiež automobil vie zastaviť na novo sa vyskytujúce značenie, napríklad na pracovníka prestavby, ktorý drží v ruke značku „STOP.“

Príklady ako tieto poukazujú na to, aké je dôležité pre vývoj testovanie. Samotní výskumníci a vývojári tvrdia, že sa ešte len učia aké situácie môžu v premávke nastať a ako k riešeniu rôznych problémov pristupovať. Okrem bežných situácií sa niektoré menej štandardné alebo nebezpečné, ako napríklad dopravné nehody simulujú v laboratóriu.

Problémy Google self driving car

Prvou nevýhodou pri zavádzaní auta je nutnosť vynaložiť veľké úsilie na zmapovanie ciest po ktorých bude jazdiť, vyžadujúce oveľa viac práce ako tvorba máp pre Google Maps. Doteraz je takto zmapovaných len pár tisíc kilometrov ciest. Ešte väčší problém je, ako si poradiť so zmenami ako je napríklad nové dopravné značenie. Vďaka mapám vie napríklad auto aké semaforey sú preňho relevantné a ak by pribudol nový, auto by o ňom nevedelo a mohlo by prejsť na červenú. Okrem toho je robotické auto testované v Californii, kde jazdí v slnečných podmienkach a maximálne sa potýka len so slabým dažďom. Momentálne nieje schopné jazdiť na snehu, v búrke alebo v iných

ťažších poveternostných podmienkach a rozhodne ide o problém, ktorý bude musieť byť v budúcnosti vyriešený. Problémy nastávajú aj pri senzoroch a klasifikátoroch objektov, ktoré nedokážu rozlíšiť prekážku, kôli ktorej netreba meniť trasu ako kartónová krabica alebo rozvírený oblak piesku od iných pevných prekážok a prakticky sa snaží obchádzať aj tie, ktoré nemusia. Veľký problém je potenciálne nekonečná množina možných výnimočných situácií, ktoré na ceste môžu nastať a na ktoré musí vozidlo vedieť zareagovať. Napríklad by malo zvýšiť pozornosť, ak prechádza okolo škôlky a cez cestu deťom ujde lopta. Všetky takéto prípady sa však nedajú zmapovať a ich vyvodenie automobilom nieje možné, pretože vyžadujú bázu znalostí, ktorú človek nadobúda celé roky svojho života a schopnosť inferencie rovnajúcu sa ľudskému mozgu. Takú inteligenciu sa nám nemusí nikdy podariť strojovo napodobniť. Google tvrdí, že autonómne vozidlá na cestách budú realitou už okolo roku 2020 ale je dosť možné, že ide len o marketingový ťah na verejnosť alebo o príliš optimistickú víziu vzhľadom na to, aké technologické bariéry ešte potrebujeme prekonať.

Súčasnosť a semi-autonómne automobily

Množstvo problémov, ktoré sa môžu zdať nevyriešiteľné nás núti k tomu, aby sme poľavili od myšlienky, že automobil bude mať plnú kontrolu nad riadením. V súčasnosti sa ako o najreálnejšej možnosti uvažuje o semi-autonómnych automobiloch. Automobily by jazdili v ideálnych podmienkach samostatne, pričom v prípade potreby ľudský vodič prevezme vedenie. Na týchto technológiách pracujú najmä automobilky s ich partnermi a prinášajú tak už v tejto dobe rôzne inteligentné prvky a autopilotov pre riadenie. Na výstave CES 2014 Audi, BMW, Bosch a Valeo predviedli svoje „driverless“ technológie. Ide o prvky budúcej generácie sériovo vyrábaných automobilov, ktoré vykonajú za šoféra niektoré čiastkové úlohy. Valeo ukázalo automobil, ktorý sám prejde po parkovisku, nájde si parkovacie miesto a zaparkuje. Obdobné technológie ukázalo aj BMW, Bosch a Audi, takže je zrejme, že o samotné parkovanie sa budeme musieť starať čím ďalej tým menej. Najzaujímavejšia na výstave bola ale technológia od audi, ktorá plne prevezme riadenie v premávke v rýchlosti do 65 km/h. Je to ideálne na preplnené mestské diaľnice s kolónami. Systém je dosť prokročilý na to, aby sa auto vysporiadalo s bežnými situáciami ako napríklad potrebou uvoľniť miesto vpredu predbiehajúcemu vodičovi. Na zrýchľovanie a spomalovanie využíva radary s lasermi napojenými na Adaptive cruise control systém a pomocou rozpoznania obrazu z kamery udržuje auto v jeho pruhu. Veľmi diskutovanou témou je v súčasnosti aj myšlienka informačného kanálu medzi autami a zapojenie automobilov do IoC (internet of things). V blízkej budúcnosti si automobily môžu cez internet alebo peer to peer bezdrôtový prenos vymieňať užitočné informácie o stave premávky a to potenciálne môžu autonómne prvky využiť ku vzájomnej koordinácii. V októbri 2014 bolo taktiež ohlásené semi-autonómne auto od Tesla. Autonómne prvky navrhli ako dodatočné bezpečnostné systémy a ide o radar vpredu detekujúci hrozbu kolízie, kamera, ktorá rozpoznáva značky STOP, 360° sonar a systém, ktorý tieto prvky integruje s navigáciou a dátami z premávky v reálnom čase. Úplne autonómne automobily je už dnes možné naplno využívať v menej komplexných prostrediach ako je cestná premávka. Príkladom je Navia od francúzskej firmy Induct Technology. Automobil jazdí rýchlosťou okolo 20 km/h a slúži na prevážanie pasažierov v peších zónach, v okolí veľkých nemocníc, univerzít a podobne. Podobne ako Google auto používa LiDAR s kamerami na vytvorenie 3D obrazu svojho okolia. Bol nasadený v roku 2014 a ide oficiálne o prvý autonómny automobil reálne využívaný v komerčnej sfére.

Záver

Je zrejme, že sme ešte len na začiatku dlhého vývoja, čo nám ale dáva možnosť prispieť svojím dielom k rozvoju oblasti umelej inteligencie, ktorá môže jedného dňa podstatne zmeniť podobu

našej spoločnosti. V súčasnosti sme už realizovali dôležité pokroky a pomaly nasadzujeme prvé autonómne technológie do reálnej prevádzky. Optimistické odhady o zavedení plne autonómnych automobiloch už okolo rokov 2020 a 2030 sú ale pravdepodobne nerealizovateľné a pri súčasnom stave poznatkov z oblasti umelej inteligencie a na pohľad nevyriešiteľných problémoch sa zdá, že semi-autonómne vozidlá, ktoré na čiastkové úlohy využívajú inteligentné systémy budú užitočnejšou a ekonomicky menej náročnou cestou ako vylepšiť situáciu v cestnej premávke a uľahčiť riadenie vozidla. Na druhej strane je ale reálna možnosť, že sa nám vo vzdialenejšej budúcnosti zautomatizovať cestnú premávku naozaj podarí a vyriešime tak mnohé kľúčové problémy. Preto je dôležité aby svetové spoločnosti a univerzity aj naďalej vynakladali nemalé prostriedky na výskum v tejto oblasti.