

POREĐENJE SENZORSKIH SPOSOBNOSTI VOZAČA I VISOKO AUTOMATIZOVANIH VOZILA

Tihomir Đurić, email: drtihodj@gmail.com

Saobraćajni fakultet u Doboju, Republika Srpska

Vladan ĐURIĆ, email: vladandjuric92@gmail.com

D.O.O. „Interdom“ Banja Luka, Republika Srpska

Sažetak: Potpuno autonomna vozila obećavaju da će moći da zamjene vozača za većinu, ako ne i za sve situacije i scenarije u vožnji. Da bi se to uradilo efikasno, efektivno i bezbjedno, potrebno je mnoštvo senzora koji su povezani sa cjelokupnim autonomnim sistemom vozila (koji se takođe nazivaju i samo-vožnja ili bez vozača). Ne samo da je od suštinskog značaja da takva vozila tačno znaju gdje se nalaze u svijetu, ona moraju biti podjednako svjesna kao vozač upozoravajući o tome šta se fizički nalazi oko njih i šta se dešava oko njih. Ovo nije lak zadatak s obzirom na širok raspon fiksnih objekata (znakova, svjetlosnih stupova, zgrada, drveća, rasvjetnih tijela, itd.) i pokretnih objekata (vozila, bicikli, pješaci, životinje, itd.), drugi korisnici puta i pješaci, i uslovi okoline (posebno teški uslovi kao što su kiša, snijeg, magla, itd.). Dodavanje ovog izazova je činjenica da je većina iskusnih vozača razumno sposobna predvidjeti ponašanje drugih korisnika na putu i pješaka. Pored automatizovanih sistema za svakodnevna lakša putnička vozila, takvi sistemi se takođe planiraju ili trenutno razvijaju za druge glavne učesnike u saobraćaju, uključujući teška teretna vozila kao i usluge slične taksi vožnji. Da bi osjetili i usmjerili svoj put kroz svijet, autonomna vozila (AV) će koristiti različite senzore za ostvarivanje ovog zadatka, svaki sa svojim prednostima i nedostacima. Osim toga, određeni senzori se mogu koristiti za obavljanje više zadataka

Ključne reči: Autonomna vozila, okolina, vozač, bezbjednost saobraćaja.

COMPARISON OF DRIVING SENSORS ABILITIES AND HIGHLY AUTOMATED VEHICLES

Abstract: Fully autonomous vehicles promise to replace drivers for most, if not all driving situations and scenarios. To do this effectively, effectively and safely, many sensors are required that are connected to the entire autonomous vehicle system (also called self-driving or driverless). Not only is it essential that such vehicles know exactly where they are in the world, they must be equally aware as a driver by alerting them to what is physically around them and what is happening around them. This is not an easy task given the wide range of fixed objects (signs, light poles, buildings, trees, lighting, etc.) and moving objects (vehicles, bicycles, pedestrians, animals, etc.), other road users and pedestrians, and environmental conditions (especially severe conditions such as rain, snow, fog, etc.). Adding to this challenge is the fact that most experienced drivers are reasonably capable of predicting the behavior of other road users and pedestrians. In addition to automated systems for everyday passenger cars, such systems are also being planned or currently being developed for other major road users, including heavy goods vehicles and taxi-like services. To sense and direct their way through the world, autonomous vehicles (AVs) will use different sensors to accomplish this task, each with its advantages and disadvantages. In addition, certain sensors can be used to perform multiple tasks.

Keywords: Autonomous vehicles, environment, driver, traffic safety

UVOD

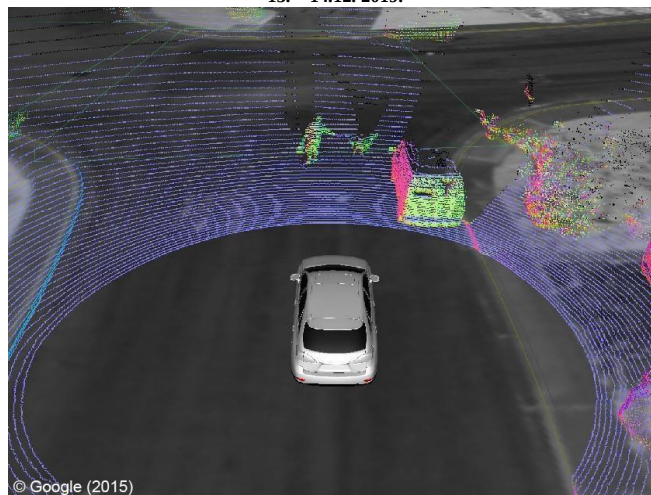
Potpuno autonomna vozila obećavaju da će moći da zamjene vozača za većinu, ako ne i za sve situacije i scenarije u vožnji (NHTSA, 2016). Da bi se to uradilo efikasno, efektivno i bezbjedno, potrebno je mnoštvo senzora koji su povezani sa cjelokupnim autonomnim sistemom vozila (koji se takođe nazivaju i samo-vožnja ili bez vozača). Ne samo da je od suštinskog značaja da takva vozila tačno znaju gdje se nalaze u svijetu, ona moraju biti podjednako svjesna kao vozač-čovjek upozoravajući (ali idealno, znatno više svjesna) o tome šta se fizički nalazi oko njih i šta se dešava oko njih. Ovo nije lak zadatak s obzirom na širok raspon fiksnih objekata (znakova, svjetlosnih stupova, zgrada, drveća, poštanskih sandučića, itd.) i pokretnih objekata (vozila, bicikli, pješaci, životinje, itd.), drugi korisnici puta i pješaci, i uslovi okoline (posebno teški uslovi kao što su kiša, snijeg, magla itd.). Dodavanje ovog izazova je činjenica da je većina iskusnih vozača razumno sposobna predvidjeti ponašanje drugih korisnika na putu i pješaka (Anthoni, 2016; Lee & Sheppard, 2016; MacAdam, 2003).¹³¹

Sa 35.092 poginulim na putevima u SAD-u u 2015. godini, i sa 94% nezgoda povezanih sa „ljudskim izborom ili greškom“ (NHTSA, 2016), implementacija sigurne, uspješne tehnologije automatskih vozila značajno će poboljšati bezbjednost na putevima SAD-a. Međutim, da bi se u potpunosti ostvarila značajna poboljšanja u bezbjednosti saobraćaja, vjerovatno će biti potrebna implementacija tehnologije samo-vožnje u svim oblicima drumskog transporta. Na primjer, u 2015. bilo je više od 12 miliona velikih kamiona i autobusa registrovanih u SAD-u, a ti tipovi vozila bili su uključeni u nezgode, što je rezultiralo sa 4.337 poginulih, ili oko 12% svih saobraćajnih nezgoda te godine (FMCSA, 2017).

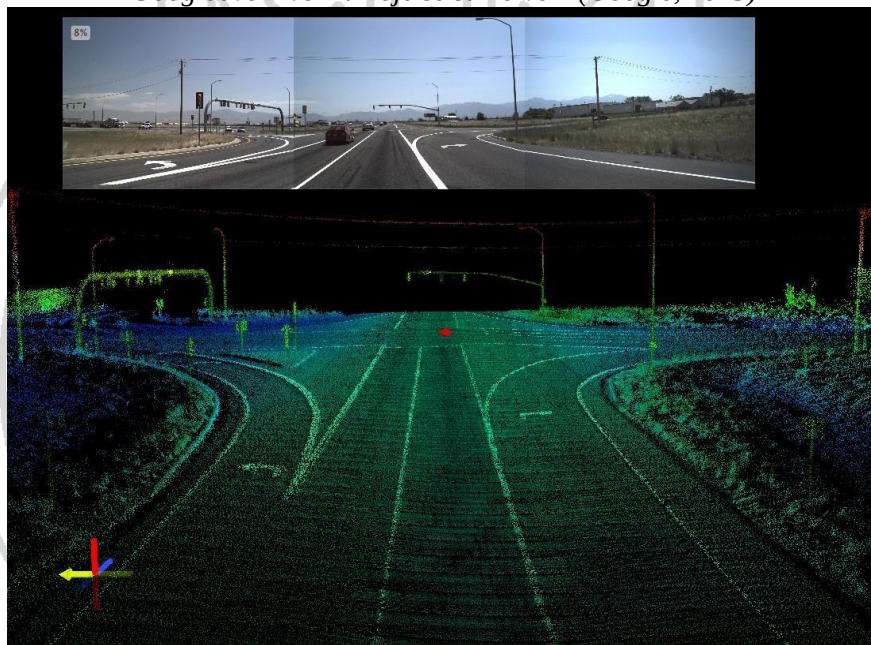
Pored automatizovanih sistema za svakodnevna lakša putnička vozila, takvi sistemi se takođe planiraju ili trenutno razvijaju za druge glavne učesnike u saobraćaju, uključujući teška teretna vozila (Daimler, 2017a; Freedman, 2017), autobuse (Daimler, 2017b; Valker, 2015), kao i usluge slične taksiji ili vožnji (Ohnsman, 2017). Da bi osjetili i usmjerili svoj put kroz svijet, autonomna vozila (AV) će koristiti različite senzore za ostvarivanje ovog zadatka, svaki sa svojim prednostima i nedostacima. Osim toga, određeni senzori se mogu koristiti za obavljanje više zadataka.

Na primjer, senzor se može koristiti i za otkrivanje objekata na putu i za 3D mapiranje okruženja kako bi se pomoglo u geolokaciji (Kent, 2015); Sistemi kamera mogu se koristiti kako za detekciju objekata na putu, tako i za identifikaciju trenutnih uslova okoline i kolovoza. Slike 1 i 2 prikazuju primere takvih dvostrukih primjena senzora; Slika 1 prikazuje detekciju nekoliko objekata na putu, dok na slici 2 prikazani su primjeri podataka iz nedavne aplikacije za mapiranje puta. Relativna važnost efektivnog uključivanja informacija iz svih raspoloživih senzora (fuzija senzora) kako bi se informisao proces donošenja odluka za AV-e samo će nastaviti da raste kako se takva vozila približavaju potpuno automatizovanom radu.

¹³¹ Fitts (1962): „Ako razumemo kako čovek obavlja funkciju, imaćemo na raspolaganju matematički model koji će nam verovatno omogućiti da napravimo fizički uređaj ili programiramo računar da obavlja funkciju na isti način (ili superiorni način). Nemogućnost da se napravi mašina koja će ispuniti zadatu funkciju, ili bolje od čoveka, jednostavno ukazuje na naše neznanje o odgovorima na fundamentalne psihološke probleme. ”



Slika 1. *Vozilo pješak, pas i parkirano vozilo, kako ga vidi senzor na Googleovom vozilu koje se samo vozi (Google, 2015)*



Slika 2. *Senzorska slika i odgovarajuća fotografska slika sakupljena kao dio programa za snimanje i inventarizaciju na putu, koji je naručio Utah DOT (Utah DOT, 2013).*

Ovaj izveštaj uključuje široko ispitivanje trenutnih sposobnosti detektovanja takvih vozila, kao i ljudi koje obećavaju da će ih zamjeniti. Napraviće se poređenje opštih mogućnosti i ograničenja performansi vozača-čovjeka, automatiziranih vozila (AV), povezanih vozila (CV) i povezanih automatiziranih vozila (CAV). Za potrebe diskusije u ovom izvještaju, automatizovana vozila mogu uključivati i vozila koja su upravljana ljudskim resursima i koja su podržana naprednim sistemima za pomoć vozaču (ADAS) koji rade na nivoima automatizacije 1 ili 2 NHTSA, kao i potpuno automatizovana vozila (tj. autonomni, bez vozača, samo-vožnja [Godsmark, 2017]) koji rade na nivou automatizacije 3 ili više.

Slika 3 predstavlja sažetak trenutnih nivoa automatizacije vozila, uključujući odgovarajuće nivoe potrebnog angažovanja vozača, dostupnu podršku vozača i ukupnu odgovornost za praćenje zadatka vožnje i upravljanje vozilom (prilagođeno, djelimično, od NHTSA, 2016). (Tehnologija povezanog vozila, o kojoj se kasnije govori u ovom izvještaju,

nije prikazana na slici 3 jer ne zahtijeva automatizaciju vozila, i kao takva se može primijeniti na vozila koja rade na bilo kojem nivou automatizacije.) Na osnovu nivoa automatizacije opisanih u Slika 3, efektivno i pouzdano očitavanje je važno za vozila niske kao nivo 1, i nesumnjivo se moraju usavršiti za vozila koja rade na nivoima 4 i 5, gdje vozač ne mora biti prisutan.

Nivo automatizacije	0	1	2	3	4	5
Opis:	Nije automatizovano	Pomoć vozaču	Djelomična automatizacija	Uvjerna automatizacija	Visoka automatizacija	Potpuna automatizacija
Angažovanje vozača:	Napredni sistemi pomoći vozaču (ADAS)			Samokada ili ako je čovjek vođen		
Podrška za vozača	Ljudski vozač			Automatizovani sistem		
Upravljač vozilom:	Ljudski vozač		Podijeljeno		Automatizovani sistem	

Slika 3. Sažetak trenutnih nivoa automatizacije vozila, uključujući odgovarajuće nivoe potrebnog angažovanja vozača, dostupnu podršku vozača i ukupnu odgovornost za praćenje zadatka vožnje i upravljanje vozilom (prilagođeno, delimično, od NHTSA, 2016).

Za sledeće tipove senzora biće ispitana poređenja karakteristika trenutnih performansi primarnih senzora potrebnih za omogućavanje rada vozila u svim uslovima u svim uslovima¹³²:

- Ljudske oči
- Radar
- Senzor
- Sistemi kamera
- Namjenske komunikacije kratkog dometa (DSRC) za povezana vozila

2. Zajednička ograničenja

Postoji nekoliko zajedničkih ograničenja koja utiču na svakog vozača ili tip vozila. Sledeća lista, iako nije iscrpna, identifikuje neka od najčešćih ograničenja performansi i povezanih uzroka:

- Ekstremni vremenski uslovi (jaka kiša, sneg ili magla): Smanjuje maksimalni opseg i kvalitet signala (oštrina, kontrast, prekomerna vizuelna buka) za ljudski vid, AV vizuelne sisteme (kamere, lidar) i DSRC transmisije (mada u manjoj meri).
- Prekomjerna prljavština ili fizičke prepreke (kao što su sneg ili led) na vozilu: ometa ili smanjuje maksimalni domet i kvalitet signala (oštrina, kontrast, fizička okluzija vidnog polja) za ljudski vid i sve osnovne AV senzore (kamere, lidar), radar).
- Tama ili slabo osvetljenje: Smanjuje maksimalni opseg i kvalitet signala (oštrina, kontrast, mogući odsjaj od spoljašnjih izvora svetlosti) za sisteme za ljudski vid i AV kamere.
- Velike fizičke prepreke (zgrade, teren, teška vegetacija, itd.): Ometa vidljivost za

¹³² Detaljna diskusija o tome kako svaki senzor fizički radi ili funkcije neće biti obuhvaćena ovim izveštajem. Ultrazvučni i drugi senzori kratkog dometa nisu uključeni u ovu analizu jer se gotovo isključivo koriste za primjene pri manjim brzinama, kao što je parkiranje, i nisu toliko kritične za siguran rad vozila pri umjerenim do visokim brzinama kao što su ovdje ispitani drugi senzori. Slično tome, iako je GPS integralni deo geolokacije za navigaciju, on nije senzor koji se primenjuje na diskusiju u ovom izveštaju.

ljudski vid i sve osnovne AV senzore (kamere, radar, lidar); neke prepreke takođe mogu smanjiti maksimalni opseg signala za DSRC.

- Gust saobraćaj: ometa ili smanjuje vidljivost za ljudski vid i sve osnovne AV senzore (kamere, radar, lidar); takođe može ometati efikasnu DSRC transmisiju uzrokovanu prevelikim količinama signala / poruka. (Međutim, ljudski vozači imaju ograničenu mogućnost da vide kroz prozore susjednih vozila.)

2.1. Relativne snage vozača-čovjeka i autonomnih vozila

Tema česte diskusije pri dizajniranju sistema koji kombinuje ljude i mašinu odnosi se na pitanje koji zadaci se najbolje obavljaju od koga (ljudski prema mašini). (Za potrebe ove diskusije, termin mašina takođe obuhvata kompjuterske sisteme i kombinovane kompjuterske / mehaničke sisteme kao što su automatizovana vozila.) Klasična analiza koju je Fitts (1951) dao u glavnim crtama o glavnim kategorijama snaga i slabosti za svaku stranu čovjeka odnos interakcije mašina (tj. idealna alokacija funkcije) (vidi takođe: Cummings, 2014; de Vinter & Dodou, 2014). Tabela 1 prikazuje rezime tzv. Fitts-ove liste (prilagođeno iz Cummingsa, 2014; de Vinter & Dodou, 2014).

Slično tome, svaki vozač ili tehnologija imaju jedinstvene prednosti i slabosti, a nijedan tip vozača ili vozila nije značajno superiorniji od svih drugih sistema. Sledeći podaci naglašavaju i opisuju glavne aspekte performansi i prednosti važnih senzora povezanih sa svakim vozačem ili tehnologijom.¹³³ Dok se posebna pažnja posvećuje lakim putničkim vozilima, automatizovana teška vozila koriste iste tipove senzora, sa generalno istim karakteristikama (Daimler, 2014).

Tabela 1. Sažetak Fitts-ove liste snaga i slabosti u različitim aspektima raspodjele funkcija između ljudi i mašina / računara (prilagođeno iz Cummings, 2014; de Vinter & Dodou, 2014).

Aspekt	Čovjek	Mašina/ računar
Ubrzanje	Relativno sporo	Brzo
Izlazna snaga	Relativno slaba, varijabilna kontrola	Velika snaga, glatka i precizna kontrola
Dosljednost	Promjenjiv, umor igra ulogu, pogotovo za visoko ponavljajuće i rutinske zadatke	Vrlo dosljedan i ponovljiv, posebno za zadatke koji zahtijevaju stalnu budnost
Obrada informacija	Općenito jedan kanal	Višekanalni, istovremeni radovi
Memorija	Najbolje za podsjećanje / razumijevanje načela i strategija, uz fleksibilnost i kreativnost kada je to potrebno, visok kapacitet dugoročne memorije	Najbolje za precizno, formalno povlačenje informacija, kao i za informacije koje zahtijevaju ograničen pristup, visok kapacitet kratkoročne memorije, mogućnost brisanja informacija nakon upotrebe

¹³³ Informacije u ovom odeljku izvedene su iz sledećih izvora: AASHTO (2001), Bhise (2012), Bosch (2009), Boice (2014), Continental (2017), CVEL (2017), Dickmann, et al. (2015), Falson (2014), Ford (2017), Hammerschmidt (2013), Hyundai (2016), Keenei (2011), Krok (2016), LeddarTech (2016), Lee & Lim (2013), McDonald (2015), NHTSA (2017c), NSC (2017), Ovslei i McGvin (2010), Pleskot (2016), de Ponte Muller (2017), Kuanergi (2015), RITA (2016), Rosenholtz, Li, & Nakano (2007), Schoettle & Flannagan (2011), Sivak, Schoettle, Reed, & Flannagan (2007) i Sommer, Eckhoff, & Dressler (2013). 5 Za ilustraciju ove tačke, uzmite u obzir da je najudaljenija meta koja je uglavnom vidljiva golom oku galaksija Andromeda, na udaljenosti od oko 2,5 miliona svetlosnih godina, ili otprilike 24 kvintiliona km (15 kvintiliona milja) (Burrell, 2007).

Rasudivanje	Induktivan i rukuje dvosmislenost dobro, relativno lako naučiti, spor, ali točne rezultate, s dobrim sposobnost ispravljanja pogrešaka	Dedukcijski i ne obrađuju dvosmislenost dobro, potencijalno teško ili sporo programa, brze i točne rezultate, uz siromašne ispravljanja pogrešaka sposobnosti
Osjećaji	Veliki, dinamički rasponi za svaki smisao, višenamjenski, sposobni primijeniti prosudbu, posebno na složene ili dvosmislene obrasce	Superiorno u mjerenju ili kvantificiranju signala, slabom prepoznavanju uzoraka (posebno za složene i / ili nejasne uzorke), sposobne detektirati nadražaje izvan ljudskih osjetilnih sposobnosti (npr. Infracrveno)
Percepcija	Bolje je rukovati visokom varijabilnošću ili alternativnim umačenjima ¹³⁴ , osjetljivim na djelovanje šumova signala ili gužve	Što je još gore kada se radi o visokoj varijabilnosti ili alternativnim tumačenjima, također su osjetljivi na djelovanje šumova signala ili gužve

2.2. Vozači

Oči

- Boja, stereo (binokularna) vizija sa percepcijom dubine
- Veliki, dinamički opseg
- Široko vidno polje, pokretno i horizontalno i vertikalno
- Vidno polje (horizontalno): ~ 120 ° za binokularni vid
- Opseg: Nema specifičnog ograničenja udaljenosti (uglavnom ograničeno kontrastom objekta i projektovanom veličinom na mrežnici); realno dnevno ograničenje od najmanje 1000 m (3280 ft) i realno ograničenje od 75 m (oko 250 stopa) u tipičnom američkom osvjetljenju kratkih svjetala (obe udaljenosti su primjenljive za pješaka ili objekat na kolovozu)
- Rezolucija: ~ 0.02 °

2.3. Autonomna vozila (AV)

Radar

- Tačne informacije o udaljenosti
- Relativno veliki domet
- Robusno u većini vremenskih uslova, može se sakriti ili zaštititi iza panela karoserije
- Imunitet na efekte iluminacije ili tame
- Fiksni cilj i vidno polje, ali sposobni da koriste više radarskih senzora po potrebi
- Vidno polje (horizontalno): ~ 15 ° (veliki domet) do ~ 90 ° (kratki domet)
- Raspon: ~ 250 m
- Rezolucija: ~ 0.5 ° do ~ 5 °

Senzor

- Precizne informacije o udaljenosti i veličini
- Može da uoči visok nivo detalja (oblik, veličina, itd.), Posebno za obližnje objekte i oznake traka

¹³⁴ Otuda i dalje efikasnost CAPTCHA izazova-odgovora kao mere bezbednosti za razlikovanje ljudi od računara (CAPTCHA, 2017)

- Korisno za detekciju objekata i mapiranje puta
- Imunitet na efekte iluminacije ili tame
- Fiksni cilj i vidno polje, ali sposobni da koriste više lidar senzora po potrebi (mada su neki lidarski sistemi sposobni za 360 ° unutar jednog komada opreme)
- Vidno polje (horizontalno): 360 ° (maksimalno)
- Domet: ~ 200 m
- Rezolucija: ~ 0.1

Sistemi kamera

- Moguća vizija boje (važno za prepoznavanje znakova i signala saobraćaja)
- Stereo vid kada koristite stereo, 3D ili vremenski let (TOF) sistem kamera
- Fiksni cilj i vidno polje, ali mogu koristiti više kamera po potrebi
- Vidno polje (horizontalno): ~ 45 ° do ~ 90 °
- Opseg: Nema specifičnog ograničenja udaljenosti (uglavnom ograničeno kontrastom objekta, projektovanom veličinom na senzoru kamere i žižnoj daljini fotoaparata), ali realni radni opsezi od ~ 150 m za monokularne sisteme i ~ 100 m (ili manje) za stereo sisteme su razumne aproksimacije
- Rezolucija: Velike razlike kod različitih tipova kamera i aplikacija

Povezana vozila (CV)

Namjenske komunikacije kratkog dometa (DSRC)

- Primjenjivo na vozila koja rade na bilo kojem nivou automatizacije
- Nema potrebe za vidnom linijom (omnidirekciona antena)
- Robustan u vremenskim uslovima
- Može da prima i šalje detaljne informacije
- Rezolucija: Dugi domet (~ 500 m) koji se može efektivno proširiti komunikacijom transportna infrastruktura pored ostalih vozila; međutim, jačina signala transmisije se smanjuju na osnovu zakona inverznog kvadrata (tj. jačina signala je obrnuto proporcionalno kvadratu udaljenosti od predajnika).
- Može da prenese buduće akcije ili planirane manevre (posebno za AV) na drugi saobraćaj, ublažavajući potrebu da drugi saobraćaj shvati i / ili predvidi šta će povezano vozilo uraditi.
- Može da prenese informacije o nedavno uočenim uslovima kolovoza, saobraćajnim uslovima, itd. drugim korisnicima na putu.
- U mogućnosti da komunicira sa drugim učesnicima u saobraćaju ili načinima transporta u međusobno povezanom DSRC sistemu (npr. Pešaci, vozovi itd.)

Tabela 2 rezimira ključne operativne karakteristike svakog senzora za vozila koja su upravljana ljudima, autonomna vozila (AV), povezana vozila (CV) i povezano autonomno vozilo (CAV). Prikazuje primjer (nacrtan u mjerilu) za različite senzore, s razumnim procjenama područja pokrivanja (vidno polje) i tipičnim radnim opsezima, i za vozilo koje pokreće čovjek, kao i za hipotetički AV. (Bliske tačke A-stuba prikazane za vozače nemaju određenu granicu dometa. Zbog veoma dugog raspona ljudske dnevne vizije, ona je isključena

iz dijagrama u ovom izvještaju.). Specifični raspored senzora se zasniva na kombinaciji objavljenih specifikacija i opisa najsavremenijih ADAS i AV konfiguracija¹³⁵.

Stvarne lokacije senzora, tipovi, opsezi i drugi aspekti potpune implementacije u stvarnom svetu AV mogu se razlikovati od onih prikazanih ovde. Kao takve, specifikacije ilustruju jedan mogući primjer, i treba ih tretirati samo kao aproksimacije. Iako razumne parametre performansi za AV senzore, specifične konstrukcije senzora i implementacije će u konačnom slučaju odrediti parametre performansi za određenu AV u stvarnom svijetu. Ilustruje omnidirekcionni, prošireni opseg koji se dobija dodavanjem DSRC-a za povezano autonomno vozilo (CAV) koji koristi DSRC za dopunu senzorskog paketa koji koristi AV-samo funkcije. Vozila prikazana na slikama u ovom izveštaju odgovaraju prosječnoj američkoj limuzini, dužine oko 5 m, širine 1,9 m (dužine oko 200 inča i širine 75 inča).

Tabela 2. Rezime ključnih operativnih karakteristika svakog senzora koji se odnose na autonomna vozila. (Sažetak performansi AV senzora prilagođen, djelimično, iz VCP-a, 2016.)

Aspekt performansi	Čovjek	AV			CV	CAV
		Radar	Senzor	Kamera	DSRC	CV+AV
Otkrivanje objekata	Dobro	Dobro	Dobro	Srednje	Nije primjenjivo	Dobro
Klasifikacija objekata	Dobro	Slabo	Srednje	Dobro	Nije primjenjivo	Dobro
Procjena udaljenosti	Srednje	Dobro	Dobro	Srednje	Dobro	Dobro
Detekcija ivica	Dobro	Slabo	Dobro	Dobro	Nije primjenjivo	Dobro
Praćenje trake	Dobro	Slabo	Slabo	Dobro	Nije primjenjivo	Dobro
Opseg vidljivosti	Dobro	Dobro	Srednje	Srednje	Dobro	Dobro
Loše vrijeme	Srednje	Dobro	Srednje	Slabo	Dobro	Dobro
Tamne ili niske performanse osvetljenja	Slabo	Dobro	Dobro	Srednje	Nije primjenjivo	Dobro
Sposobnost komunikacije sa ostalim saobraćajem i infrastrukturom	Slabo	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo	Dobro	Dobro

3. Zaključak

Ovaj rad analizirao je i uporedio osetljive sposobnosti vozača-čovjeka i visoko automatizovanih vozila. Ključni nalazi iz ovog rada su:

- Mašine / kompjuteri su uglavnom dobro prilagođeni za obavljanje poslova kao što su vožnja, posebno u pogledu vremena reakcije (brzine), izlazne snage i kontrole, konzistentnosti (posebno za zadatke koji zahtijevaju stalnu budnost) i višekanalne obrade informacija.

¹³⁵ Specifična primena koja je ilustrovana u ovom izveštaju, iako nije identična, veoma je slična onoj u istraživačkom autonomnom vozilu Mercedes-Benz S-klase poznatom kao Bertha (Dickmann, et al.)

- Na malim brzinama, AV performanse u degradiranim uslovima mogu u stvarnosti premašiti performanse čovjeka i vozača u idealnim uslovima.
- Vozači i dalje generalno održavaju prednost u smislu rasuđivanja, percepcije i osjećaja prilikom vožnje.
- Odgovarajuće (ili prekoračujuće) sposobnosti ljudskog senzora zahtjevaju od AV-a da koriste različite senzore, što zauzvrat zahtjeva potpunu fuziju senzora kroz sistem, kombinujući sve senzorske ulaze da bi se stvorio jedinstven pogled na okolni put i okolinu.
- Iako nijedan senzor nije u potpunosti jednak sposobnostima ljudskog senzora, neke mogućnosti ponude nisu moguće za ljudskog vozača (npr. Precizno mjerenje udaljenosti sa lidar-radarom, gledajući kroz vremenske uslove sa radarima).
- Integracija tehnologije povezanog vozila (CV) (npr. DSRC) proširuje efektivni domet i područje pokrivanja i vozila i AV-vozila, sa dužim radnim opsegom i omnidirekcionalnom komunikacijom koja ne zahtjeva neometanu liniju vida drajveri i AV obično rade.
- Kombinujući vozila koja upravljaju ljudi ili AV koji mogu da “vide” saobraćaj i njihovu okolinu sa biografijama koje mogu da “razgovaraju” sa drugim saobraćajem i njihovim okruženjem, maksimalno povećavaju potencijalnu svjest korisnika drugih puteva i uslova na putu.
- AV senzor će i dalje biti kritičan za otkrivanje bilo kojeg korisnika puta ili prepreke na putu koji nije dio međusobno povezanih DSRC sistema (kao što su kućni ljubimci, divlje životinje, ispušteni teret, oborena drveća itd.).
- Potpuno implementirano povezano autonomno vozilo (CAV) nudi najbolji potencijal za efektivnu i sigurnu zamjenu vozača-čovjeka prilikom upravljanja vozilima na nivoima automatizacije 4 i 5.

4. Literatura

- [1] Daimler. (2014). *World premiere for the traffic system of tomorrow – more efficient, safer, networked – and autonomous*. Available at: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/en/9905075>
- [2] Daimler. (2017a). *The auto pilot for trucks*. Available at: <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/special/technology-trucks.html>
- [3] Daimler. (2017b). *The Mercedes-Benz future bus*. Available at: <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/future-bus.html>
- [4] Dickmann, J., Appenrodt, N., Klappstein, J., Bloecher, H.-L., Muntzinger, M., Sailer, A., Hahn, M., & Brenk, C. (2015). Making Bertha see even more: Radar contribution. *IEEE Access*, 3, 1233-1247. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7161279/>
- [5] Falson, A. (2014, November 19). *Mercedes-Benz steps up autonomous vehicle technology*. Available at: <http://performancedrive.com.au/mercedes-benz-steps-autonomous-vehicle-technology-1913/>
- [6] Fitts, P. M. (Ed.). (1951). *Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system*. Washington, D.C.: National Research Council.

- [7] Fitts, P. M. (1962). Functions of man in complex systems. *Aerospace Engineering*, 21, 34-39. FMCSA [Federal Motor Carrier Safety Administration]. (2017). *Large truck and bus crash facts*
- [8] 2015. Available at: <https://www.fmcsa.dot.gov/safety/data-and-statistics/large-truck-and-bus-crash-facts-2015#A3>
- [9] Ford. (2017). *Further with Ford*. Available at: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2016/09/12/further-with-ford.html>
- [10] Freedman, D. H. (2017). *Self-driving trucks*. Available at: <https://www.technologyreview.com/s/603493/10-breakthrough-technologies-2017-self-driving-trucks/>
- [11] Godsmark, P. (2017, February 24). *Driverless, autonomous, self-driving... naming a baby is easier than naming new car tech*. <https://www.driverless.id/news/driverless-autonomous-self-driving-naming-baby-is-easier-than-naming-new-car-tech-0175495/>
- [12] Google (2015). *Google self-driving car project monthly report, July 2015*. Available at: <https://www.google.com/selfdrivingcar/files/reports/report-0715.pdf>
- [13] Greibe, P. (2007). *Braking distance, friction and behaviour*. Available at: <http://www.trafitec.dk/sites/default/files/publications/braking%20distance%20-%20friction%20and%20driver%20behaviour.pdf>
- [14] %20friction%20and%20driver%20behaviour.pdf
- [15] Hammerschmidt, C. (2013, September 11). *Daimler, KIT send autonomous vehicle on historic course*. Available at: <http://www.eenewsautomotive.com/news/daimler-kit-send-autonomous-vehicle-historic-course>
- [16] NHTSA [National Highway Traffic Safety Administration]. (2016). *Federal automated vehicles policy*. Available at: https://one.nhtsa.gov/nhtsa/av/pdf/Federal_Automated_Vehicles_Policy.pdf
- [17] NHTSA [National Highway Traffic Safety Administration]. (2017a). *Fatality Analysis Reporting System (FARS) encyclopedia*. Available at: <http://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx>
- [18] <http://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx>
- [19] NHTSA [National Highway Traffic Safety Administration]. (2017b). *ODI resume. Automatic vehicle control systems*. Available at: <https://static.nhtsa.gov/odi/inv/2016/INCLA-PE16007-7876.PDF>
- [20] NHTSA [National Highway Traffic Safety Administration]. (2017c). *Vehicle-to-vehicle communications*. Available at: <https://www.safercar.gov/v2v/index.html>
- [21] NSC [National Safety Council]. (2017). *The most dangerous time to drive*. Available at: <http://www.nsc.org/learn/safety-knowledge/Pages/news-and-resources-driving-at-night.aspx>
- [22] Ohnsman, A. (2017, May 14). *Waymo forges driverless car tech tie-up with Lyft amid its legal battle with Uber*. Available at: <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/05/14/waymo-forges-driverless-car-tech-tie-up-with-lyft-amid-its-legal-battle-with-uber/#4486bc126594>
- [23] Olson, P. L. & Sivak, M. (1986). Perception-response time to unexpected roadway hazards.
- [24] *Human Factors*, 28(1), 91-96. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/001872088602800110>
- [25] Owsley, C. & McGwin, G., Jr. (2010). Vision and driving. *Vision Research*, 50(23), 2348-2361.

- [26] Pleskot, K. (2016, November 16). *Hyundai Ioniq autonomous concept debuts hidden lidar system in L.A.* Available at: <http://www.motortrend.com/news/hyundai-ioniq-autonomous-concept-debuts-hidden-lidar-system-in-l-a/>
- [27] de Ponte Müller, F. (2017). Survey on ranging sensors and cooperative techniques for relative positioning of vehicles. *Sensors*, 17, 271-287. Available at:
[28] <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/2/271>
- [29] Popa, B. (2012, July 28). *Gentlemen's agreement: Not so fast, sir!* Available at: <https://www.autoevolution.com/news/gentlemens-agreement-not-so-fast-sir-47736.html>
- [30] Quanergy. (2015). *360° 3D LIDAR M8-1 sensor*. Available at: http://www.lidarus.com/uploads/5/4/1/5/54154851/quanergy_m8-1_lidar_datasheet_v4.0.pdf
- [31] RITA [Research and Innovative Technology Administration]. (2016). *Dedicated short-range communications (DSRC)*. Available at: <https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/JPO>

