

Uporabnik ima vedno prav: uporabniška izkušnja, zaznana uporabnost in voznikove želje o zaslonih v pogojno avtomatiziranih vozilih

Kristina Stojmenova¹, Gregor Strle^{1,2}, Jaka Sodnik¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

²Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Novi trg 3, 1000 Ljubljana

E-pošta: {kristina.stojmenova; gregor.strle; jaka.sodnik}@naslov.com

The user is always right: User experience, perceived usability and driver's preferences on head-up displays in semi-automated vehicles

Abstract. This study aimed to identify which information should be displayed on a head-up display (PZ) in semi-automated vehicles. It further explored how to present such information in order to achieve better user experience and perceived usability. Four visual head-up display interfaces were developed differentiating in the amount, frequency and mode of visual information presentation (two-dimensional vs. augmented reality), and implemented in a simulated semi-automated vehicle. The obtained results suggest that two-dimensional and augmented reality displays evoke similar user experience and usability. Furthermore, drivers would like to see information, such as speed, over speeding, and warnings about driving with too short distance during the manual operation of a semi-automated vehicle.

1 Uvod

Projekcijski zaslon (PZ) ali dovidnik (ang. Head-up zaslon (PZ)) je vrsta vmesnika, ki v vozilu prikazuje različne informacije kot vizualne znake na vetrobranskem steklu. Klasični dvodimenzionalni (2D) PZ prikazuje informacije na fiksnem položaju vetrobranskega stekla (fiksna žariščna točka). S prekrivanjem vizualnih znakov na različnih položajih in z različnimi goriščnimi razdaljami lahko prikazuje informacije na razpršen način, kar ustvari občutek obogatene resničnosti (OR). S predstavljanjem informacij v voznikovem vidnem polju PZ-ji zmanjšajo potrebo po umiku pogleda stran s ceste in na ta način lahko zmanjšajo vizualne motnje voznika, izboljšajo sposobnost odločanja in prispevajo k večji varnosti na cesti [1][2]. Vizualne informacije v PZ-ih postajajo vse bolj kompleksne, kar predstavlja velik načrtovalski izziv. Povečana vizualna kompleksnost lahko negativno vpliva na voznikove odzive, kar je lahko škodljivo v kritičnih voznih situacijah povezanih z varnostjo [3][4].

Učinki vizualnih projekcij na PZ so odvisni od vrste, kompleksnosti in vizualne razporeditve grafičnih elementov v tovrstnem vmesniku (2D ali OR). Čeprav naj bi bil v pomoč, slabo zasnovan PZ lahko negativno

vpliva tako na vozniško sposobnost in varnost vožnje. Posledično so številne študije poskušale priti do ugotovitve, kako pristopiti k načrtovanju PZ in predlagati najbolj učinkovito metodo (npr. [3][4][5][6]). Medtem, ko se učinek PZ-jev na vozniško zmogljivost in varnost vožnje pogosto šteje za najpomembnejšega, je za celostno razumevanje PZ-jev in njihove uporabe v resničnem svetu potrebno tudi razumeti "kako oblikovati PZ, da bo najbolje služil vozniku« [7]: str. 1936]. V zvezi s tem je anketa med uporabniki z bogatimi izkušnjami s PZ preučila različne vidike uporabniške izkušnje in predloge potrebnih izboljšav obstoječih komercialnih PZ [7]. Rezultati so pokazali, da so varnostni elementi (hitrost, omejitev hitrosti, tempomat, prometni znaki) in navigacijske informacije prikazane v PZ v pomoč pri vožnji vsem, predvsem upoštevanju omejitev hitrosti. Želje in predlogi uporabnikov glede informacij, ki naj bi bile prikazane v PZ pa so bile precej različne in odvisne od osebnih preferenc in voznega okolja.

Pretekle študije so preučevale predvsem različne vidike učinkov PZ-jev na vedenje uporabnikov, vključno s pozitivnimi in negativnimi učinki kompleksnosti vizualnih informacij v njih. Precej manj pa je znanega o uporabniški izkušnji z avtomobilskimi PZ-ji. Namen te študije je zapolniti to vrzel in ugotoviti, kateri so najbolj ključni elementi, ki jih je treba upoštevati pri oblikovanju vizualnih PZ za doseganje najboljših uporabniških izkušenj in zaznane uporabnosti ob upoštevanju voznikovih želja pri razvoju vmesnikov za pogojno avtomatizirana vozila.

2 Metodologija

Študija je bila izvedena v simuliranem voznem okolju, sestavljenem iz premičnega simulatorja vožnje [7] s pravimi avtomobilskimi deli (sedež, volan in pedala) in fizično armaturno ploščo. Vizualizacija voznega okolja je bila prikazana na treh 49-palčnih ukrivljenih televizorjih, ki zagotavljajo 145° vidnega polja. Scenarij vožnje je bil razvit v SCANeR Studio **Error! Reference source not found.** Predstavljal je 13 km dolgo simulirano pot od predmestja do središča mesta.

V raziskavi je sodelovalo 30 udeležencev (16 moških), starih od 23 do 55 let ($M=36,767$, $SD=8,891$) z voznikiškimi izkušnjami od 1 do 36 let ($M=17,200$, $SD=8,856$). Sodelovanje v raziskavi je bilo prostovoljno, udeleženci pa so lahko sodelovanje v

raziskavi kadar koli prekinili. V zahvalo za sodelovanje so udeleženci prejeli darilni bon v vrednosti 10 €.

2.1 Uporabniški vmesniki

Za izvedbo študije smo razvili in implementirali štiri različice PZ. PZ-je smo v simulator implementirali kot nadgradnjo privzetega modula SCANeR VISUAL. Ikone, uporabljene v različicah PZ, so bile oblikovane in narisane v Adobe Illustratorju.

Da bi raziskali *kako* predstaviti vizualne informacije smo zasnovali naslednji dve različici:

- 2D PZ kot polprozorno projekcijo s fiksno pozicijo na vetrobranskem steklu nad volanom, in

- OR PZ, ki je združeval projekcije elementov na fiksni poziciji na vetrobranskem steklu nad volanom in projekcije elementov neposredno v voznem okolju (npr. označevanje prometnih znakov z zelenimi okvirji).

Da bi raziskali, *katere* vizualne informacije naj prikazuje PZ, smo zasnovali po dve različici 2D in OR PZ-jev, ki sta se razlikovali v količini in pogostosti prikazovanju informacij:

- 2D MIN PZ in OR MIN PZ, ki sta prikazovali: omejitev hitrosti ob vsakem križišču, prometnih znakov v smeri vožnje, navigacijo, trenutno stopnjo avtomatizacije vozila (ročna ali avtonomna), razpoložljive/aktivne napredne asistenčne sisteme (ang. Advanced Driving Assist Systems (ADAS)) in kratka sporočila, ter

- 2D MAX PZ in OR MAX PZ, ki sta prikazovali vse informacije, ki sta jih prikazovali različici MIN PZ in dodatne informacije, kot so trenutna omejitev hitrosti čez celotno vožnjo, hitrosti vozila, prehitro vožnjo (nad dovoljeno omejitvijo), razdaljo do spredaj vozečega vozila in prekratko varnostno razdaljo (na osnovi pravila dveh sekund).

Vse štiri različice PZ so prikazane na video posnetku, ki je na voljo na spodnji povezavi:

<https://www.youtube.com/watch?v=mjaS0d70mj4&t=5s>

2.2 Potek poskusa

Za vse poskuse smo uporabili simulirano pogojno avtomatizirano vozilo s tretjo stopnjo avtomatizacije (po definiciji Društva avtomobilskih inženirjev [10]). Udeleženci so bili obveščeni, kdaj bo avtomatizirana vožnja na voljo, z vnaprej posnetim glasovnim sporočilom, ki jim je velelo naj vklopijo sistem avtomatizirane vožnje (ang. Automated Driving System (ADS)). ADS je bilo mogoče vklopiti s pritiskom na gumb na spodnji levi ročici volana. Ko ADS ni bil več na voljo, so udeleženci prejeli vizualno in zvočno zahtevo za prevzem nadzora in sicer 5 sekund pred avtomatskih izklopom ADS. Vizualno obvestilo je bilo prikazano z besedo »Prevzemi« (ang. Takeover), ki jo je spremljal vizualni odštevalnik od 5 do 0. Zvočno obvestilo je predstavljal 4 kHz ton [20] z jakostjo 65 dB, ki se je predvajal od začetka prikaza obvestila do voznikovega prevzema. Udeleženci so lahko prevzeli nadzor nad vozilom s pritiskom na stopalko za zavoro

ali plin za najmanj 40 N, zasukom volana za najmanj 6° ali s pritiskom na gumb ADS na levi spodnji ročici volana.

Glavna naloga udeležencev je bila varno priti do cilja, kamor jih je vodil navigacijski sistem, ki je bil del PZ-jev. V času aktivirane avtomatizirane vožnje je bilo udeležencem naročeno, naj igrajo računsko igrico na mobilnem telefonu. Igrica je predstavljala z vožnjo nepovezano aktivnost, podobno kot se pričakuje od voznikov pogojno avtomatiziranih vozil v prihodnosti in v realnem prometu. Rezultatov igrice, kot sekundarne naloge, nismo beležili.

Vsak udeleženec je opravil vse štiri preizkuse in sicer po enega z vsakim PZ-jem. Vrstni red poskusov je bil naključen.

V študiji smo opazovali dve glavni neodvisni spremenljivki:

- Količina informacij: PZ MIN in PZ MAX ter
- Način podajanja informacij: 2D PZ in OR PZ.

Odvise spremenljivke so bile:

- uporabniška izkušnja, ocenjena z vprašalnikom UEQ (User-Experience Questionnaire (UEQ)) [11],
- uporabnost, ocenjena z lestvico SUS (System Usability Scale (SUS)) [12],
- uporabnikove osebne preference, zbrane z vprašalnikom PPQ (Personal Preference Questionnaire (PPQ)), ki je bil pripravljen za to študijo.

Za vse tri vprašalnike je bila uporabljena 7-stopenjska Likertova lestvica v razponu od 1 – sploh se ne strinjam do 7 – popolnoma se strinjam. Na tej lestvici se lahko vrednosti od 1 do 3 obravnavajo kot negativne ocene, vrednost 4 kot nevtralna in vrednosti od 5 do 7 kot pozitivne ocene. Vprašalnika UEQ in SUS sta bila izpolnjena po vsakem poskusu z drugačnim vmesnikom, medtem ko je bil PPQ izpolnjen po zaključku obeh poskusov z vmesnikoma 2D PZ ali OR PZ. V vsakem vprašalniku so bili udeleženci pozvani, da ocenijo zaznano uporabnost/uporabnost/preferenco s PZ v pogojno avtomatiziranim vozilu.

Vprašalnik UEQ je sestavljen iz 26 vprašanj, ki se uporabljajo za oceno šestih vidikov uporabniške izkušnje – privlačnost, preglednost, učinkovitost, zanesljivost, stimulacijo in novost. Lestvica rezultatov UEQ se giblje od -3 (grozljivo slabo) do 3 (izjemno dobro). Vendar avtorji vprašalnika navajajo, da ker rezultati predstavljajo izračune povprečij, je zelo malo verjetno, da bi dobili rezultate nad 2 ali pod -2. Vrednosti med -0,8 in 0,8 veljajo za nevtralne, medtem ko ocene nad 0,8 predstavljajo pozitivno, ocene pod -0,8 pa negativno oceno uporabniške izkušnje.

Vprašalnik SUS je sestavljen iz 10 vprašanj, ki se uporabljajo za oceno uporabnosti ocenjevanega sistema. Rezultat SUS je ena številka med 0 do 100, pri čemer je rezultat 68 določen kot razločevalna meja – rezultat pod 68 pomeni podpovprečno, medtem ko rezultat nad 68 pomeni nadpovprečno uporabnost.

PPQ je udeležence pozval, naj ocenijo pomembnost prikaza določene informacije na PZ med vožnjo v pogojno avtomatiziranim vozilu. Ta vprašalnik je bil v

glavnem namenjen zbiranju podatkov, s katerimi smo želeli zajeti preference voznikov glede vizualnih informacij, ki naj se prikažejo v pogojno avtomatiziranem vozilu.

3 Rezultati

Podatke smo analizirali s primerjavo naslednjih skupin:

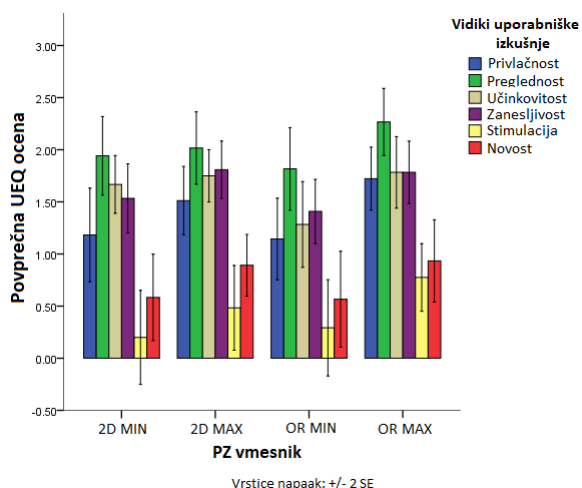
- 2D MIN proti 2D MAX,
- OR MIN proti OR MAX,
- 2D MIN proti OR MIN in
- 2D MAX proti OR MAX.

Uporabili smo linearni model za analizo varianc ponovljenih meritev z Bonferronijevim post hoc testom (uporabljena je bila Bonferronijeva prilagoditev za večkratne primerjave). Varianco smo preverjali z Levenovim testom, Shapiro-Wilkov test pa smo uporabili za preverjanje normalnosti porazdelitve vsake skupine podatkov. Za oceno sferičnosti smo uporabili Mauchlyjev test, pri izračunu p-vrednosti pa smo prostostne stopnje v primeru kršitve prilagodili s popravkom Greenhouse-Geisser.

Za vse tri vprašalnike je bila torej uporabljena 7-stopenjska Likertova lestvica, pri čemer smo za potrebe vizualnega prikaza rezultatov vprašalnikov odšteli negativne od pozitivnih rezultatov in dobili ocene med 0 in 3.

3.1 Uporabniška izkušnja

Rezultati UEQ so pokazali, da so bili vsi štirje PZ-ji v povprečju ocenjeni pozitivno glede na zaznano uporabniško izkušnjo (Slika 1). Najboljši rezultati so bili doseženi pri vidikih pragmatične kakovosti: preglednost, učinkovitost in zanesljivost. Najnižje ocene so bile dosežene za stimulacijo, ki je edini vidik UEQ, za katerega so bili PZ-ji ocenjeni nevtralno (niti pozitivno niti negativno).



Slika 1. Rezultati UEQ za vsako različico PZ

Statistično značilne razlike med opazovanimi vidiki UEQ so bile ugotovljene pri privlačnosti ($F(2,234, 64,779) = 6,927, p = 0,001$), učinkovitosti ($F(2,308, 66,924) = 3,602, p = 0,027$), zanesljivosti ($F(1,503, 65,834) = 3,133, p = 0,440$) in stimulaciji ($F(3,000, 87,000) = 4,286, p = 0,007$). Post-hoc testi so pokazali,

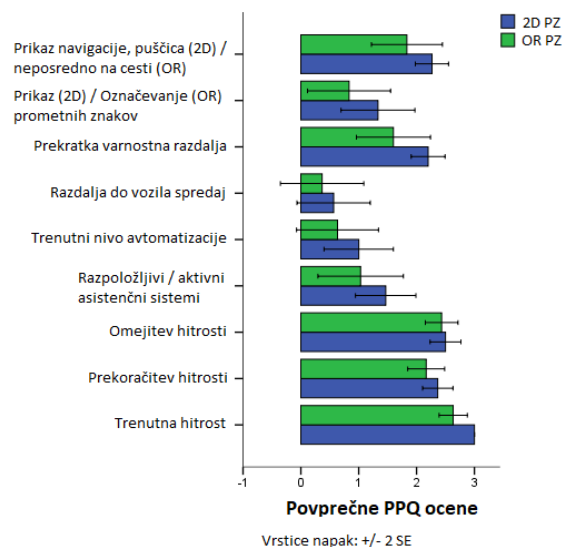
da je bil OR MAX PZ bolj privlačen ($p < 0,001$) in učinkovit ($p < 0,05$) in je zagotavljal večjo zanesljivost ($p < 0,05$) ter izzval boljše stimulacijo ($p < 0,05$) v primerjavi s OR MIN PZ. Drugih statistično pomembnih razlik med PZ-jev ni bilo.

3.2 Uporabnost

Rezultati SUS so pokazali, da so bili vsi štirje PZ-ji ocenjeni z oceno nad 68, kar na podlagi SUS [12] kaže na nadpovprečno zaznano uporabnost: $SUS_{2DMIN} = 78,5$, $SUS_{2DMAX} = 86,06$, $SUS_{ORMIN} = 79,72$, $SUS_{ORMAX} = 85,17$. Primerjalna analiza je pokazala, da obstajajo statistično pomembne razlike v zaznani uporabnosti med štirimi primerjanimi PZ-ji, ($F(2,343, 67,960) = 3,621, p = 0,026$). Post-hoc test je pokazal, da so bile te razlike statistično pomembne med vmesnikoma OR MIN in OR MAX ($p = 0,019$), kjer so udeleženci navedli boljše zaznavo uporabnosti za MAX PZ.

3.3 Uporabnikove preference

Slika 2 prikazuje povprečne ocene posameznega elementa v 2D PZ in OR PZ. Rezultati so razkrili statistično pomembne razlike med ocenami informacij, s katerimi so testiranci ocenjevali kaj naj bo prikazano v 2D PZ ($F(4,396, 127,482) = 15,491, p < 0,001$) in OR PZ ($F(25,403, 3,739) = 6,794, p < 0,001$).



Slika 2. Ocene PPQ o tem, za katere informacije uporabniki menijo, da jih je treba vizualno prikazati na PZ-ju v pogojno avtomatiziranem vozilu

Za informacije predstavljene v 2D je bila hitrost vozila ocenjena kot najbolj pomembna informacija za prikaz na PZ-ju. Ocena je bila statistično pomembno višja od vseh ostalih informacij ($p < 0,05$). Višje ocene (nad 1,5 ali več kot 50 %) so bile zaznane tudi pri informacijah o prekoračitvi hitrosti, omejitvi hitrosti, prekratki razdalji do spredaj vozečega vozila in za prikaz navigacijskih znakov. Najmanj želene informacije so bile razdalja do spredaj vozečega vozila, stopnja avtomatizacije vozila, razpoložljivi/aktivni ADAS in prikaz okoliških prometnih znakov.

Podobno kot pri 2D so bile tudi pri informacijah predstavljenih v OR ugotovljene višje ocene (nad 1,5) za hitrost vozila, vožnjo preko dovoljene omejitve, omejitev hitrosti, prekratko razdaljo do spredaj vozečega vozila in prikaz navodil za navigacijo. Najmanj zelene informacije so bile razdalja do spredaj vozečega vozila, stopnja avtomatizacije vozila, trenutno razpoložljivi/aktivni ADAS in označevanje okoliških prometnih znakov. Skupni rezultati preferenc za iste informacije so bili nižji za predstavitev v OR v primerjavi z 2D, vendar te razlike niso bile statistično pomembne.

4 Razprava

Da bi ugotovili, kako prikazovati informacije voznikom pogojno avtomatiziranih vozil, smo primerjali različice PZ, ki so prikazovale enako količino informacij, vendar so se razlikovale v načinu prikaza (2D ali OR). Neposredne primerjave niso pokazale nobenih statistično pomembnih razlik med 2D PZ in OR PZ pri nobeni od opazovanih spremenljivk. To nakazuje, da oba načina vizualne predstavitve nudita podobno uporabniško izkušnjo in zaznano uporabnost.

Vse predstavljene informacije v PZ-ih so dobile (povprečne) pozitivne ocene pri PPQ, kar nakazuje, da je bil naš izbor informacij prepoznan kot primeren za PZ-je v pogojno avtomatiziranih vozilih. Rezultati za vsako informacijo so se različno gibali znotraj lestvice od 0 do 3. Če je povprečna lestvica nastavljena na 50 % (tj. ocene nad 1,5), rezultati PPQ nakazujejo, da bi vozniki želeli videti na PZ informacije o hitrosti vozila, omejitvi hitrosti, opozorilu o vožnji čez omejitev hitrosti, opozorilo o vožnji s prekratko razdaljo do spredaj vozečega vozila ter prikaz navigacije. Glede na to, da je PPQ uporabljal enako Likertovo lestvico in metodo za izračun rezultatov kot UEQ, je mogoče dobljene rezultate PPQ alternativno interpretirati tudi z uporabo definicije rezultatov UEQ, ki pravi, da se vrednosti med -0,8 in 0,8 obravnavajo kot nevtralne, medtem ko so rezultati nad 0,8 pozitivni. Iz tega vidika bi lahko sklepali, da bi moral PZ v pogojno avtomatiziranem vozilu poleg zgoraj navedenih petih informacij vsebovati tudi informacije o razpoložljivosti oz. statusa ADAS in prikaz okoliških prometnih znakov. Želja po več informacijah na PZ je v skladu tudi z ocenami uporabniške izkušnje in uporabnosti, ki so bile na splošno višje za MAX različice v primerjavi z različicami MIN. Te razlike (v količini informacij) so bile sicer statistično značilne samo za OR MAX PZ v primerjavi z OR MIN PZ. Večje število informacij bi potentakem morali prikazovati le, kadar PZ omogoča OR, kar je v skladu tudi z ugotovitvami preteklih študij Ma et al. (2021).

Zahvala

Ta študija je bila delno financirana s strani ARRS v okviru projekta Modeliranje voznikovega situacijskega zavedanja Z2-3204. Študija je bila delno financirana

tudi s projektom HADRIAN. Projekt HADRIAN je prejel sredstva iz programa Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020 na podlagi sporazuma o nepovratnih sredstvih št. 875597.

Ta dokument odraža le mnenja avtorjev. Izvajalska agencija za inovacije in omrežja (INEA) ni odgovorna za kakršno koli uporabo informacij, ki jih vsebuje.

Literatura

- [1] Ablassmeier, M., McGlaun, G., & Rigoll, G. (2005). Evaluating the potential of head-up displays for a multimodal interaction concept in the automotive environment. *WMSCI 2005 - The 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings, 10*(March 2000), 238–241.
- [2] Riegler, A., Riener, A., & Holzmann, C. (2021a). Augmented Reality for Future Mobility: Insights from a Literature Review and HCI Workshop. *I-Com, 20*(3), 295–318.
- [3] Park, J., & Park, W. (2019). A Review on the Interface Design of Automotive Head-Up Displays for Communicating Safety-Related Information. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 63*(1), 2016–2017.
- [4] Currano, R., Park, S. Y., Moore, D., Lyons, K., & Sirkin, D. (2021). Little road driving hud: Heads-up display complexity influences drivers' perceptions of automated vehicles. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*.
- [5] Blissling, B., Bruzelius, F., & Eriksson, O. (2019). Driver behavior in mixed and virtual reality – A comparative study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 61*, 229–237.
- [6] Jing, C., Shang, C., Yu, D., Chen, Y., & Zhi, J. (2022). The impact of different AR-HUD virtual warning interfaces on the takeover performance and visual characteristics of autonomous vehicles. *Traffic Injury Prevention, 1–6*.
- [7] Beck, D., Jung, J., Park, J., & Park, W. (2019). A Study on User Experience of Automotive HUD Systems: Contexts of Information Use and User-Perceived Design Improvement Points. *International Journal of Human-Computer Interaction, 35*(20), 1936–1946.
- [8] Vengust, M., Kaluža, B., Stojmenova, K., & Sodnik, J. (2017, September). NERVteh compact motion based driving simulator. In *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct* (pp. 242-243).
- [9] AVSimulation. SCANer studio. Available at: <https://www.avsimulation.com/scanerstudio/>.
- [10] SAE, T. (2016). Definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE Standard J, 3016*, 2016.
- [11] Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008, November). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In *Symposium of the Austrian HCI and usability engineering group* (pp. 63-76). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [12] Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction, 24*(6), 574-594.
- [13] Ma, X., Jia, M., Hong, Z., Kwok, A. P. K., & Yan, M. (2021). Does Augmented-Reality Head-Up Display Help? A Preliminary Study on Driving Performance through a VR-Simulated Eye Movement Analysis. *IEEE Access, 9*, 129951–129964.