

Evalvacija projekcijskega zaslona za pogojno avtomatizirana vozila

Kristina Stojmenova Pečečnik in Jaka Sodnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: kristina.stojmenova@fe.uni-lj.si, jaka.sodnik@fe.uni-lj.si

Povzetek. Prispevek predstavlja proces zasnovane in ocenjene inovativnega projekcijskega zaslona (angl. head-up display oz. HUD) za pogojno avtomatizirana vozila, ki je namenjen nudenju pomoči vozniku pri ohranjanju ustreznega situacijskega zavedanja. V evalvacijski študiji, ki je bila izvedena v premičnem visokorealističnem simulatorju vožnje, je sodelovalo 30 udeležencev. HUD je bil ocenjen s stališča uporabniške izkušnje, zaznane uporabnosti in uporabniškega sprejemanja novih telematskih rešitev v transportu. Rezultati uporabniške izkušnje so pokazali povprečne ocene za stimulacijo in nadpovprečne ocene za atraktivnost, preglednost, učinkovitost, vodljivost in originalnost. Nadpovprečna ocena ($M = 87,471$ percentila, $SD = 9,88$; ukrivljena ocena = A+) je bila dosežena tudi za področje uporabnosti. V skladu z uporabniško izkušnjo in uporabnostjo so uporabniki izrazili visoko stopnjo naklonjenosti uporabi HUD-a s povprečnima ocenama za uporabnost $M = 1,281$ ($SD = 0,517$) in zadovoljstvo $M = 0,828$ ($SD = 0,401$) na lestvici od -2 do +2.

Ključne besede: projekcijski zaslon, avtomatizirana vozila, uporabniška izkušnja, uporabnost, uporabnikova sprejemljivost

Evaluation of a head-up display for conditionally automated vehicles

This paper presents the design and evaluation of a new head-up display (HUD) to be used in conditionally automated vehicles to provide appropriate situational awareness to the driver. Thirty participants took part in the evaluation study, which was conducted in a high-fidelity motion-based driving simulator. The HUD was evaluated in terms of user-experience, perceived usability and user acceptance of new telematics solutions in transportation. User experience results showed average scores for stimulation, and above average scores for attractiveness, perspicuity, efficiency, dependability and novelty. Above average score ($M = 87.471$ percentile, $SD = 9.88$; A-) was also obtained for perceived usability. Consistent with user experience and usability, user acceptance of HUD was also high, with mean scores for usefulness $M = 1.281$ ($SD = 0.517$) and satisfaction $M = 0.828$ ($SD = 0.401$) on a scale of -2 to +2.

Keywords: head-up display, automated vehicles, user experience, usability, user acceptance

1 UVOD

Vožnja je dinamična naloga, ki vključuje sočasno izvajanje večjega števila motoričnih, senzoričnih in kognitivnih nalog. Poleg upravljanja vozila so za voznika pomembni tudi ustrezna interakcija z drugimi udeleženci v prometu, upoštevanje prometnih predpisov, prilagajanje vremenskim razmeram in spremenljivim razmeram na cesti itd. Vsi ti dejavniki lahko pomembno vplivajo na vožnjo, zato jih je treba nenehno nadzorovati

in se prilagajati spremembam, če želimo, da je vožnja varna. Spremljanje okolja je torej ključno za zagotavljanje voznikovega situacijskega zavedanja (dogajanja v vozilu in okoli njega), saj vozniku omogoča sprejemanje ustreznih in učinkovitih odločitev za varno in udobno potovanje [1]. Z naraščajočim številom prebivalstva, hitro urbanizacijo in motorizacijo v državah v razvoju ter nenehnim povečevanjem števila vozil na cestah postaja voznikova naloga vse bolj zahtevna.

S ciljem premagovanja te težave in zagotavljanja velike stopnje varnosti v prometu je ena glavnih prioritete v avtomobilski industriji v zadnjih nekaj desetletjih razvoj naprednih asistenčnih sistemov in popolne avtomatizacije vozil. Avtomatizirana vozila, ki so v določenem obsegu že na voljo, lahko le delno in v omejenem področju prevzamejo nalogo vožnje, končni cilj pa ostaja, da bo lahko vozilo nekoč v celoti prevzelo nalogo vožnje, in tako postalo popolnoma avtonomno. Združenje avtomobilskih inženirjev (SAE) je opredelilo 6 stopenj avtomatizacije, od stopnje 0 (L0), ko voznik upravlja vozilo popolnoma ročno in brez pomoči vozila, do stopnje 5 (L5), ki predstavlja popolnoma avtonomno vozilo, sposobno izvajati vse vozne funkcije v vseh pogojih [2]. Avtomatizirana vozila z višjo stopnjo avtomatizacije imajo številne senzorce, ki vozniku pomagajo pri detekciji dogajanja v okolju, kot so parkirni senzori, opozorila na objekte v »mrtvem kotu«, kamera za vzvratno vožnjo, prikaz omejitev hitrosti, satelitski sistemi za navigacijo itd. Informacijski sistemi v vozilu

uporabljajo informacije, zbrane s temi senzorji, za prikaz vizualnih, zvočnih ali taktilnih opozoril, s katerimi voznikovo pozornost usmerijo na kritične informacije v okolju in tako povečajo njegovo zavedanje o razmerah. Čeprav se pričakuje, da se bo varnost v cestnem prometu povečala z vsako višjo stopnjo avtomatizacije, razpoložljivi podatki kažejo, da sta prav človeško vedenje in sposobnost nadzora pri vožnji v pogojno avtomatiziranih vozilih lahko najšibkejša varnostna člena in lahko celo negativno prispevata k varnosti v cestnem prometu. Kljub jasni opredelitvi in navodilom, da mora voznik ostati zbran in pozoren na vožnjo (stopnja SAE 2 avtomatizacije) ali biti pripravljen kadarkoli prevzeti nadzor nad vozilom (stopnja SAE 3 avtomatizacije), se vozniki pogojno avtomatiziranih vozil pogosto zamotijo z različnimi sekundarnimi opravili in nalogami, ki niso povezane z vožnjo, ter tako ne posvečajo dovolj pozornosti okolju. S tem včasih popolnoma zanemarijo (pomotoma ali namerno) svojo primarno nalogo, ki je še vedno opazovanje oz. pripravljenost na vožnjo.

Da bi rešili to težavo, smo razvili prototip posebnega projekcijskega zaslona (angl. HUD), ki bi vozniku pomagal ohraniti ali ponovno pridobiti ustrezno situacijsko zavedanje v pogojno avtomatiziranih vozilih, ter tako pomagal izkoristiti njihov polni potencial brez zmanjševanja varnosti. V obsežni uporabniški študiji smo ocenili varnost, učinkovitost in uporabnost novega vmesnika. V tem prispevku predstavljamo del rezultatov uporabniške študije, in sicer se osredotočamo predvsem na subjektivne odzive testnih uporabnikov sistema, ki smo jih merili s standardiziranimi vprašalniki o uporabnosti, uporabniški izkušnji in sprejemanju takšnih rešitev, kot so nove telematske rešitve v transportu.

2 SORODNE RAZISKAVE

Večina razpoložljive literature o informacijskih sistemih v vozilu (angl. IVIS), posebej v pogojno avtomatiziranih vozilih, se osredotoča na oblikovanje uporabniških vmesnikov za sporočanje informacij samo v obdobju izdajanja opozorila in zahteve za prevzem nadzora (objavljena dela raziskovalnih skupin Gabbard in drugi [3]; Frison in drugi [4]; Riegler in drugi [5]), in ne na vmesnike, ki bi bili na voljo ves čas trajanja vožnje. To je nekoliko problematično, saj delno avtomatizirana vozila še vedno zahtevajo, da voznik aktivno upravlja vozilo v posebnih pogojih in mora zato ves čas ohranjati ustrezno situacijsko zavedanje. Ko smo proučili, katere informacije je najpomembnejše predstaviti na HUD-u, smo ugotovili, da so za ohranjanje situacijskega zavedanja in vzdrževanja ustrezne hitrosti vozila najbolj koristni in pomembni različni varnostni elementi (hitrost, omejitve hitrosti, informacije o stanju tempomata in prometnih znakih) ter navigacijske informacije [6].

Nadaljnji pregled literature je razkril, da obstajajo razlike v pojmovanju tega, kako predstaviti posamezne informacije ter koliko in katere informacije sploh prikazati na HUD-u. Ugotovljeno je bilo na primer, da

predstavljanje informacij z obogateno resničnostjo (angl. augmented reality oz. AR), ki omogoča prikaz informacij neposredno v okolju, zagotavlja boljšo pretočnost informacij ter s tem boljšo razumljivost in uporabnost [7] v primerjavi s klasičnimi dvodimenzionalnimi HUD-i, ki so projicirani na fiksnem mestu na vetrobranskem steklu. HUD na osnovi obogatene resničnosti (angl. AR HUD) omogoča tudi daljše trajanje pogleda na cestišče, zaradi česar so reakcije voznikov ob kritičnih situacijah hitrejše, boljše je tudi prepoznavanje nevarnih dogodkov [8]. Po drugi strani pa AR HUD zaradi vse večje kompleksnosti zahteva pogoste spremembe v osredotočanju oz. razporejanju pozornosti [8][9], zato lahko slabo zasnovan AR HUD zaradi prenasičenosti vizualne informacije vodi k t. i. informacijski in kognitivni preobremenitvi. Prav tako ni splošnega konsenza o količini informacij, ki bi morale biti predstavljene v takšnem HUD-u. Določene raziskave so pokazale tudi, da lahko visoka kompleksnost HUD-a negativno vpliva na voznikovo situacijsko zavedanje in dožemanje [10] in v primeru AR HUD-a povzroči celo kognitivni stres in povečano nevarnost [8].

Pomembno je poudariti, da so bile vse te študije izvedene v različnih eksperimentalnih okoljih, v različnih voznikskih okoljih in situacijah ter z različnimi udeleženci. Posledično je zato težko celovito in zanesljivo primerjati vse te rezultate. Currano in drugi [10] so npr. ugotovili, da imajo lahko dejavniki, ki tvorijo neko kompleksno prometno situacijo, večji negativni vpliv na situacijsko zavedanje kot dejanska kompleksnost zasnove HUD-a. V raziskavi smo zato uporabili HUD, ki je bil razvit na osnovi rezultatov prehodne raziskovalne študije, v kateri smo poskušali ugotoviti, kako in katere informacije predstaviti v njem [11][12]. V članku podajamo rezultate subjektivne evalvacije te končne in izboljšane različice HUD-a.

3 METODOLOGIJA

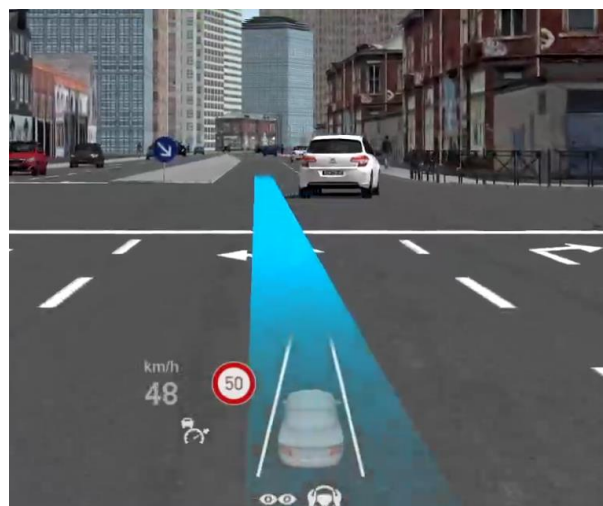
3.1 Projekcijski zaslon (HUD)

Končna različica HUD-a je torej vsebovala kombinacijo elementov, ki so bili predstavljeni dvodimenzionalno (npr. hitrost vozila, omejitve hitrosti, razpoložljivi ali aktivni asistenčni sistemi itd.), ter elementov, ki so bili dodani s pomočjo obogatene resničnosti (npr. navigacijska navodila). Slednji so bili prikazani kot vizualni elementi neposredno v voznem okolju, kot barvna proga, ki je označevala zeleni vozni pas, ali kot posebni barvni okviri, ki so označevali pomembne udeležence v prometu. Vsi elementi HUD-a ter njihov način in pogostost prikazovanja so prikazani v Tabela 1, HUD pa je prikazan na Slika 1.

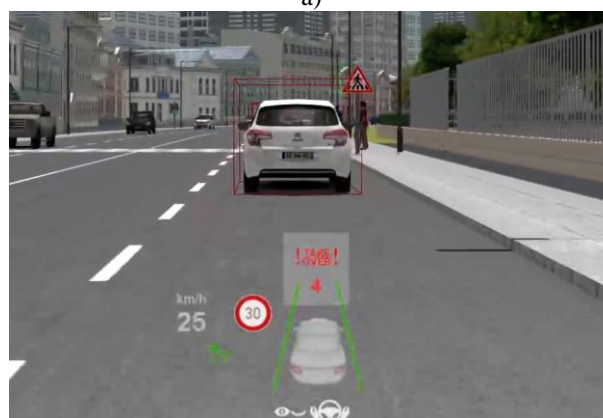
HUD je bil prikazan ves čas trajanja preizkusa ne glede na to, ali je bilo vozilo v ročnem ali avtomatiziranem načinu. Pri slednjem je na primer udeležencu preizkusa omogočil spremljanje dinamike vozila v avtomatiziranem načinu, npr. da bo vozilo vedno vozilo znotraj omejitev hitrosti in ohranilo primerno varnostno razdaljo do spredaj vozečega vozila.

Tabela 1: Informacije, ki jih je prikazoval HUD.

Frekvenca	Informacija
Informacije, ki so bile prikazane ves čas potovanja	Hitrostna omejitev
	Trenutna hitrost
	Opozorilo o prekoračitvi hitrosti
	Razpoložljivi (bela barva) / aktivni (zelena barva) asistenčni sistemi
	Prekratka razdalja do vozila spredaj (TTC < 2s)
	Nivo avtomatizacije (L0 – ročna vožnja ali L3 – pogojna avtomatizacija)
	Cestne oznake in prometni znaki 150 m pred njihovo dejansko lokacijo v okolju
	Navigacijske informacije, prikazane neposredno na ustreznem voznem pasu (s pomočjo obogatene resničnosti)
	Kratka tekstovna sporočila in opozorila
	Trenutna hitrost
	Aktivni asistenčni sistemi
Informacije, prikazane med zahtevo za prevzem kontrole	Stopnja avtomatizacije (L3 – pogojna avtomatizacija)
	Označevanje pomembnih (s katerimi lahko pride do trčenja ali nesreče) udeležencev v okolju s pomočjo posebnih označevalnih okvirov zelene barve (s pomočjo obogatene resničnosti)
	Vizualno sporočilo o prevzemu kontrole nad vozilom z numeričnim odštevalnikom (15 sekund pred izklopom avtomatizacije)
	Zvočno opozorilo v obliki 4000 Hz čistega tona za prevzem kontrole (5 sekund pred izklopom avtomatizacije)



a)



b)

3.2 Udeleženci

V raziskavi je sodelovalo 30 udeležencev (15 moških in 15 žensk), starih od 21 do 57 let ($M = 30,17$, $SD = 10,60$). Vsi udeleženci so imeli veljavno vozniško dovoljenje. Njihove vozniške izkušnje so se gibale od dveh do 39 let ($M = 11,78$, $SD = 10,12$). Zaradi tehničnih težav eden od udeležencev študije ni dokončal, njegovi rezultati pa so bili izključeni iz analize.

Glavna naloga udeležencev testa je bila varno priti do cilja. Do tam jih je vodil navigacijski sistem, ki je bil del vmesnika HUD. Med avtomatiziranim načinom vožnje so se udeleženci lahko ukvarjali z opravilom, ki ni bilo povezano z vožnjo, in sicer so lahko izbirali med naslednjimi možnostmi:

- branje revije,
- gledanje videoposnetka na zaslonu armaturne plošče v vozilu,
- igranje s telefonom,
- počitek.

Sodelovanje v raziskavi je bilo prostovoljno, udeleženci pa so ga lahko kadarkoli prekinili. V zahvalo za sodelovanje v raziskavi so udeleženci prejeli darilni bon v vrednosti 10 €. Zasnova eksperimenta je bila izdelana v skladu s pravili in smernicami za eksperimente z ljudmi, ki jih je izdala Univerza v Ljubljani.

Slika 1: vmesnik HUD: a) ves čas potovanja, b) med zahtevo za prevzem kontrole.

3.3 Spremenljivke

V študiji smo opazovali velik nabor odvisnih spremenljivk, povezanih z varnostjo, učinkovitostjo in splošno uporabnostjo takšnega vmesnika. V tem članku poročamo predvsem o subjektivnih ocenah uporabnikov, natančneje o treh subjektivnih odvisnih spremenljivkah:

- uporabniški izkušnji (angl. user experience),
- zaznani uporabnosti (angl. perceived usability) in
- sprejemanju (angl. acceptance) HUD-a kot nove telematske rešitve v transportu.

Ocene uporabniške izkušnje smo zbrali z vprašalnikom uporabniške izkušnje – UEQ [13], zaznano uporabnost z lestvico uporabnosti sistema – SUS vprašalnik [14], oceno sprejemanja HUD-a kot nove telematske rešitve pri transportu pa smo zajeli z lestvico sprejemljivosti uporabnikov – UAS vprašalnik [15].

Vsak udeleženec je izpolnil UEQ takoj po zaključku preizkusa s HUD-om. Vprašalnik je sestavljen iz 26 vprašanj, na katera je mogoče odgovoriti s pomočjo 7-stopenjske Likertjeve lestvice (1 – povsem se strinjam, 7 – popolnoma se ne strinjam). Odgovori se uporabljajo za zagotavljanje rezultatov šestih vidikov uporabniške

izkušnje – atraktivnosti, preglednosti, učinkovitosti, vodljivosti, stimulativnosti in originalnosti – ki so bili analizirani z orodjem za analizo podatkov UEQ [16].

Po zaključku UEQ so bili udeleženci pozvani, da izpolnijo SUS. Lestvica se pogosto imenuje »hitro in umazano« (angl. quick and dirty), a zanesljivo orodje za ocenjevanje uporabnosti ocenjevanega sistema. Sestavljena je iz 10 vprašanj, ki so bila validirana za razlikovanje med uporabno in neuporabno strojno opremo, programsko opremo, izdelki, storitvami in aplikacijami. Odgovori so v tem primeru podani s pomočjo 5-stopenjske Likertove lestvice.

V naslednjem koraku so udeleženci izpolnili še vprašalnik UAS. Slednji je sestavljen iz devetih 5-točkovnih dimenzij, ki imajo, podobno kot UEQ, obliko semantične razlike. To pomeni, da je vsaka dimenzija predstavljena z dvema besedama z nasprotnim pomenom (npr. »uporaben« proti »neuporaben«, »prijetno« proti »nadležno«), kar se v vprašalniku odraža kot dve polarnosti na 5-stopenjski Likertovi lestvici. Te postavke se razdelijo na dve lestvici, prva označuje uporabnost sistema, druga zadovoljstvo uporabnika z njim. Rezultat se izračuna znotraj posamezne lestvice s povprečenjem točk vsakega vprašanja (od -2 do 2). UAS se je izkazal kot zanesljiv instrument za oceno sprejemljivosti novih tehnoloških rešitev v vozilih.

Na koncu smo testne uporabnike pozvali, da prosto komentirajo tudi preizkušano tehnološko rešitev ter s svojimi besedami opišejo njene morebitne prednosti in slabosti.

3.4 Opis poskusa

Študijo smo izvedli v simulatorju vožnje s pomično platformo (4DOF oz. štiri smeri gibanja) [17], ki ga sestavljajo resnični avtomobilski deli (sedež, volan in pedala) ter fizična armaturna plošča (glej sliko 2). Armaturna plošča ni bila zasnovana za potrebe te študije in le posnema armaturno ploščo tipičnega ročno upravljanega osebnega vozila. Na njej so se prikazovali merilnik hitrosti, števec obratov, nivo goriva ter stanje indikatorjev in luči. Odločili smo se, da obdržimo armaturno ploščo, saj ima večina vozil, ki trenutno že imajo vgrajen HUD, še vedno tudi fizično armaturno ploščo.

Simulacija vožnje je bila prikazana na treh 49-palčnih ukrivljenih televizorjih, ki zagotavljajo 145° vidnega polja in s tem voznega okolja. Scenarij vožnje je bil razvit v orodju SCANeR Studio [18]. Vožnja je bila dolga 13 km (8,08 milje) in je simulirala pot od primestnega območja do središča mesta.



Slika 2: Simulator vožnje na UL FE, ki je bil uporabljen v študiji.

4 REZULTATI

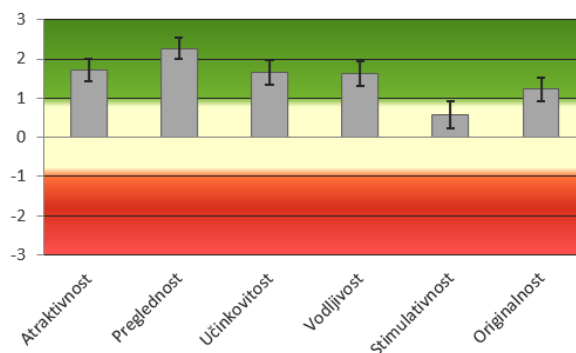
4.1 Uporabniška izkušnja

Lestvica rezultatov UEQ se giblje od -3 (grozljivo slabo) do +3 (izjemno dobro), vendar zaradi izračunov povprečij avtorji orodja UEQ poudarjajo, da je zelo malo verjetno, da bi dobili ocene nad +2 ali pod -2. Vrednosti med -0,8 in nad +0,8 veljajo za nevtralne, ocene nad +0,8 predstavljajo pozitivno oceno, ocene pod -0,8 pa negativno oceno.

Na podlagi zbranih podatkov je bil naš HUD ocenjen pozitivno za vseh šest vidikov UEQ (glej Tabela 2), z nadpovprečnimi ocenami za vse razen za vidik stimulacije, ki je bil ocenjen kot povprečen (glej Slika 3).

Tabela 2: Ocene UEQ po posameznih aspektih.

UEQ aspekt	Povprečje	Standardni odklon
Atraktivnost	1,713	0,61
Preglednost	2,259	0,55
Učinkovitost	1,647	0,77
Vodljivost	1,621	0,77
Stimulativnost	0,578	0,91
Originalnost	1,224	0,64



Slika 3: Ocene UEQ po posameznih aspektih.

4.2 Uporabnost

Vprašalnik SUS daje rezultate v razponu od 0 do 100. Kljub podobnosti lestvice končna ocena ne predstavlja odstotka. Rezultat 68 je postavljen kot diskriminatorna meja – rezultat pod 68 pomeni podpovprečje, medtem ko rezultat nad 68 pomeni nadpovprečno zaznano uporabnost. Udeleženci so HUD ocenili nadpovprečno, s srednjo oceno 87,471 (SD = 9,88).

Rezultate SUS je mogoče interpretirati tudi z uporabo ukrivljene ocenjevalne lestvice [19], ki uporabnost ocenjuje od F (slabše) do A+ (najboljše) (glej Tabela 3). Na podlagi tega točkovanja je bila uporabnost HUD-a ocenjena kot A+.

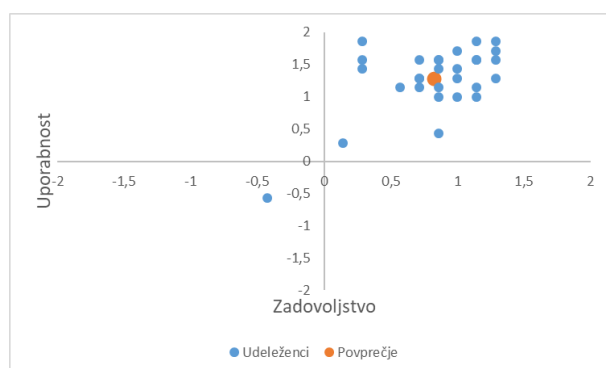
Tabela 3: Ukrivljena ocenjevalna lestvica [19].

Ocena [19]	Ocena SUS	Percentilni razpon
A+	84,1–100	96–100
A	80,8–84,0	90–95
A-	78,9–80,7	85–89
B+	77,2–78,8	80–84
B	74,1–77,1	70–79
B-	72,6–74,0	65–69
C+	71,1–72,5	60–64
C	65,0–71,0	41–59
C-	62,7–64,9	35–40
D	51,7–62,6	15–34
F	0–51,6	0–14

4.3 Sprejemanje napredne transportne telematike

Razpon rezultatov UAS sega od -2 do +2, rezultati vseh spremenljivk pa se na koncu uporabijo za izračun dveh vidikov, ki prikazujeta uporabnikovo zaznano uporabnost in zadovoljstvo z ocenjeno rešitvijo.

V našem primeru so rezultati pokazali visoko stopnjo sprejemanja preizkušane rešitve HUD, saj smo dobili pozitivne odzive tako za vidike uporabnosti kot tudi zadovoljstva. Rezultati so predstavljeni na Slika 4.



Slika 4: Ocene UAS za vsakega uporabnika ter povprečje vseh ocen.

4.4 Subjektivni komentarji uporabnikov

V zadnjem delu poskusa so uporabniki lahko prosto pokomentirali prednosti in slabosti HUD-a. Najpogosteje izraženi pozitivni komentarji so bili:

- Zelo koristno se mi je zdelo stalno prikazovanje omejitve hitrosti in trenutne hitrosti na HUD-u.
- Risanje navigacijskih navodil direktno na cesto je neprimerno boljše od klasičnih puščic na zaslonu.
- Označevanje nevarnih objektov v okolici je zelo koristno in bi bilo zelo uporabno tudi v realnem vozilu.

Negativna mnenja, ki so se prav tako nekajkrat ponovila, pa so bila:

- Število prikazanih informacij je včasih preveliko, zato HUD deluje prenatrpan.
- Sistem bi moral prikazovati le aktivne asistenčne sisteme, in ne še vse razpoložljive, saj je preveč informacij.
- Na zaslonu je manjkala informacija, zakaj se je izklopil avtomatski način in zakaj je potrebna ročna vožnja.

5 DISKUSIJA IN ZAKLJUČEK

Rezultati vseh opazovanih odvisnih spremenljivk so torej pokazali pozitivno uporabniško izkušnjo, zaznano visoko uporabnost in zelo dobro splošno sprejemanje predlaganega projekcijskega zaslona.

Orodje za obdelavo odgovorov vprašalnika UEQ primerja rezultate, pridobljene v študiji, s splošno dostopno primerjalno oceno drugih referenčnih študij, konkretnije ocen 452 izdelkov, pri katerih je sodelovalo skupaj 20.190 udeležencev [20]. Ta referenčna vrednost se posodobi enkrat na leto, v poskusu smo uporabili različico 2021. Na podlagi teh rezultatov je bil naš HUD ocenjen nadpovprečno za aspekte atraktivnosti, preglednosti, učinkovitosti, vodljivosti in originalnosti, kar nedvoumno nakazuje, da je bil HUD pravilno zasnovan. Za stimulativnost je HUD prejel povprečno oceno, kar je še vedno pozitivno. Verjamemo, da je to posledica dejstva, da HUD uporabniku zagotavlja dovolj informacij, da ohrani primerno situacijsko zavedanje, vendar pa ga ne spodbuja k aktivnemu iskanju nadaljnjih informacij v okolju. To ugotovitev bomo upoštevali pri nadaljnjih izboljšavah HUD-a oz. v prihodnjih iteracijah razvoja, ki se bodo osredotočale na izvajanje funkcij, ki bodo poskušale izboljšati tudi ta vidik.

Kot je navedeno v navodilih za uporabo, SUS dejansko zagotavlja hitro in preprosto oceno domnevne uporabnosti nekega izdelka ali rešitve. Podobno kot pri UEQ, so bile tudi ocene SUS za naš HUD nadpovprečne. Če pogledamo ukrivljeno lestvico, ki sta jo predlagala Lewis & Sauro [19], lahko vidimo, da je HUD dobil najvišjo oceno A+, kar kaže, da predlagana zasnova v celoti izkorišča potencial takega prikazovanja informacij na vetrobranskem steklu.

Glede na pomen, ki ga imata uporabniška izkušnja in zaznana uporabnost pri sprejemanju in vpeljevanju novih tehnologij, so tudi rezultati UAS nekako pričakovani in nas niso presenetili. Vse ocene UAS, z izjemo enega udeleženca, so v I. kvadrantu na koordinatnem sistemu, ki ga določata uporabnost izdelka in zadovoljstvo uporabnikov. Tak prikaz rezultatov po Der Laan idr. [15] tvori sliko o sprejemljivosti takega novega izdelka za uporabo v vozilih. Ti rezultati so zato še posebej pomembni v procesu ocenjevanja nekega novega izdelka ali rešitve, saj se sprejemanje tehnologije pogosto obravnava kot neposreden pokazatelj pripravljenosti za uporabo v prihodnosti.

Tudi v neformalnih komentarjih udeležencev smo zaznali naklonjenost predlagani rešitvi HUD, predvsem komponentam nadgrajene resničnosti, ki opozorila prikazujejo neposredno v voznem okolju, in ne zahtevajo od voznika, da pogled umakne s ceste. Prav tako so posebej poudarili pomen ažurnih podatkov o stanju vozila (npr. hitrosti in hitrostne omejitve) in drugih objektov v prometu, ki potencialno lahko ogrožajo voznika. Vse te ugotovitve nas zato zelo motivirajo k nadaljevanju razvoja HUD-a in njegove implementacije v pogojno avtomatizirano vozilo.

ZAHVALA

To študijo je delno financirala 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 izključno mnenja avtorjev.

LITERATURA

- [1] Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In *Human Factors Journal*, 37(1), 32–64.
- [2] SAE, T. (2016). Definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE Standard J*, 3016, 2016.
- [3] Gabbard, J. L., Fitch, G. M., & Kim, H. (2014). Behind the glass: Driver challenges and opportunities for AR automotive applications. *Proceedings of the IEEE*, 102(2), 124–136.
- [4] Frison, A. K., Forster, Y., Wintersberger, P., Geisel, V., & Riener, A. (2020). Where we come from and where we are going: A systematic review of human factors research in driving automation.
- [5] Riegler, A., Riener, A., & Holzmann, C. (2021). A Systematic Review of Virtual Reality Applications for Automated Driving: 2009–2020. *Frontiers in Human Dynamics*, 3, 48.
- [6] 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.
- [7] Schömig, N., Wiedemann, K., Naujoks, F., Neukum, A., Leuchtenberg, B., & Vöhringer-Kuhnt, T. (2018, September). An augmented reality display for conditionally automated driving. In *Adjunct proceedings of the 10th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 137–141).
- [8] Feierle, A., Beller, D., & Bengler, K. (2019, October). Head-up displays in urban partially automated driving: Effects of using augmented reality. In *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)* (pp. 1877–1882). IEEE.

- [9] Riegler, A., Riener, A., & Holzmann, C. (2021). Augmented Reality for Future Mobility: Insights from a Literature Review and HCI Workshop. *I-Com*, 20(3), 295–318.
- [10] Currano, R., Park, S. Y., Moore, D. J., Lyons, K., & Sirkin, D. (2021, May). Little road driving hud: Heads-up display complexity influences drivers' perceptions of automated vehicles. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–15).
- [11] Stojmenova, K., Tomažič, S., & Sodnik, J. Design of Head-Up Display Interfaces for Automated Vehicles. Available at SSRN 4182146.
- [12] Stojmenova, K., Jakus, G., Tomažič, S., Sodnik, J. (2022, July). Is less really more? A user study on visual in-vehicle information systems in automated vehicles from a user experience and usability perspective. In *Proceedings of the 13th AHFE International Conference on Usability and User Experience, New York, USA, July 24–28, 2022*. New York: AHFE Open Access, 2022.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Van Der Laan, J. D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(1), 1–10.
- [16] UEQ online. Data Analysis Tools. Dostopno na: <https://www.ueq-online.org/>.
- [17] 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).
- [18] AVSimulation. SCANer studio. Dostopno na: <https://www.avsimulation.com/scanerstudio/>.
- [19] Lewis, J. R., & Sauro, J. (2018). Item benchmarks for the system usability scale. *Journal of Usability Studies*, 13(3).
- [20] UEQ online. Handbook. Dostopno na: <https://www.ueq-online.org/>.

Kristina Stojmenova Pečečnik je končala prvo bolonjsko stopnjo leta 2011 in drugo bolonjsko stopnjo leta 2014 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Leta 2018 je doktorirala na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlena je kot znanstvena sodelavka na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer trenutno izvaja podoktorski projekt Modeliranje voznikovega situacijskega zavedanja. Njeno raziskovalno področje so komunikacije človek–stroj, informacijske tehnologije v avtomobilih ter ocenjevanja voznikovega stanja in obnašanja. Ima izkušnje z uporabniško usmerjenim oblikovanjem, ki jih je pridobila pri delu v podjetju Iskratel ter pri mednarodni mreži Demola.

Jaka Sodnik je leta 2002 diplomiral, leta 2007 pa doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Na tej fakulteti je zdaj zaposlen kot redni profesor. Ima bogate izkušnje in reference na področju informacijsko-komunikacijskih tehnologij, njegova raziskovalna področja vključujejo akustiko, telekomunikacijska omrežja, spletne tehnologije in interakcijo človek–stroj, predvsem interakcijo voznik–vozilo. Je vodja več nacionalnih in mednarodnih industrijskih (Renault, Ford, Toyota, ISID, Virtual Vehicle, AMZS, Zavarovalnica Triglav itd.) in akademskih (University of Washington, Virginia Tech, Stanford, University of Surrey, CARISMA, PLUS itd.) projektov ter je aktiven član v številnih strokovnih združenj (IEEE, ACM, DSC itd.).