

# Raznolikost voznikovih odzivov na zahtevo za prevzem vodenja pogojno avtomatiziranega vozila

Timotej Gruden, Grega Jakus

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: timotej.gruden@fe.uni-lj.si

## Diversity of drivers' reactions on take-over request of a conditionally automated vehicle

**Abstract.** *This paper presents different users' reactions on take-over request (TOR) of a conditionally automated vehicle. The data was collected with a user study in a driving simulator with 24 participants. They were exposed to six different take-over requests, two of them required to stop the vehicle and four of them required to bypass the obstacle.*

*We observed the drivers' reactions before and after the take-over was performed. The attention time was normally distributed with an average of  $1,49\text{ s} \pm 0,53\text{ s}$ . Majority of drivers used the brake pedal prior to turning the steering wheel. However, some cases where drivers did not use the brake or did not react to the TOR at all were also noted. Knowing the drivers' reactions can therefore help TOR user interface designers to actively encourage safe driving.*

## 1 Uvod

Mednarodno združenje inženirjev s področja avtomobilizma SAE (ang. Society of Automotive Engineers) je že leta 2014 različne stopnje avtomatizirane vožnje razvrstilo po šest-stopenjski lestvici [1]. Prve tri stopnje (0, 1 in 2) predstavljajo klasično, ročno vožnjo, ki je v prvi, še v večji meri pa v drugi stopnji, dopolnjena z naprednimi podpornimi oz. asistenčnimi sistemi (ang. ADAS – Advanced Driver Assistance System). Preostale tri stopnje (3, 4 in 5) predstavljajo postopen prehod do popolnoma avtonomne vožnje.

Čeprav je razvoj avtomatizacije vožnje razmeroma hiter, pa popolnoma avtonomna vožnja zaradi številnih razlogov še dolgo ne bo mogoča. Namesto nje lahko srednjeročno pričakujemo soobstoj ročne in različnih stopenj avtomatizirane vožnje. Trenutno je aktualen prehod v tretjo stopnjo, ki ji pravimo tudi pogojno avtomatizirana vožnja. Ta omogoča avtonomno vožnjo le v nekaterih voznih okoljih, kot je na primer avtocesta; voznik lahko med tem svojo pozornost preusmeri drugam, na primer uporabi zabavno-informacijskih sistemov. Ko se vozilo znajde v okoliščinah, za katere nima predvidenega odziva, mora predati vodenje vozniku.

Ključnega pomena pri načrtovanju omenjene interakcije predaje vodenja so dobri (učinkoviti, zmogljivi in zadovoljivi [2]) uporabniški vmesniki [3]. Ti morajo namreč v omejenem času na pravilen način (navadno čim hitreje) posredovati ravno pravo količino

in vsebino informacije vozniku. S tem želijo sprožiti čim boljši odziv voznika in posledično preprečiti morebitne kritične situacije.

Zeeb idr. so v svojem modelu reakcijskega časa (od izražene zahteve za prevzem vodenja vozila do dejanskega prevzema vodenja) kot prvi voznikov odziv po zahtevi za prevzem vodenja predpostavili pogled na cesto, za tem (ali izjemoma sočasno) naj bi vozniki vzpostavili stik z vozilom (ang. »motor readiness«), po razmisleku (kognitivnem procesiranju) pa sledi dejanski prevzem nadzora [4]. Endsley v svoji teoriji zavedanja situacije pred samim pogledom na cesto predvideva še krajši časovni interval namenjen zamenjavi nalog [5], a ga v praksi težko zaznamo ločeno od dejanskega pogleda na zaslon. Celoten čas od podane zahteve za prevzem vodenja do dejanskega prevzema, ki vključuje tako pogled na cesto kot vzpostavitev stika z vozilom, je navadno med 2 in 3,5 sekundami [6].

Manj raziskani so odzivi uporabnikov po prevzemu nadzora. Mnoge študije navajajo, da je pri načrtovanju dobrega uporabniškega vmesnika za podajanje zahteve za prevzem vodenja potrebno poleg samega reakcijskega časa do predaje upoštevati tudi kakovost predaje [7]–[9]. Köhn idr. so oceno kakovosti (samozavesti, zaupanja) voznikom merili subjektivno z uporabo vprašalnika [7]. Zeeb idr. so kot mero kakovosti upoštevali odmik od sredine voznega pasu in prečni pospešek [8]. Gold idr. so med modeliranjem prevzema vodenja opazili statistično pomembne razlike v uspešnosti med vozniki, ki so uporabili zavoro, in vozniki, ki niso zavirali [10].

V tem prispevku želimo predvsem prikazati množičnost različnih odzivov različnih uporabnikov na podano zahtevo za prevzem vodenja. Natančneje, odgovoriti želimo na raziskovalno vprašanje: »Kako lahko poznavanje odzivov voznikov na podano zahtevo za prevzem vodenja pogojno avtonomnega vozila pripomore pri načrtovanju uporabniških vmesnikov?«

Naslednje poglavje predstavlja uporabljeno metodologijo – način pridobivanja podatkov ter upoštevane različice odzivov. V tretjem poglavju so grafično podani rezultati (tj. tipični odzivi različnih voznikov), zadnje poglavje pa je namenjeno komentarjem rezultatov.

## 2 Metodologija

### 2.1 Nabor podatkov

Za proučevanje različnih odzivov smo izvedli uporabniško študijo na podlagi pilotne raziskave

uporabniških vmesnikov za prevzem vodenja pogojno avtonomnega vozila [11]. Sodelovalo je 24 voznikov prostovoljcev med 19. in 50. letom starosti (povprečna starost 28,4 let), od tega 58% moškega spola.

V visoko zmogljivem simulatorju vožnje Nervtech™ [12] jih je med avtonomno vožnjo po zamegljeni tripasovni avtocesti sistem za nadzor avtonomne vožnje na šestih različnih lokacijah pozval k prevzemu vodenja vozila zaradi ovire na cesti (Slika 1). V štirih primerih se je od uporabnikov pričakovalo, da oviro obvozijo, v dveh primerih pa so morali vozilo zaradi popolne zapore ustaviti. V primeru obvoza, je sistem uporabnikom podal tudi informacijo o smeri ovire (levo oz. desno). Polovici uporabnikov je bila zahteva za prevzem vodenja posredovana preko taktilno-vizualnega vmesnika, drugi polovici pa preko zvočno-vizualnega uporabniškega vmesnika. Za zaznavanje točke voznikove pozornosti smo uporabili sledilnik pogleda Tobii Pro Glasses 2 [13].



Slika 1. Voznik v simulatorju vožnje med prevzemanjem vodenja vozila, kar nakazuje rdeče obarvan LED trak pod desnim delom srednjega zaslona

Med avtonomno vožnjo so bili vozniki mentalno zaposleni z igranjem iger na mobilnem telefonu. Ob podani zahtevi za prevzem vodenja s strani sistema avtonomne vožnje je bil voznik odgovoren za uspešen prevzem in varno razrešitev situacije na cesti. Po tem je ponovno vklopil avtonomno vožnjo in nadaljeval z igranjem igre.

## 2.2 Odzivi pred prevzemom vodenja

Šest sekund pred potencialnim trkom [6] je sistem avtonomne vožnje sprožil zahtevo za prevzem vodenja (ang. TOR – »take-over request«). Od te točke dalje smo merili naslednje časovne intervale:

- *pozornost* – trajanje med TOR in prvim pogledom na zaslon,
- *zaviranje* – trajanje med TOR in prvim pritiskom na zavorni pedal, večjim od 2,5% hoda stopalke,
- *zavijanje* – trajanje med TOR in prvim zasukom volana, večjim od 0,1 rad.

Manjšega izmed zadnjih dveh časovnih intervalov (zaviranje ali zavijanje) smo proglasili za *reakcijski čas*

(RT), tj. čas od TOR do uspešnega prevzema vodenja vozila. Iz omenjenih časov smo prepoznali tudi uporabnikovo *prvo reakcijo*, ki je lahko bila zaviranje, zavijanje ali sočasno zaviranje in zavijanje (zaviranje in zavijanje znotraj časovnega intervala 350 ms).

## 2.3 Odzivi po prevzemu vodenja

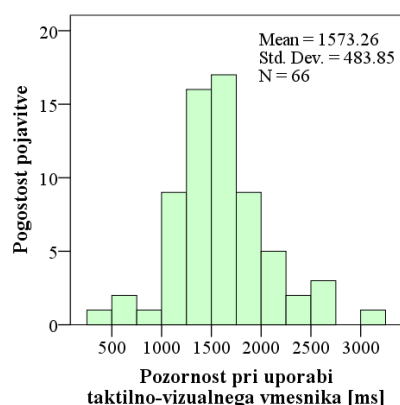
Po prevzemu vodenja smo opazovali:

- ali je voznik med reševanjem kritične situacije zaviral,
- ali je voznik zavil v pravo smer v izogib oviri,
- trajanje prvega zavoja (od začetka zavoja do ponovnega obrata volana preko mirovne lege),
- najnižjo doseženo hitrost vozila.

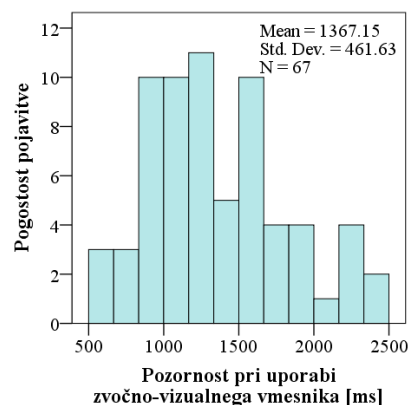
## 3 Rezultati

Za vsakega izmed merjenih odzivov smo izrisali histograme. Statistično pomembna razlika med uporabo taktilno-vizualnega zvočno-vizualnega vmesnika se je pokazala le pri rezultatih pozornosti ( $t(131) = 2,51$ ,  $p = 0,013$ ), zato so pri prikazu ostalih rezultatov uporabniki obeh vmesnikov združeni.

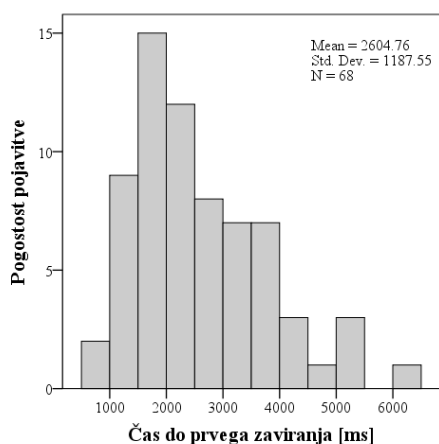
### 3.1 Odzivi pred prevzemom vodenja



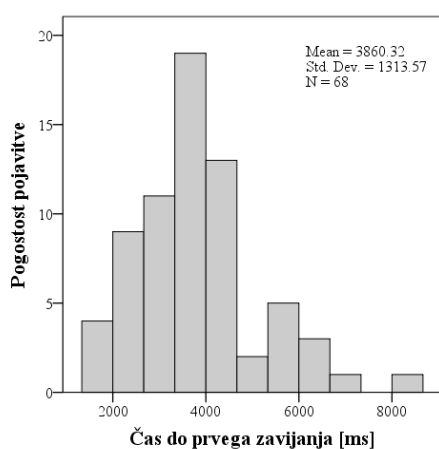
Graf 1. Histogram trajanja od TOR do prvega pogleda na zaslon pri uporabi taktilno-vizualnega vmesnika



Graf 2. Histogram trajanja od TOR do prvega pogleda na zaslon pri uporabi zvočno-vizualnega vmesnika



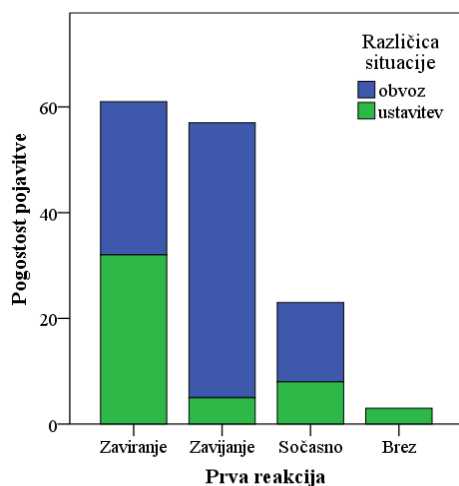
Graf 3. Histogram časov od TOR do prvega pritiska na zavoro



Graf 4. Histogram časov od TOR do prvega zasuka volana

Čas, ki so ga vozniki porabili za preusmeritev pogleda od sekundarne naloge na cesto, je bil med 350 ms in 3 s (Graf 1, Graf 2). Graf 3 prikazuje porazdelitev časov do prvega zaviranja, Graf 4 pa do prvega zavoja.

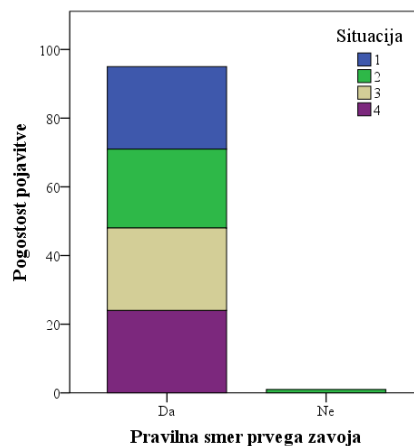
Razporeditev voznikovih prvih reakcij po zahtevi za prevzem vodenja je prikazana na Grafu 5.



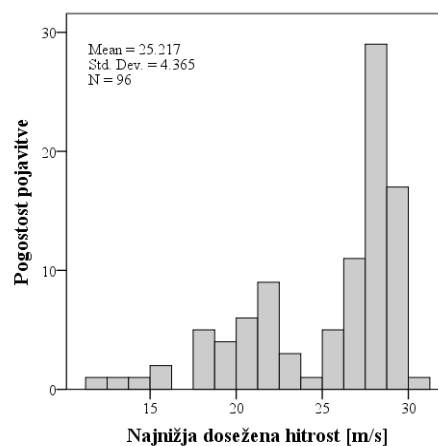
Graf 5. Porazdelitev prvih voznikovih reakcij glede na različico kritične situacije

### 3.2 Odzivi po prevzemu vodenja

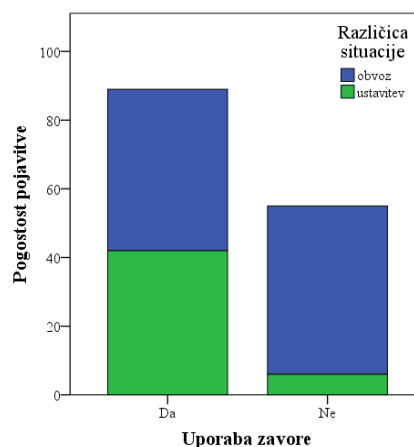
Graf 6 prikazuje pravilnost izbire smeri zavijanja glede na mesto ovire. Podane so tudi razlike glede na zaporedno situacijo posameznega uporabnika – vsak se je štirikrat srečal s situacijo, v kateri je moral obvoziti (zaviti) oviro na cesti.



Graf 6. Porazdelitev smeri prvega zavoja glede na zaporedno kritično situacijo



Graf 7. Porazdelitev najnižje dosežene hitrosti vozila med situacijo, ki je zahtevala obvoz ovire



Graf 8. Uporaba zavore med razreševanjem kritičnih situacij

Graf 7 podaja porazdelitev zabeležene najnižje hitrosti vozila v času med TOR in ponovnim vklopom

avtonomne vožnje. Na Grafu 8 vidimo, koliko voznikov je v tem času sploh uporabljalo zavoro.

#### 4 Razprava in zaključek

Iz opazovanja odzivov voznikov med TOR in dejanskim prevzemom vodenja lahko opazimo, da je večina voznikov za preusmeritev pozornosti od sekundarne naloge k vožnji potrebovala med eno in dvema sekundama. Vozniki z zvočno-vizualnim vmesnikom so za preusmeritev potrebovali manj časa (povpr.  $1,37 \text{ s} \pm 0,46 \text{ s}$ ) kot vozniki s taktilno-vizualnim vmesnikom (povpr.  $1,57 \text{ s} \pm 0,48 \text{ s}$ ). Do prvega zaviranja so v povprečju potrebovali še sekundo dlje, do prvega zavoja pa še dobro sekundo več. Pri načrtovanju uporabniškega vmesnika za podajanje zahteve za prevzem vodenja je torej ključno, da upoštevamo minimalne časovne potrebe, ki jih uporabnik potrebuje za preusmeritev pozornosti in reakcijo. Večina uporabnikov je po izraženi zahtevi za prevzem vodenja najprej zavirala, kar lahko nakazuje na previdnost oz. upoštevanje preventivnih ukrepov. Kljub temu se je trikrat zgodilo, da voznik ob podani zahtevi sploh ni reagiral.

Po prevzemu vodenja so vozniki v veliki večini zavili v pravo smer glede na podano informacijo o lokaciji ovire na cesti. Največ napak je bilo v prvem primeru srečanja z oviro, kar lahko pripisujemo novosti sistema oz. nenavajenosti voznikov na simulator vožnje. V zadnji situaciji, kjer je bilo potrebno obvoziti oviro, napak o smeri ni bilo več. Pred aktivno uporabo podobnega sistema v vozilu bi bilo torej smiselno uporabnike eksperimentalno podučiti o nekaj tipičnih situacijah.

Iz Grafa 7 lahko opazimo dve vrsti voznikov – tiste, katerih najnižja hitrost je bila vseskozi okoli 30 m/s (cca. 110 km/h oz. hitrost vozila v avtonomnem režimu), ter tiste, ki so zmanjšali hitrost vožnje na okoli 20 m/s (cca. 70 km/h). Le manjše število voznikov je hitrost med obvozom ovire zmanjšalo pod 10 m/s (cca. 35 km/h). Podobne ugotovitve lahko razberemo tudi iz Grafa 8, kjer opazimo, da kar nekaj voznikov (približno tretjina) sploh ni uporabljala zavore, nekateri niti ko bi morali vozilo popolnoma ustaviti. Ker je obvoz ovire z nezmanjšano hitrostjo lahko zelo nevaren, bi bilo voznika smiselno aktivno vzpodbujati k uporabi zavore, ne glede na značilnosti kritične situacije. To lahko storimo npr. z dodatnim opozorilom, če voznik ne zavira v določenem času ter samodejnim zaviranjem po preteku kritičnega časa.

Povzamemo lahko, da so si odzivi uporabnikov na zahtevo po prevzemu vodenja pogojno avtonomnega vozila različni. Čas od podane zahteve do prve reakcije se lahko giblje vse od ene sekunde do preko štirih sekund. Z uporabo zvočnih vmesnikov lahko pripomoremo k hitrejši preusmeritvi pozornosti na vožnjo. Večina voznikov ob zahtevi najprej zavira, a obstajajo tudi taki, ki zavore do konca razreševanja situacije sploh ne uporabijo. V kolikor voznik ne zavira, bi ga lahko s primerno načrtovanim uporabniškim

vmesnikom dodatno opomnili na ta varnostni ukrep. Zavedanje različnosti voznških odzivov lahko torej pozitivno pripomore k načrtovanju uporabniških vmesnikov v pogojno avtonomnih vozilih.

#### Literatura

- [1] „SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles“. <https://www.sae.org/> (pridobljeno jul. 19, 2019).
- [2] E. Frøkjær, Erik, M. Hertzum, Morten, K. Hornbæk, in Kasper, „Measuring usability: are effectiveness, efficiency, and satisfaction really correlated?“, jan. 2000, doi: 10.1145/332040.332455.
- [3] V. Melcher, S. Rauh, F. Diederichs, H. Widroither, in W. Bauer, „Take-Over Requests for Automated Driving“, *Procedia Manufacturing*, let. 3, str. 2867–2873, jan. 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.788.
- [4] K. Zeeb, A. Buchner, in M. Schrauf, „What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving“, *Accident Analysis & Prevention*, let. 78, str. 212–221, maj 2015, doi: 10.1016/j.aap.2015.02.023.
- [5] M. R. Endsley, „Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems“, *Situational Awareness*, jul. 05, 2017. <https://www.taylorfrancis.com/> (pridobljeno dec. 13, 2019).
- [6] A. Eriksson in N. A. Stanton, „Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control“, *Hum Factors*, let. 59, št. 4, str. 689–705, jun. 2017, doi: 10.1177/0018720816685832.
- [7] T. Köhn, M. Gottlieb, M. Schermann, in H. Krcmar, „Improving take-over quality in automated driving by interrupting non-driving tasks“, v *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*, Marina del Ray, California, mar. 2019, str. 510–517, doi: 10.1145/3301275.3302323.
- [8] K. Zeeb, A. Buchner, in M. Schrauf, „Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving“, *Accident Analysis & Prevention*, let. 92, str. 230–239, jul. 2016, doi: 10.1016/j.aap.2016.04.002.
- [9] J. Radlmayr, V. Weinbeer, C. Löber, M. Farid, in K. Bengler, „How Automation Level and System Reliability Influence Driver Performance in a Cut-In Situation“, v *Advances in Human Aspects of Transportation*, 2018, str. 684–694.
- [10] C. Gold, R. Happee, in K. Bengler, „Modeling take-over performance in level 3 conditionally automated vehicles“, *Accident Analysis & Prevention*, let. 116, str. 3–13, jul. 2018, doi: 10.1016/j.aap.2017.11.009.
- [11] T. Gruden, M. Hribernik, E. Keš, J. Sodnik, in G. Jakus, „Taktilno-vizualni uporabniški vmesnik za voznikov prevzem upravljanja vozila pri prekinitvi avtonomne vožnje“, v *Zbornik osemindvajsete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference*, Portorož, Slovenija, 2019, str. 53–56.
- [12] „Nervtech Simulation Technologies“, *Nervtech*. <https://www.nervtech.com> (pridobljeno apr. 29, 2019).
- [13] „Tobii Pro Glasses 2 wearable eye tracker“, jun. 25, 2015. <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/> (pridobljeno feb. 06, 2020).