

# Prevzem vodenja pogojno avtomatiziranega vozila – kaj lahko sploh gre narobe?

Timotej Gruden, Grega Jakus

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: timotej.gruden@fe.uni-lj.si

## Examples of unsuccessful take-overs of a conditionally automated vehicle

**Abstract.** Under conditional driving automation (SAE L3), it is possible for a vehicle to request the driver to take over control at any given moment. The driver is then responsible for intervening and resuming control of the vehicle. Typically, the driver would manually resolve a situation that the vehicle was unable to handle and subsequently re-engage full driving automation mode. However, the focus of this paper is specifically on unsuccessful take-over attempts that led to collisions and the factors that contributed to them.

To analyze these unsuccessful take-over attempts, we observed and categorized video recordings of 18 such unsuccessful attempts out of a total of 216 take-over attempts. These take-overs were performed as part of a user study in a driving simulator. The observed unsuccessful take-overs were then arranged into five distinct clusters based on the driver's behavior: A) Failure to brake, B) Delayed take-over, C) Failure to take over, D) Over-commitment to a secondary task, and E) Difficulties with the user interface.

## 1 Uvod

Pogojno avtomatizirana vožnja predstavlja ključno stopnjo v postopnem prehodu od povsem ročne k popolnoma avtomatizirani vožnji. Društvo inženirjev s področja avtomobilizma (ang. *Society of Automotive Engineers – SAE*) je posamezne stopnje avtomatizacije v vozilih razporedilo v šest stopenj [1]. Pogojno avtomatizirana vozila (SAE stopnja 3) lahko vozijo popolnoma samodejno pod nekaterimi vnaprej določenimi pogoji ali v posebnih, njim prirejenih okoljih. Med tem lahko v določenih kritičnih primerih še vedno zahtevajo posredovanje voznika, ki je primoran prevzeti vodenje v najkrajšem možnem času. Pristop pogojne avtomatizacije najpogosteje ubirajo načrtovalci vozil, saj se zavedajo mnogih izzivov, povezanih z doseganjem popolne avtomatizacije v vseh, tudi zapletenih in nepredvidljivih voznih situacijah, kot so neugodne vremenske razmere, delo na cesti ali nepoznana območja. S podajanjem zahtev za prevzem vodenja (ang. *take-over requests – TOR*) lahko vozila nemoteno preklaplajo med avtomatiziranim in ročnim načinom vožnje, kar ponuja prilagodljivost in zanesljivost v različnih scenarijih vožnje.

Proces prevzema vodenja vozila (ang. *take-over – TO*) in z njim povezanimi izzivi so bili predmet obravnave različnih raziskav. Eriksson in Stanton sta

izvedla obširen pregled raziskav, kjer sta primerjala, koliko časa vnaprej mora biti podana zahteva za prevzem vodenja (TOR) za doseg boljšega situacijskega zavedanja (ang. *situational awareness – SA*) [2]. Pred kratkim sta Tan in Zhang v uporabniški študiji primerjala več možnih časov in priporočila podajanje zahteve za prevzem vodenja od 16 do 30 sekund pred dosegom kritične točke [3]. Sprva je več raziskovalcev menilo, da so med vožnjo najmanj obremenjeni voznikovi taktilni čuti, zato so jih poskušali uporabiti za podajanje zahteve za prevzem vodenja vozila [4], [5]. Kasneje je bilo ugotovljeno, da so za podajanje zahteve za prevzem vodenja najprimernejši multimodalni uporabniški vmesniki [6]–[8]. V situacijah, ki zahtevajo prevzem vodenja, bi morali vozniki ponovno pridobiti situacijsko zavedanje [9] načeloma tako, da se osredotočijo na cesto. Kljub temu bi zaradi raznih dejavnikov, kot so časovne omejitve, utrujenost, neugodne vremenske razmere ipd. Vozniku še vedno lahko koristila uporaba naprednih asistenčnih sistemov (ang. *advanced driving-assistance systems – ADAS*) tudi takoj po izvedbi prevzema vodenja [10]. Ne glede na vse poskuse so Butmer idr. ugotovili, da se v situacijah, ki zahtevajo prevzem vodenja, bolje od ročnega prevzema obnese samodejno ustavljanje vozila [11].

Vsi zgoraj omenjeni raziskovalci so želeli izboljšati uporabnost, varnost in zanesljivost pogojno avtomatizirane vožnje, čemur krajše pravimo *kakovost prevzema*. A v teh poskusih je bilo vsakokrat nekaj primerov, ko vozniki niso uspeli prevzeti vodenja vozila kljub podani zahtevi. V naših raziskavah smo šli še korak dlje in dodatno preučili vse neuspešne poskuse prevzema vodenja iz nedavne uporabniške študije, ki so jo izvedli Gruden idr. [12]. Vprašali smo se: "Kaj bi lahko šlo narobe med prevzemom vodenja?" Z opazovanjem video posnetkov in vizualizacijo voznih parametrov neuspešnih prevzemov vodenja smo ugotovili najverjetnejše vzroke za voznikov neuspeh, opažanja razvrstili v razrede in prešteli njihovo pogostost. Raziskovalno vprašanje tega prispevka je torej: "Zakaj so bili določeni prevzemi vodenja pogojno avtomatiziranega vozila neuspešni?"

V naslednjem razdelku je predstavljena metodologija (uporabljeni nabor podatkov), v tretjem razdelku so predstavljeni rezultati (zakaj so bili določeni poskusi prevzema vodenja neuspešni). Sledita kratka razprava in zaključek.

## 2 Metodologija

V naši raziskavi smo uporabili podatke Grudna idr. [12], ki so izvedli uporabniško študijo v simulatorju vožnje s pogojno avtomatiziranim vozilom. Udeležencem so naročili, naj med vožnjo na pametnem telefonu igrajo igro »Tetris«, med tem pa morajo biti pripravljeni na ponoven prevzem vodenja vozila, če bi vozilo to zahtevalo. Zahteve za prevzem so bile podane prek slušno-ambientalnega ali tipno-ambientalnega uporabniškega vmesnika, z ali brez podatka o smeri bližajoče se ovire na cesti. V scenariju je pogojno avtomatizirano vozilo približno 18 minut peljalo po tripasovni avtocesti v gosti megli. Med tem ko je bilo vozilo v popolnoma avtomatiziranem načinu, je vozni algoritem ohranjal stalno hitrost 110 km/h. Shi idr. [13] so s študijo pokazali, da je odziv voznika na zahtevo za prevzem vodenja vozila najboljši, v kolikor je zahteva podana šest sekund pred predvidenim trkom in v kolikor voznik ne opravlja sekundarne naloge. Po njihovem priporočilu je naše vozilo podalo zahtevo za prevzem vodenja šest sekund pred pričakovanim trkom z oviro. Vsak od 36 udeležencev je bil primoran prevzeti vodenje šestkrat. Skupno je bilo v uporabniški študiji torej izvedenih 216 primerov prevzema vodenja. Vzrok za potrebo po prevzemu vodenja so bile delne ali popolne zapore ceste. V 144 primerih (dve tretjini nabora podatkov) so vozniki lahko obvozili zaprti del ceste po tretjem voznem pasu, ker je ovira zasedala le dva od treh pasov na avtocesti. V preostalih 72 primerih so morali vozniki zaradi popolne zapore popolnoma ustaviti.

Za ugotavljanje najverjetnejšega vzroka trka smo pregledali video posnetke poteka prevzema vodenja, ki jih je posnela barvna kamera visoke ločljivosti (FullHD) nameščena na očalih – sledilniku pogleda, ki jih je uporabljal voznik. Posnetki tako predstavljajo voznikov pogled med vožnjo. Da bi bila opažanja natančnejša in objektivnejša, smo analizirali še naslednje spremenljivke, povezane z vožnjo, in za prikaz ustvarili videoposnetke animiranih grafov, ki prikazujejo njihove vrednosti:

- *pozornost* (časovni interval od zahteve za prevzem vodenja do prvega pogleda na cesto),
- *reakcijski čas* (časovni interval od zahteve za prevzem vodenja do pritiska na zavorni pedal za več kot 10 % ali obrata volana za več kot dve stopinji),
- *čas do prvega zaviranja*,
- *hitrost vozila*,
- *silo na zavornem pedalu* in
- *kot volana*.

Animirani grafi spremenljivk so bili predstavljeni ob videu, posnetem s sledilnikom pogleda. Videoposnetki vključujejo tudi krožec, ki označuje usmerjenost voznikovega pogleda. Zaslonski posnetki so predstavljeni na slikah 1–5. Neuspešne poskuse prevzema vodenja smo si ogledali in najprej zabeležili

najverjetnejše vzroke za voznikov neuspeh. Primere s podobnimi vzroki smo nato združili v skupine.

## 3 Rezultati

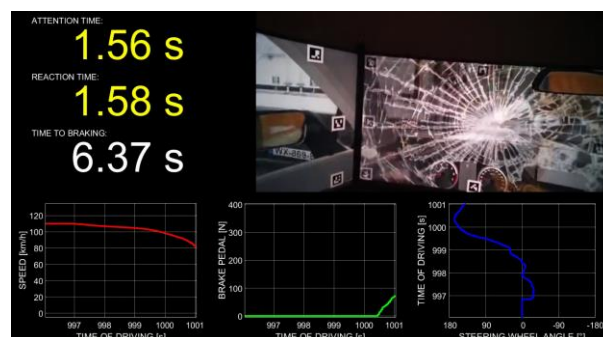
Uporabljeni nabor podatkov je vseboval 216 dogodkov s prevzemi vodenja pogojno avtonomnih vozil. V 72 primerih je voznik moral popolnoma ustaviti vozilo, da bi se izognil trku, v drugih primerih pa je voznik lahko obvozil zaporo tako, da je zapeljal na sosednji vozni pas. Vsak od 18 (8,3%) neuspešnih primerov prevzema vodenja se je zgodil med enim od 72 dogodkov, pri katerih je moral voznik zavirati. Teh 18 neuspešnih primerov prevzema vodenja smo razvrstili v pet skupin:

1. voznik ne zavira,
2. voznik prevzame vodenje prepozno,
3. voznik ne prevzame vodenja,
4. voznik je zatopljen v sekundarno nalogo,
5. voznik ne obvladuje uporabniškega vmesnika.

Posamezne skupine so podrobneje predstavljene v naslednjih podpoglavjih, razvrščenih po številu dogodkov padajoče.

### 3.1 Voznik ne zavira

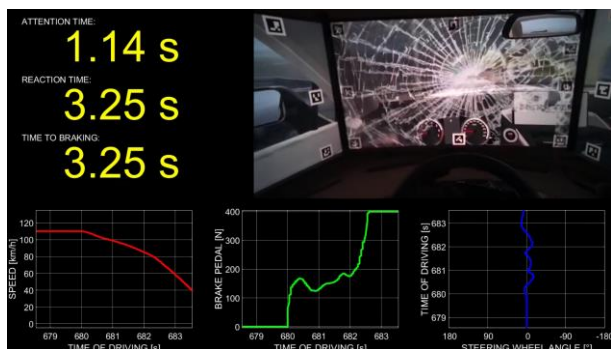
Pri osmih od 18 trkov vozniki sploh niso zavirali. Večinoma so vodenje vozila prevzeli z vrtenjem volana. Nekateri vozniki so celo zapeljali izven cestišča, da bi se izognili cestni zapori (večinoma neuspešno).



Slika 1. Primer neuspešnega prevzema vodenja, kjer voznik ni zaviral (čas do prvega zaviranja je daljši od 6 s). Zeleni graf (spodaj v sredini) predstavlja silo na zavorni pedal – opazimo, da je voznik zaviral šele po trku.

### 3.2 Voznik prevzame vodenje prepozno

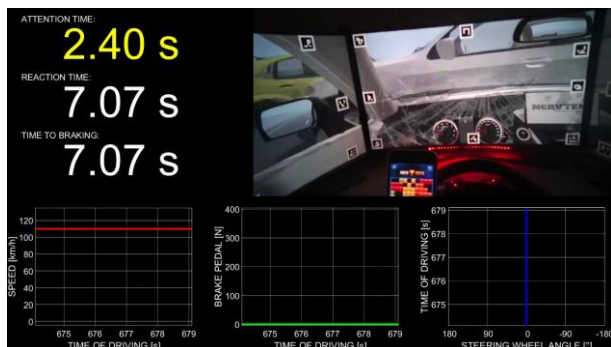
Pri petih od 18 trkov so se vozniki odzvali prepozno, da bi lahko popolnoma ustavili vozilo pred trkom. Ta skupina vključuje tudi dogodke, kjer so bili izmerjeni reakcijski časi sicer precej nizki, a vozniki niso izvedli nobenega drugega dejanja, kot da so preprosto nakazali prevzem z rahlim dotikom zavornega pedala ali volana, nato pa se prepustili situaciji (trku).



Slika 2. Primer neuspešnega prevzema vodenja, kjer je voznik prepozno prevzel vodenje. Zeleni graf (spodaj v sredini) predstavlja silo na zavorni pedal – opazimo, da je prevzem dokaj pozen, poleg tega voznik začne polno zavirati šele tik pred trkom.

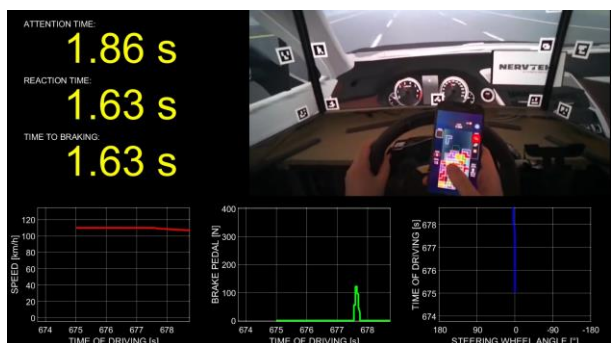
### 3.3 Voznik ne prevzame vodenja

Pri dveh od 18 trkov voznika sploh nista izvedla prevzema vodenja. Vozilo je v obeh primerih s polno hitrostjo zapeljalo naravnost v zaporo.



Slika 3. Primer neuspešnega prevzema vodenja, kjer voznik sploh ni prevzel vodenja (kar nakazuje rdeče obarvan trak pod armaturno ploščo), niti s pritiskom na zavoro (zeleni graf spodaj v sredini), niti z zasukom volana (modri graf spodaj desno).

### 3.4 Voznik je zatopljen v sekundarno nalogo



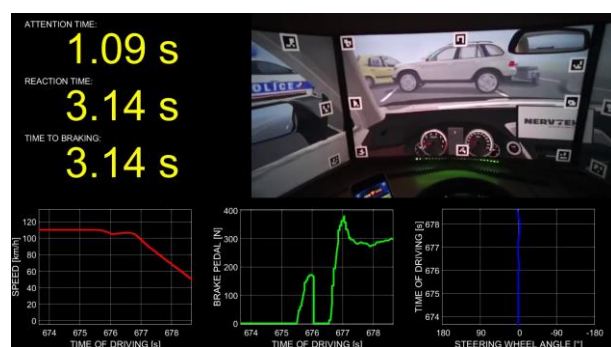
Slika 4. Primer neuspešnega prevzema vodenja, kjer je voznik zatopljen v sekundarno nalogo. Voznik je sicer sprva prevzel vodenje z rahlim pritiskom na zavoro (zeleni graf spodaj v sredini), a je nato nadaljeval z igranjem igre in ni ukrepal za razrešitev kritične situacije.

Pri dveh od 18 trkov je bilo moč opaziti, da sta bila voznika preveč zatopljena v sekundarno nalogo (igro na

pametnem telefonu) in sta se posledično odzvala prepozno ali nezadostno, na primer s prerahlim pritiskom na zavoro. Zatopljenost voznikov je jasno razvidna tudi iz videoposnetkov: ko je vozilo izdalo zahtevo za prevzem vodenja, sta voznika sicer izvedla prevzem vodenja, a sta hkrati še naprej igrala igro na pametnem telefonu in na koncu trčila.

### 3.5 Voznik ne obvladuje uporabniškega vmesnika

Pri enem od 18 trkov je voznik sicer pravočasno prevzel vodenje, a je takoj za tem, še pred razrešitvijo kritične situacije, ponovno vključil popolnoma avtomatizirano vožnjo, naknadnega prevzema vodenja pa ni bilo moč zaznati. Na koncu je vozilo v popolnoma avtonomnem načinu trčilo v zaporo, ker je imelo premalo časa za ukrepanje.



Slika 5. Primer neuspešnega prevzema vodenja, kjer je imel voznik težave z uporabniškim vmesnikom. Voznik je sprva rahlo zaviral, nato nekaj časa ni reagiral, za tem pa ponovno vključil popolnoma avtomatiziran način vožnje (glej zeleni graf sile pritiska na zavorni pedal, spodaj v sredini).

## 4 Razprava in zaključek

Možne vzroke za neuspešen prevzem vodenja pogojno avtonomnega vozila smo razporedili v pet skupin. Rezultati so pokazali, da vozniki v večini neuspešnih poskusov prevzema vodenja niso zavirali oz. so pozabili zavirati in s tem znižati hitrost vozila. Z obzirom na to ugotovitev bi bilo v bodoče smiselno ciljno načrtovati take uporabniške vmesnike za prevzem vodenja, ki bi vzpodbujali zaviranje oz. zniževanje hitrosti vozila. V primerih, ko vozniki prevzamejo vodenje zgolj z obračanjem volana, bi lahko vodenje vzdolžne smeri vozila verjetno celo ostalo samodejno, kot npr. če bi pustili vključen aktivni (radarski) tempomat (ang. *Adaptive Cruise Control – ACC*). Vozniki bi seveda še vseeno lahko oviro le obvozili, v kolikor bi bilo za to na voljo dovolj prostora na ali ob cestišču. Kot ena izmed možnosti se kaže tudi manjša prilagoditev trenutnih sistemov z aktivnim tempomatom, kjer bi bilo v primeru podane zahteve za prevzem vodenja dovoljeno le avtomatizirano zniževanje hitrosti, ne pa tudi pospeševanja nazaj na nastavljeno hitrost. Med prevzemom vodenja in reševanjem kritičnih situacij se namreč lahko zgodi, da vozilo za kratek čas zapelje na prost vozni pas, ali pa se postavi pod kotom glede na

cestišče – v nobenem od teh primerov pa pospeševanje ne bi bilo koristno.

V splošnem verjetno ne bi smeli že ob eni sami voznikovi reakciji privzeti, da gre za popoln prevzem vodenja, kot predlagajo Mukhopadhyay idr. [10]. Najmanj kar lahko storimo je, da prevzem vodenja ločimo vsaj na prevzem vzdolžnega in prečnega vodenja. V prihodnje bi bilo smiselno še podrobneje določiti, do katere mere je voznik v katerem trenutku že prevzel vodenje, kot je npr. Endsley razdelila stopnje pridobljenega situacijskega zavedanja [9], ali še natančneje, morda celo na zvezni skali.

Ker smo opazili tudi veliko dogodkov, pri katerih so bile reakcije preprosto prepozne, bi bilo za voznike morda koristno, da bi vozilo samo od sebe sprožilo manever samodejnega postopnega zaviranja. To je lahko bodisi sočasno s podajo zahteve za prevzem vodenja ali vsaj kot del rezervnega načrta, kot to že predlagajo Butmee idr. [11] ali Pipkorn idr. [14].

Medtem ko so predvidene koristi avtomatiziranih vozil in pogojno avtomatizirane vožnje ogromne, je treba poudariti tudi nekaj še ne povsem rešenih izzivov, ki predstavljajo nadaljnje delo. Ti poleg načrtovanja uporabniških vmesnikov za pogojno avtonomna vozila vključujejo še zagotavljanje robustnih ukrepov kibernetike varnosti, vzpostavitev pravnega in regulativnega okvira, reševanje etičnih dilem, povezanih z algoritmi odločanja, ter pridobivanje javnega zaupanja in sprejemanja.

## Zahvala

Raziskavo je delno financirala ARRS v okviru raziskovalnega programa ICT4QoL – Informacijsko komunikacijske tehnologije za kakovostno življenje (P2-0246).

## Literatura

- [1] SAE International, "J3016\_202104: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles," 30. april 2021. [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/) (dostop 28. 1. 2023).
- [2] A. Eriksson in N. A. Stanton, "Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control," *Hum Factors*, vol. 59, no. 4, pp. 689–705, junij 2017, doi: 10.1177/0018720816685832.
- [3] X. Tan in Y. Zhang, "The effects of takeover request lead time on drivers' situation awareness for manually exiting from freeways: A web-based study on level 3 automated vehicles," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 168, p. 106593, april 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106593.
- [4] S. S. Borojeni, T. Wallbaum, W. Heuten in S. Boll, "Comparing Shape-Changing and Vibro-Tactile Steering Wheels for Take-Over Requests in Highly Automated Driving," v *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, in *AutomotiveUI '17*. New York, NY, USA: ACM, 2017, pp. 221–225. doi: 10.1145/3122986.3123003.
- [5] J. Wan in C. Wu, "The Effects of Vibration Patterns of Take-Over Request and Non-Driving Tasks on Taking-Over Control of Automated Vehicles," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 34, no. 11, pp. 987–998, november 2018, doi: 10.1080/10447318.2017.1404778.
- [6] F. Naujoks, C. Mai in A. Neukum, "The Effect of Urgency of Take-Over Requests During Highly Automated Driving under Distraction Conditions," v *Advances in Human Aspects of Transportation: Part I*, AHFE Conference, 2014.
- [7] I. Politis, S. Brewster in F. Pollick, "Language-based Multimodal Displays for the Handover of Control in Autonomous Cars," v *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, in *AutomotiveUI '15*. New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 3–10. doi: 10.1145/2799250.2799262.
- [8] S. Petermeijer, P. Bazilinskyy, K. Bengler in J. de Winter, "Take-over again: Investigating multimodal and directional TORs to get the driver back into the loop," *Applied Ergonomics*, vol. 62, pp. 204–215, julij 2017, doi: 10.1016/j.apergo.2017.02.023.
- [9] M. R. Endsley, "Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems," *Hum Factors*, vol. 37, no. 1, pp. 32–64, marec 1995, doi: 10.1518/001872095779049543.
- [10] A. Mukhopadhyay, V. K. Sharma, P. T. Gaikwad, A. K. Sandula in P. Biswas, "Exploring the Use of XR Interfaces for Driver Assistance in Take Over Request," v *Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, in *AutomotiveUI '22*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Sep. 2022, pp. 58–61. doi: 10.1145/3544999.3552527.
- [11] T. Butmee, T. C. Lansdown in G. H. Walker, "Alternative options for dealing with automation failures: Automated stopping vs. Taking over manual control," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 88, pp. 248–257, julij 2022, doi: 10.1016/j.trf.2022.03.007.
- [12] T. Gruden, S. Tomažič, J. Sodnik in G. Jakus, "A user study of directional tactile and auditory user interfaces for take-over requests in conditionally automated vehicles," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 174, p. 106766, september 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106766.
- [13] D. Shi, T. Wang, Y. Chen in C. Liu, "Exploring the Effects of Request Time, Secondary Task, and Take-Over Mode on Take-Over Performance," v *2021 6th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE 2021)*, Z. Zhang, Ed., in *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Singapore: Springer Nature, 2022, pp. 993–1006. doi: 10.1007/978-981-19-2259-6\_88.
- [14] L. Pipkorn, M. Dozza in E. Tivesten, "Driver Visual Attention Before and After Take-Over Requests During Automated Driving on Public Roads," *Hum Factors*, p. 00187208221093863, junij 2022, doi: 10.1177/00187208221093863.