

Metode za ocenjevanje kognitivne obremenitve voznikov

Kristina Stojmenova, Jaka Sodnik

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

Povzetek. Čeprav so današnja vozila tehnično bolj dovršena in varnejša, vožnja kot voznikova naloga postaja vse kompleksnejša. To je posledica splošnega povečanja števila vozil v prometu, pa tudi povečanega števila informacij, ki jih ponujajo informacijsko-komunikacijski (IK) sistemi v vozilu. Uporaba IK sistemov med vožnjo predstavlja določeno motnjo vozniku, ki jo razdelimo na tri tipe: vizualno, manualno in kognitivno. Prvi dve je možno odpraviti s premišljenim pozicioniranjem vhodno-izhodnih komponent IK vmesnikov, medtem ko je kognitivno obremenitev veliko težje odpraviti, saj je odvisna od vsebine informacije in ne od oblike oziroma modalnosti informacije. V tem prispevku predstavljamo različne načine, s katerimi je možno zmanjšati vizualno in manualno motnjo ter podajamo podrobnejši opis metod, ki se uporabljajo za merjenje voznikove kognitivne obremenitve. Menimo, da je potrebno iskati nove inovativne načine interakcije z različnimi napravami v vozilu ter natančne mehanizme za oceno motnje, ki jo te naprave povzročajo vozniku. Posledično želimo zagotoviti varnost vožnje tudi ob uporabi IK naprav ter tudi ohraniti ali celo povečati količino informacij, ki jih IK sistemi ponujajo in s tem izboljšujejo voznikovo izkušnjo.

Ključne besede: kognitivna obremenitev, varna vožnja, interakcija človek–stroj, odvratanje pozornosti.

Methods for assessment of drivers' cognitive load

Although today's vehicles are technically more sophisticated and safer than ever, driving as a task is becoming ever more complex. The increasing level of complexity is a result of the general increase in number of vehicles on the road as well as the increased amount of information presented through the in-vehicle information-communication (IC) systems. There are three types of driver's distractions that can appear due to use of in-vehicle IC systems: visual, manual, and cognitive distraction. The first two can be eliminated by carefully positioning the input-output components of the in-vehicle IC systems. On the other hand, eliminating cognitive distraction is much more difficult because it is caused by the information's content rather than the information modality. In this paper, we present different possible ways how to lower visual and tactile distraction and provide a more detailed description of methods used for assessing driver's cognitive load. We believe it is necessary to look for new innovative ways for human-machine interaction (HMI) and develop more precise methods for accessing the load they impose in order to ensure safe driving and also to maintain or even increase the amount of information available on the in-vehicle IC systems and consequently improve the driver's experience.

Keywords: cognitive load, safe driving, human-machine interaction (HMI), distraction.

1 UVOD

Način uporabe informacijsko-komunikacijske naprave določajo njene vhodno-izhodne komponente, ki sestavljajo uporabniški vmesnik. Interakcija človek–

računalnik (ang. *HCI – Human computer interaction*) ali interakcija človek–stroj (ang. *HMI – Human machine interaction*) je znanstveno področje, ki proučuje različne načine izmenjave informacij in komunikacije med človekom in napravo. Interakcija lahko poteka preko enega čutila ali z uporabo več čutil sočasno (večmodalna interakcija).

Večmodalna interakcija vključuje sočasno uporabo večjega števila vhodno-izhodnih naprav in komunikacijskih kanalov. Raziskave na področju večmodalne interakcije so izrednega pomena za številna področja, kjer imamo opravka z uporabnikom, ki je primoran sočasno opravljati več nalog in opravil. Takšen primer je uporaba mobilnega telefona ali druge pametne naprave, ki se pogosto uporablja med opravljanjem neke druge primarne aktivnosti.

Sodobni informacijsko-komunikacijski (IK) sistemi v vozilih ponujajo vedno več informacij, ki poleg informacij o vožnji, stanju na cesti in drugih z vožnjo povezanih informacij, ponujajo tudi razvedrilne vsebine, dostop do spleta, telefonijo in veliko drugih, z vožnjo neposredno nepovezanih vsebin. Glede na trend podaljševanja časa, ki ga človek preživi v vozilu, je razvoj IK sistemov oz. število vsebin, ki jih ponujajo, zelo pomemben in uporaben za voznika. Vendar uporaba teh sistemov predstavlja tudi odvratanje pozornosti od primarne naloge, ki je uspešno in varno upravljanje vozila. Da bi ohranili varnost vožnje in hkrati obdržali ali celo povečali število informacij, ki ga ponujajo IK sistemi v vozilih, je potrebno poiskati nove

inovativne načine komunikacije z različnimi napravami ter natančne mehanizme za oceno motnje, ki jo te naprave povzročajo.

2 VRSTE MOTENJ V VOZILU

Motnje oziroma odvratanja pozornosti, ki jih srečujemo v avtomobilih kot posledico interakcije človek–stroj, lahko razdelimo v tri skupine [1]:

- ročno (manualno) odvratanje pozornosti,
- vizualno odvratanje pozornosti in
- kognitivno odvratanje pozornosti.

Prvo vrsto odvratanja pozornosti (manualna motnja) predstavlja interakcija, ki zahteva od voznika, da odmakne eno ali obe roki z volana. To je posledica uporabe IK sistemov, ki se upravljajo ročno. Do te motnje pride pri sporočanju informacij (ukazov) v sistem, kot na primer pri zamenjavi radijske postaje, vklopu klime, vnosu naslova destinacije v navigacijske naprave itd.

Drugo vrsto odvratanja pozornosti (vizualna motnja) predstavlja interakcija, ki zahteva od voznika, da usmeri svoj pogled (ali fokus pogleda) na neko točko v vozilu in posledično stran od vozišča. To so vsi IK sistemi, ki vizualno sporočajo informacije vozniku. Do te motnje pride pri zaznavanju informacij iz sistema, kot so odčitavanje zunanje in notranje temperature avta, opazovanje cestne razporeditve na zaslonu navigacijske naprave, spremljanje obveščevalnih lučk ali besednih opozoril itd.

Tretja vrsta odvratanja pozornosti (kognitivna obremenitev) je najbolj kompleksna, saj za razliko od prejšnjih dveh ni le posledica zaznavanja ali sporočanja informacij, temveč je tudi posledica obdelave le-teh. Kognitivno obremenitev je najtežje izmeriti, saj je odvisna od vseh čutil hkrati, kakor tudi od povezave med njimi.

3 KAKO ZMANJŠATI MOTNJE V VOZILU

Uporaba IK sistemov in raznih mobilnih naprav v vozilih je eden izmed najpogostejših vzrokov za prometne nesreče tako med mladimi kot tudi med izkušenimi vozniki [2]. V ta namen je bilo narejenih veliko raziskav, kako izboljšati predstavitev informacij in s tem narediti uporabo informacijskih sistemov v vozilu bolj varno in manj motečo. Manualno odvratanje pozornosti so uspešno zmanjšali s premikom ročno upravljanih vhodnih tipk na volan [3] in [4] (Slika 1) in z uvedbo prepoznavne glasovnih ukazov za upravljanje informacijskih sistemov [6] in [7] ter tako posledično preprečili umikanje rok voznika z volana. K zmanjšanju vizualnega odvratanja pozornosti so znatno pripomogle spremembe in novosti na področju prikazovanja informacij. V večini vozil na trgu so informacije še vedno prikazane na zaslonih armaturnih plošč (ang. *Head-down displays*), ki se nahajajo pod vidnim poljem voznika, ki je sicer usmerjeno na cesto in vozišče.

Najsodobnejše tehnologije vizualnega prikazovanja informacij pa sedaj omogočajo tudi prikaz informacij na zaslonu znotraj vidnega polja voznika, in sicer neposredno nad volanom.



Slika 1: Volan, opremljen z ročnim upravljanjem vhodnih tipk [5].

Informacije so lahko projicirane na vetrobransko steklo (ang. *Head-up display*) (Slika 2) ali celo direktno na cesto [8], [9], [10], [11], [12], [13] in [14]. Druga varnejša alternativa je tudi zvočni prikaz informacij [7], [15], [16] in [17].



Slika 2. Prikazovanje informacij na vetrobranskem steklu (*Head-up display*) [14].

Za zmanjševanje kognitivnega odvratanja pozornosti pa je potrebno optimalno prilagoditi način sporočanja in način sprejemanja informacij ter vsebino same informacije. Po teoriji o kognitivni obremenitvi je sposobnost obdelave informacij v kratkoročnem (delovnem) spominu človeka omejena. Opravljanje ene ali več nalog hkrati, ki zahtevajo veliko količino (omejene) kognitivne zmogljivosti, lahko povzroči kognitivno preobremenitev [18].

Medtem ko se pri zmerni obremenitvi pozornostnih virov obdelava manj pomembnih nalog lahko zavestno onemogoči z uporabo selektivne pozornosti, se v primeru visoke kognitivne obremenitve nezavedno povečuje obdelava tudi le-teh [19]. Tako lahko v veliki množici tekačev na maratonu poiščemo in spremljamo tek le svojega prijatelja, vendar ne moremo brati kompleksnega strokovnega besedila na glasnem rock

koncertu. V veliko vsakdanjih situacijah je ta pojav neopazen, vendar ima pri vožnji lahko resne posledice. V primeru kognitivne preobremenitve voznik ne more zavestno določiti, da bo vožnja njegova primarna naloga in se lahko namesto na dogajanje na cesti osredotoči na procesiranje manj pomembnih informacij, kot so na primer pogovor, ki ga opravlja prek telefona. Zato je zelo pomembno oceniti količino kognitivne obremenitve, ki jo uporaba IK sistema naloži vozniku med vožnjo. Te rezultate je treba skrbno upoštevati pri načrtovanju novih vmesnikov v vozilih z namenom optimizacije uporabe kratkoročnega spomina in se s tem izogniti kognitivni preobremenitvi. Pri tem je zelo pomembno izbrati pravilno in učinkovito metodo za merjenje kognitivne obremenitve, ki upošteva dinamičnost vožnje in lastnosti IK sistemov.

Najpogosteje uporabljane metode za merjenje kognitivne obremenitve lahko razdelimo v tri večje skupine:

- metode za subjektivno (samoevalvacijsko) merjenje,
- metode na osnovi psihofizioloških meritev in
- metode za posredno merjenje.

4 METODE ZA SUBJEKTIVNO OCENJEVANJE KOGNITIVNE OBREMITVE

Kognitivno obremenitev lahko merimo subjektivno s pomočjo samoevalvacijskih vprašalnikov, kjer testiranci sami ocenijo težavnost oziroma količino obremenitve, povzročene s strani naloge, ki jo opravljajo, ali sistema, ki ga ocenjujejo.

V literaturi najpogosteje srečujemo vprašalnik *Nasa Task Load (NASA TLX)*, ki se uporablja za ocenjevanje kognitivne obremenitve ob različnih načinih interakcije človek–stroj. Vprašalnik ocenjuje šest parametrov, ki vplivajo na skupno kognitivno obremenitev: mentalna, fizična in časovna obremenitev ter uspešnost, napor in nezadovoljstvo [20]. Vprašalnik NASA TLX se uporablja za merjenje kognitivne obremenitve na več različnih področjih, vendar se je izkazal za zelo učinkovitega tudi za merjenje kognitivne obremenitve voznikov pri interakciji z novimi IK sistemi in zasloni na dotik v vozilih [14] in [21]. Potek samoocenjevanja s pomočjo NASA TLX vprašalnika je sestavljen iz dveh delov: vrednotenja vsakega od zgoraj naštetih parametrov glede na zahtevnosti opravljene naloge (ocene od 0 do 20, kjer 20 predstavlja najvišjo obremenitev) ter določanja uteži za vsak parameter glede na njegovo pomembnost pri opravljanju naloge v primerjavi s preostalimi parametri (ocene od 0 do 5, kjer 5 pomeni najbolj pomemben). Končna ocena je seštevek vseh produktov ocen in uteži za posamezen parameter.

Leta 2008 je bila narejena nova različica vprašalnika *NASA TLX – Driving Activity Load index (DALI)*, ki je namenjen izključno voznikom. Vprašalnik prav tako ocenjuje šest parametrov: pozornost, vmesnik, stres, časovno zahtevnost ter vizualni in avditorni napor [22].

Vprašalnik je bil posodobljen predvsem zato, ker je interakcija voznika z IK sistemi v vozilih nekoliko specifična oblika komunikacije človek–stroj, saj je interakcijsko okolje v vozilu relativno omejeno v primerjavi s klasičnimi IK sistemi. Posledično so zato za ocenjevanje izbrani nekoliko drugačni parametri, ki bolje ponazarjajo povečano kognitivno obremenitev v takšnem okolju.

Raziskave so pokazale, da je možno zanesljivo in nevsiljivo oceniti kognitivno obremenitev tudi z ocenjevanjem samo enega parametra (na primer mentalni napor ali uspešnost opravljanje naloge [23]) z uporabo 7-stopenjske in 9-stopenjske Likertove lestvice (enodimenzionalni vprašalniki [24]).

Največja pomanjkljivost samoevalvacijskih vprašalnikov je, da se izpolnjujejo po opravljeni nalogi. Pri daljših nalogah ali več zaporedno opravljenih nalogah na oceno uporabnika pogosto najmočnejše vpliva zadnji del naloge oz. zadnja opravljena naloga, saj je od te minilo najmanj časa in se je uporabniki najboljše spomnijo. Prav tako je težko primerjati absolutne ocene parametrov, saj lahko za vsako osebo začetni nivo predstavlja drugačen nivo napora. Posledično lahko enaka ocena pomeni različen napor za dve različni osebi.

5 METODE NA OSNOVI PSIHOFIZIOLOŠKIH MERITEV

Za ocenjevanje kognitivne obremenitve se uporabljajo tudi različne psihofiziološke meritve, ki merijo spremembe različnih telesnih značilnosti, ki so pokazale direktno ali posredno korelacijo s kognitivno obremenitvijo. Povečan obseg kognitivne obremenitve je možno oceniti s sledenjem različnim očesnim dejavnostim, kot so: premer zenice, trajanje in pogostost mežikanja, trajanje in pogostost fiksiranja pogleda ter hitrost in razdalja pomika oči [25], [26], [27], [28] in [29]. S sledenjem premera zenice je možno oceniti povišan nivo vizualne in kognitivne obremenitve, ki ga opravljanje določene naloge povzroči uporabniku (ang. *Task Evoked Pupillary Response*) [25]. Pogostost mežikanja se poveča pri opravljanju kognitivno zahtevnih nalog, in sicer kot funkcija časa [26]. Po drugi strani se trajanje mežikanja skrajša na začetku naloge in se podaljša, kadar uporabnik postane zaspan in utrujen – parametri, ki se prav tako pogosto povezujejo s kognitivno obremenitvijo. Velika prednost, ki jo raziskovalci vidijo v metodah za sledenje očesnim aktivnostim kot indikator kognitivne obremenitve, je v ceni in dostopnosti opreme za opravljanje teh meritev (npr. naprave za slednje očesnih premikov, ang. *eye tracker*). Slaba stran sledenja očesnim aktivnostim je velika občutljivost očesa na svetlobo, ki lahko vpliva na opazovane parametre in posledično na izmerjene rezultate. Pri študijah v simuliranem okolju je te motnje možno odpraviti oziroma kontrolirati, vendar je uporaba

teh metod v realnem vozilu verjetno težje izvedljiva in manj natančna.

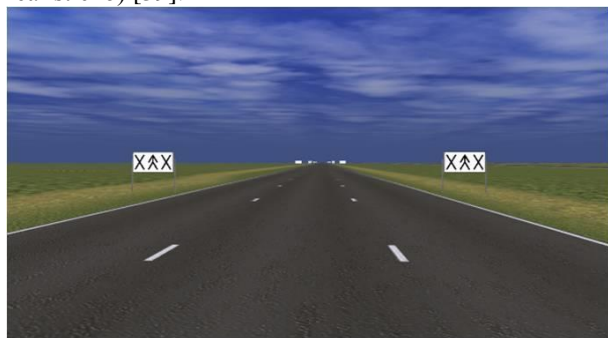
Povečan obseg kognitivne obremenitve je možno izmeriti tudi z elektroencefalografijo (EEG), kjer poteka merjenje aktivnosti velikih skupin relativno oddaljenih nevronov možganske skorje [30], [31] in [32]. Oprema za izvajanje EEG meritev je relativno draga, interpretacija rezultatov pa je veliko kompleksnejša od preostalih metod. Kognitivno obremenitev lahko merimo tudi s spremljanjem elektrografije (EKG) ter opazovanjem frekvence srčnega utripa [33] in [34], galvanskega odziva kože in sprememb v prevodnosti kože [35]. Povečana kognitivna obremenitev povzroči povečano kardiovaskularno aktivnost in poveča prevodnost kože.

Psihofiziološke meritve so pokazale visoko stopnjo zanesljivosti pri zaznavanju kognitivne obremenitve. Uporaba teh metod kljub temu ni najbolj primerna za voznike, ker je vožnja dinamična naloga, vozilo pa izredno neugodno merilno okolje, ki povzroča zelo neugodno razmerje signal-šum.

6 METODE ZA POSREDNO OCENJEVANJE KOGNITIVNE OBREMITVE

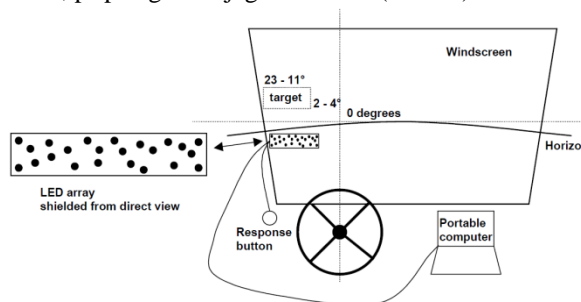
V zadnjo skupino spadajo metode za posredno merjenje kognitivne obremenitve, ki so bile razvite predvsem za voznike. Pri teh metodah se ocenjuje uspešnost opravljanja dodatne sekundarne naloge ob vožnji, saj so raziskave pokazale visoko korelacijo med kognitivno obremenitvijo in uspešnostjo opravljanja sekundarne naloge.

Zelo razširjena metoda za posredno merjenje voznikove kognitivne obremenitve je test zamenjave voznega pasu (ang. *Lane change test*) [36], [37] in [38]. Zanj je značilna relativno enostavna implementacija v različnih voznih okoljih in enostavna obdelava zajetih podatkov. Sekundarna naloga voznika je zamenjati vozni pas v skladu z navodili prometne signalizacije (Slika 3). Vijuganje, velikost kota pri zamenjavi pasu in število pravilno opravljenih zamenjav so pokazali korelacijo z obsegom kognitivne obremenitve voznika. Pomanjkljivost testa je vpliv vizualne motnje (zaradi vizualne predstavitve sekundarne naloge s pomočjo prometne signalizacije) na koeficiente, povezane s kognitivno obremenitvijo ter nizka stopnja ekološke veljavnosti poskusa (eksperimentalno okolje ni dovolj realistično) [39].



Slika 3. Test zamenjave voznega pasu [36].

V zadnjem času pridobiva na pozornosti tudi metoda Zaznavno-odzivne naloge (ZON) (ang. *Detection Response Task (DRT)*), ki meri učinek, ki ga ima kognitivna obremenitev na voznikovo pozornost. To je metoda, ki temelji na zaznavanju dražljajev, reakcijskem času voznika ter uspešnosti opravljanja sekundarne naloge. Trenutno je v postopku standardizacije, in sicer v okviru osnutka standarda ISO DIS 17488 [40]. Metoda ZON je bila izpeljana iz metode za periferno detekcijo dražljajev (ang. *Peripheral Detection Task (PDT)*), ki je prav tako metoda za posredno merjenje kognitivne obremenitve voznika s pomočjo sekundarne naloge [41] in [42]. Pri slednji je voznik izpostavljen vizualnemu dražljaju v obliki rdeče točkaste svetlobe, ki se pojavlja na vsakih 3 do 5 sekund (naključno v tem časovnem intervalu) in je postavljen v vidno polje voznika, in sicer od 5° do 25° levo od normalne linije pogleda (Slika 4). Naloga voznika je reagirati na dražljaj s pritiskanjem gumba ob volanu, pripetega na njegov kazalec (Slika 5).



Slika 4. Postavitev vizualnega dražljaja v vozilu pri metodi za periferno detekcijo dražljajev [42].

Slabost te metode je v fiksni postavitvi vizualnega dražljaja, ki ga voznik lahko spregleda tudi zaradi dinamičnosti vožnje in ne neposredno zaradi velike kognitivne preobremenitve [43][44]. V ta namen je bila razvita izboljšana metoda ZON, ki deluje na podoben način, a uporablja dražljaje različnih modalnosti (vizualnega, taktilnega in zvočnega) [40]. Metoda ZON opazuje naslednje kazalnike povišane kognitivne obremenitve:

- reakcijski čas voznika,
- uspešnost zaznavanja dražljajev in
- uspešnost opravljanja sekundarne naloge.

Pri tem je reakcijski čas voznika čas, ki ga porabi, da zazna in odreagira na dražljaj s pritiskom na gumb ob volanu, ki je pripet na njegov kazalec. Uspešnost zaznavanja dražljajev je razmerje med številom uspešno zaznanih dražljajev in vseh predstavljenih dražljajev, pri čemer se za uspešne reakcije upoštevajo samo tiste, ki so izvedene v časovnem intervalu od 100 do 2500 ms po nastopu dražljaja. Rezultat merjenja uspešnosti opravljanja sekundarne naloge je odvisen od oblike sekundarne naloge in se najpogosteje izraža v odstotkih.

Možnost izbire različnih dražljajev je pomembna z vidika teorije o več virih, ki govori o tem, da imamo ljudje v danem trenutku omejeno količino pozornosti. Različne naloge zahtevajo različne sprejemne vire pri človeku, ki sočasno zahtevajo našo pozornost. To pomeni, da se količina pozornosti, ki jo ima človek v danem trenutku na voljo, deli na več virov oziroma čutil, s katerimi lahko sprejemamo informacije. Pri testiranju vpliva kognitivne obremenitve izbranega IK sistema v vozilu (sekundarne naloge), ki za interakcijo zahteva določeno modalnost, je tako v izogib zasičenju enega čutila (kot na primer pri metodi za periferno detekcijo dražljajev) potrebno za metodo ZON izbrati drugo modalnost dražljaja.

7 SIMULIRANJE KOGNITIVNE OBREMENTIVNE ZA PRIMERJAVO RAZLIČNIH METOD

Pri ocenjevanju kognitivne obremenitve in primerjavi različnih metod se pojavi potreba tudi po simulaciji obremenitve oz. nadzorovani povzročitvi obremenitve pri posameznem uporabniku. To pomeni, da želimo s posebno miselno in spominsko nalogo nadzorovano povzročiti kognitivno obremenitev, ki je primerljiva z obremenitvijo, ki je posledica uporabe posamezne IK naprave.

Kognitivno obremenitev, ki jo povzroči določena naloga, ni odvisna samo od vsebine informacije, ki jo morajo možgani obdelati (kratkoročni spomin), temveč tudi od dolgoročnega spomina posameznika, ki vključuje predznanje, kulturne navade, osebna prepričanja, demografske lastnosti ipd. Ocena kognitivne obremenitve sicer nima določene merske enote, temveč se vedno oceni le njeno povečanje ali zmanjšanje glede na referenčno vrednost, ta pa je za vsakega posameznika različna. Posledično je zato potrebno skrbno izbrati takšno kognitivno nalogo, ki bo omogočila primerljivo kognitivno obremenitev ne glede na osebne lastnosti voznika. V velikem številu raziskav se tako uporablja štetje (bolj pogosto štetje nazaj), kjer se s številom korakov stopnjuje zahtevnost oziroma kognitivna obremenitev (Tabela 1).

Tabela 1. Zaporedje števil pri štetju nazaj za različne nivoje kognitivne obremenitve

Štetje nazaj	Zaporedje števil					
S korakom 2	100	98	96	94	92	90
S korakom 7	100	93	86	79	72	65

V tem primeru lahko matematično predznanje (dolgoročni spomin) vpliva na rezultate in povzročeno kognitivno obremenitev, predvsem za ponovitve z večjim korakom štetja nazaj. Kot veliko primernejša se zato izkaže naloga, ki ne zahteva računanja in za obdelavo informacije uporablja le kratkoročni spomin. Takšne lastnosti ima spominska kognitivna naloga *n*-nazaj, ki je zaradi enostavne izvedbe uporabna in izvedljiva tudi v dinamičnih okoljih kot je vozilo [45][46]. V nalogi *n*-nazaj mora voznik ponoviti naključno izbrano enomestno številko *n* mest nazaj.

Tako pri 0-nazaj voznik ponovi zadnjo številko v trenutku, ko jo sliši. V primeru 1-nazaj mora ponoviti predzadnjo številko v trenutku, ko sliši novo (naslednjo številko). Podoben potek je tudi za 2- in 3-nazaj (Tabela 2).

Tabela 2. Zaporedje števil pri kognitivni nalogi *n*-nazaj

Naloga <i>n</i> -nazaj									
Zaporedje, ki ga slišijo vozniki	7	0	2	2	4	8	0	9	1
Odgovor pri 2-nazaj	-	-	7	0	2	2	4	8	0
Odgovor pri 3-nazaj	-	-	-	7	0	2	2	4	8

Za opravljanje te naloge voznik uporablja le kratkoročni spomin in ne potrebuje nikakršnega predznanja.

Z uporabo enake kognitivne naloge je enostavno primerjati več metod ter izbrati najbolj primerno za merjenje kognitivne obremenitve voznika v izbranem okolju.

8 ZAKLJUČEK

Vse vrste motenj v vozilu predstavljajo dodatno obremenitev za voznika, ki ob že tako kompleksni nalogi, kot je sama vožnja, lahko resno ogrožajo voznikovo varnost in varnost ostalih udeležencev v prometu. Poleg določil za tehnično brezhibnost posameznih vozil je potrebno veliko več pozornosti nameniti tudi voznikom in njihovim vozniskim sposobnostim, saj so vozniki tisti, ki upravljajo vozilo in so odgovorni za lastno varnost in varnost drugih udeležencev v prometu. Posledično je potrebno poskrbeti, da so vgrajeni in mobilni IK sistemi v vozilih skrbno zasnovani in da so njihovi uporabniški vmesniki čim manj moteči.

V tem prispevku smo predstavili različne načine, s katerimi je možno zmanjšati vizualno in manualno motnjo ter podrobneje opisali metode, ki se uporabljajo za merjenje voznikove kognitivne obremenitve pri uporabi takšnih IK sistemov. Večina teh metod se pogosto uporablja predvsem v simulatorjih vožnje, določene med njimi pa so primerne tudi za uporabo v realnih vozilih. Tu imamo v mislih predvsem metode za posredno ocenjevanje obremenitve, ki so v večini enostavne za implementacijo, relativno enostavna pa je tudi interpretacija in analiza rezultatov. Zaradi pogostosti uporabe teh metod in njihove omembe v znanstvenih publikacijah je enostavno primerjati svoje rezultate s sorodnimi raziskavami in tako bolje ovrednotiti njihovo znanstveno vrednost in vpliv.

LITERATURA

- [1] Crash avoidance: Distraction. National Highway Traffic Safety Administration. Dostopno na: <http://www.nhtsa.gov/Research/Crash+Avoidance/Distraction>.
- [2] Klauer, S. G., Guo, F., Simons-Morton, B. G., Ouimet, M. C., Lee, S. E., & Dingus, T. A. (2014). Distracted driving and risk of road

- crashes among novice and experienced drivers. *New England journal of medicine*, 370(1), 54–59.
- [3] González, I. E., Wobbrock, J. O., Chau, D. H., Faulring, A., & Myers, B. A. (2007). Eyes on the road, hands on the wheel: thumb-based interaction techniques for input on steering wheels. In *Proceedings of Graphics Interface 2007* (pp. 95–102). ACM.
 - [4] Fujimura, K., Xu, L., Tran, C., Bhandari, R., & Ng-Thow-Hing, V. (2013). Driver queries using wheel-constrained finger pointing and 3-D head-up display visual feedback. In *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 56–62). ACM.
 - [5] BMW M Performance Electronic Steering Wheel. <http://www.shopbmwusa.com/PERFORMANCE/BMW-M-PERFORMANCE/STEERING>.
 - [6] Chen, F., Jonsson, M., Villing, J., & Larsson, S. (2010). Application of Speech Technology in Vehicles. In *Speech Technology* (pp. 195–219). Springer US.
 - [7] Sodnik, J., & Tomažič, S. (2015). *Spatial Auditory Human-computer Interfaces*. Springer.
 - [8] Charissis, V., Naef, M., & Patera, M. (2007, January). Calibration requirements of an automotive HUD Interface using a Virtual Environment: Methodology and Implementation. In *Proceedings of: International Conference in Graphics and Visualisation in Engineering (GVE'07)*, Clearwater, Florida, USA.
 - [9] Park, H., & Kim, K. H. (2013). Efficient information representation method for driver-centered AR-HUD system. In *Design, User Experience, and Usability. User Experience in Novel Technological Environments* (pp. 393–400). Springer Berlin Heidelberg.
 - [10] Poitschke, T., Ablaßmeier, M., Rigoll, G., Bardins, S., Kohlbecher, S. and Schneider, E., 2008, March. Contact-analog information representation in an automotive head-up display. In *Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications* (pp. 119–122). ACM.
 - [11] Tran, C., Bark, K. and Ng-Thow-Hing, V., 2013, October. A left-turn driving aid using projected oncoming vehicle paths with augmented reality. In *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 300–307). ACM.
 - [12] Dicke, C., Jakus, G., & Sodnik, J. (2013). Auditory and Head-Up Displays in Vehicles. In *Human-Computer Interaction. Applications and Services* (pp. 551–560). Springer Berlin Heidelberg.
 - [13] Weinberg, G., Harsham, B., & Medenica, Z. (2011, November). Evaluating the usability of a head-up display for selection from choice lists in cars. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 39–46). ACM.
 - [14] Jakus, G., Dicke, C., Sodnik, J. (2015). A user study of auditory, head-up and multi-modal displays in vehicles. In *Applied ergonomics*, vol. 46, pages 184–192.
 - [15] Sodnik, J., Tomazic, S., Dicke, C., & Billingham, M. (2008, February). Spatial auditory interface for an embedded communication device in a car. In *Advances in Computer-Human Interaction, 2008 First International Conference on* (pp. 69–76). IEEE.
 - [16] Sodnik, J., Dicke, C., Tomažič, S., Billingham, M. (2008). A user study of auditory versus visual interfaces for use while driving. In *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 66(5), pages 318–332.
 - [17] Sodnik, J., Kos, A., & Tomazic, S. (2014, July). 3D audio in human-computer interfaces. In *3DTV-Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*, 2014 (pp. 1–4). IEEE.
 - [18] De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, vol. 38(2), pages 105–134.
 - [19] Lavie N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. In *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol. 9 No. 2, pages 75–82.
 - [20] NASA TASK LOAD INDEX (TLX) Paper and Pencil Manual. Dostopno na: <http://humansystems.arc.nasa.gov/>.
 - [21] JAKUS, Grega, DICKE, Christina, SODNIK, Jaka. Subjective evaluation of auditory and head-up displays in vehicles. V *Proceedings of the 4th International Conference World Usability Day Slovenia 2013*, Ljubljana, Slovenia, 25th November 2013, (International series on information systems and management in creative media). Tampere: IugYmedia, 2013, str. 29–32.
 - [22] Pauzié A. (2008). Evaluating driver mental workload using the driving activity load index (DALI). In *Proceedings European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, pp. 67–77.
 - [23] Paas, F. G., & Van Merriënboer, J. J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 86(1), 122.
 - [24] Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational psychologist*, 38(1), 63–71.
 - [25] Beatty J., “Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources”. In *Psychological Bulletin*, vol. 91 (2), 1982, pp. 276–292.
 - [26] Fakuda K., Stern J. A., Brown T. B. and Russo M. B. (2005). Cognition, Blinks, Eye-Movements, and Pupillary Movements During Performance of a Running Memory Task. In: *Aviat Space Environ Med*, vol. 76, pages 75–85.
 - [27] Siegle, G.J., Ichikawa, N. and Steinhauer, S. (2008). Blink before and after you think: blinks occur prior to and following cognitive load indexed by pupillary responses. *Psychophysiology*, 45(5), pp. 679–687.
 - [28] Palinko, O., Kun, A.L., Shyrovkov, A. and Heeman, P., (2010). Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & applications* (pp. 141–144). ACM.
 - [29] Heeman, P.A., Meshorer, T., Kun, A.L., Palinko, O. and Medenica, Z. (2013). Estimating cognitive load using pupil diameter during a spoken dialogue task. In *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 242–245). ACM.
 - [30] Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., ... & Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation, space, and environmental medicine*, 78(Supplement 1), B231–B244.
 - [31] Haapalainen, E., Kim, S., Forlizzi, J. F., & Dey, A. K. (2010, September). Psycho-physiological measures for assessing cognitive load. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing* (pp. 301–310). ACM.
 - [32] Borghinia G., Astolfia L., Vecchiato G., Mattiaa D., and Babiloni F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* vol. 44 pp.58–75.
 - [33] Miyaji, M., Kawanaka, H., & Oguri, K. (2009, October). Driver's cognitive distraction detection using physiological features by the adaboost. In *Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC'09. 12th International IEEE Conference on* (pp. 1–6). IEEE.
 - [34] Reimer, B., Mehler, B., Coughlin, J. F., Godfrey, K. M., & Tan, C. (2009, September). An on-road assessment of the impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers. In *Proceedings of the 1st international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 115–118). ACM.
 - [35] Healey, J. A., & Picard, R. W. (2005). Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(2), 156–166.
 - [36] Mattes, S. (2003). The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In *Quality of work and products in enterprises of the future*, 57–60.

- [37] Harbluk, J. L., Burns, P. C., Lochner, M., & Trbovich, P. L. (2007). Using the lane-change test (LCT) to assess distraction: Tests of visual-manual and speech-based operation of navigation system interfaces. In Proceedings of the 4th international driving symposium on human factors in driver assessment, training, and vehicle design (pp. 16–22).
- [38] Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Simulated lane change test to assess in-vehicle secondary task demand. ISO 26022:2010.
- [39] Engström, J., & Markkula, G. (2007, July). Effects of visual and cognitive distraction on lane change test performance. In Proceedings of the fourth international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design (pp. 199–205).
- [40] Road vehicles – Transport information and control systems – Detection-Response Task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. ISO/DIS 17488
- [41] Martens, M. H., & Van Winsum, W. (2000). Measuring distraction: the peripheral detection task. TNO Human Factors, Soesterberg, Netherlands.
- [42] Olsson, S. and Burns, P. C., 2000. Measuring driver visual distraction with a peripheral detection task. Obtained from August.
- [43] Jahn G., Oehme A., Krems J. F. and Gelau C. (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. In Transportation Research Part F 8, pages 255–275.
- [44] Harms L. and Patten C. (2003) Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. In Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour Volume 6, Issue 1, pages 23–36.
- [45] Mehler, B., Reimer, B. & Dusek, J.A. (2011). MIT AgeLab delayed digit recall task (n-back). MIT AgeLab White Paper Number 2011–3B. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- [46] Mehler, B., Reimer, B. & Coughlin, J.F. (2012). Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: an on-road study across three age groups. Human Factors, 54(3), 396–412.

spletne tehnologije in interakcijo človek–stroj. Je vodja industrijskega fakultetnega projekta s podjetjem Nerveh d. o. o., v okviru katerega potekajo raziskave in razvoj na področju naprednih simulacijskih tehnologij in orodij za oceno voznških sposobnosti voznikov. Koordinira tudi raziskovalno sodelovanje z oddelkom Department of Industrial & Systems Engineering z univerze University of Washington (Seattle, ZDA). Slednja je ena vodilnih raziskovalnih ustanov na področju raziskav človeških faktorjev interakcije človek–stroj v vozilih. Maja 2016 je kot gostujoči profesor in raziskovalec preživel en mesec na omenjeni ustanovi.

Kristina Stojmenova je končala prvo stopnjo leta 2011 in drugo stopnjo leta 2014 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Zaposlena je kot mlada raziskovalka na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njeno raziskovalno področje so komunikacije človek–stroj, informacijske tehnologije v avtomobilih ter merjenje kognitivne sposobnosti voznikov. Bila je predsednica študentske veje strokovnega združenja za napredek v tehnologiji IEEE SB Maribor (2012–2016) in je trenutno podpredsednica istega združenja za področje žensk v inženirstvu v Sloveniji. Od leta 2013 aktivno sodeluje v programu za mlade Demola Slovenija kot mentorica študentskih ekip, izvajalka delavnic in ustvarjalka novih vsebin programa. Kot vodja mentorjev opravlja tudi organizacijske in izobraževalne funkcije.

Jaka Sodnik je diplomiral leta 2002 in doktoriral leta 2007 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je kot izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Ima izkušnje in reference na področju raziskav interakcije človek–stroj s fokusom na interakciji voznika z napravami v vozilih in evalvacije voznških sposobnosti. Sistem s prostorski zvočnim vmesnikom za interakcijo v vozilu, ki ga je razvil v okviru svoje doktorske disertacije, je bil s sodelovanjem podjetja General Motors iz ZDA uspešno implementiran v njihovo testno vozilo. Njegova raziskovalna področja vključujejo akustiko, telekomunikacijska omrežja,