

Validacija zvočne zaznavno-odzivne naloge (ZON) za ocenjevanje pozornostnih učinkov kognitivne obremenitve

Kristina Stojmenova¹ & Jaka Sodnik¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: kristina.stojmenova@fe.uni-lj.si, jaka.sodnik@fe.uni-lj.si

Abstract.

The Detection-response task (DRT) is a method for the assessment of the attentional effects of driver's cognitive load [1]. With this method the driver is presented with different stimuli in 3-5 s intervals and has to respond to the presented stimuli by pressing a button attached on his/her finger. Response times and hit rates (success of detection of stimuli) are considered as indicators of increased cognitive load. Since driving is primarily visual-manual task, we believe the use of an alternative stimuli modality could be more appropriate. Sound stimuli for example have very good properties as it is possible to influence the response times and attention allocation by manipulating the signal's frequency and/or intensity.

In this paper, we present a study, which validates a type of auditory signal to be used as DRT stimulus determined in our previous work, and evaluate the proposed auditory version of this method by comparing it with the standardized visual and tactile version.

1 Uvod

Metoda zaznavno-odzivne naloge (ZON) je standardizirana metoda za posredno merjenje kognitivne obremenitve voznika in njenega vpliva na voznikovo pozornost s pomočjo sekundarne naloge [1]. Temelji na zaznavanju dražljajev, ki se pojavijo na vsakih 3 do 5 sekund. Standard priporoča uporabo vizualnih ali taktilnih dražljajev, njihova oblika, intenziteta, postavitev in trajanje pa so zelo natančno definirani, saj je zaznavanje in odziv na dražljaje odvisen od vseh teh parametrov¹. Metoda zahteva, da se voznik odzove na dražljaje s pritiskanjem gumba ob volan, najbolj pogosto pripetega na njegov/njen kazalec. Odzivni čas in uspešnost zaznavanja dražljajev sta definirana kot kazalnika povečane kognitivne obremenitve in njenih učinkov na voznikovo pozornost. *Odzivni čas* (ang. response time) je definiran kot čas od trenutka sprožitve dražljaja do trenutka, ko se voznik odzove na dražljaj s pritiskom na gumb ob volan. Kazalnik *uspešnost zaznavanja dražljajev* (ang. hit rate) je razmerje med številom uspešno zaznanih dražljajev in vseh predstavljenih dražljajev. Dražljaj je bil uspešno zaznan, v kolikor je bil odzivni čas voznika med 100 in 2500 ms po nastopu dražljaja, ostali dražljaji pa se štejejo kot zgrešeni.

¹ Priporočene specifikacije so zaščitene s strani Mednarodne organizacije za standardizacijo (ISO) in njihova reprodukcija in javno objavljane ni dovoljeno.

Vožnja je primarno vizualno-manualna naloga, ki jo voznik v zelo veliki meri opravlja s pomočjo čutil vida in dotika. Komunikacija z večino sodobnih IK-sistemov prav tako poteka prek teh dveh čutil, saj so informacije v vozilu najpogostejše prikazane vizualno, voznik pa vnaša ukaze v informacijskih sistem ročno. Uporaba vizualnih ali taktilnih dražljajev oziroma dražljajev, ki jih voznik zaznava z enakimi čutili kot opravlja vožnjo in komunicira z IK-sistemi med vožnjo, z vidika teorije o več virih ni najbolj primerna [2]. Ta namreč predpostavlja, da je količina pozornosti (sestavljena iz več pozornostnih virov glede na čutila za sprejem informacij), ki jo ima človek v danem trenutku na voljo, omejena. In čeprav je človek sposoben opravljati več nalog, ki zahtevajo isti pozornostni vir sočasno, je pri tem uspešen le do trenutka, ko pride do zasičenja uporabljenega pozornostnega vira. Posledično je uporaba dražljajev druge modalnosti, ki ne uporabljajo že zasedenih pozornostnih virov pri vožnji, lahko veliko primernejša: Tak primer je npr. zvočni dražljaj. Zvočni dražljaji imajo zelo dobre lastnosti, saj je s pravo izbiro frekvence in glasnosti možno vplivati na odzivnost voznika in prioriteto pri selektivni pozornosti (na primer, z izbiro alarmantnih zvokov).

2 Predhodne raziskave

Čeprav so v standardu podane priporočene specifikacije le za vizualne in taktilne dražljaje, so bile narejene raziskave tudi z uporabo zvočnih dražljajev. Zvočna različica metode ZON je bila uporabljena v več študijah [3]-[5], vendar je bil v vseh študijah uporabljen drugačen zvok kot ZON dražljaj. Zato na podlagi preteklih študij ni možno narediti direktne primerjave občutljivosti zvočne metode s standardiziranimi različicami vizualne in taktilne ZON za zaznavanje učinkov kognitivne obremenitve. Ker je odzivni čas odvisen od intenzitete in oblike signala, je zelo pomembno tudi točno določiti specifikacije zvočnega dražljaja metode ZON. Le ob uporabi enakega dražljaja v različnih študijah je možno delati primerjave med njimi, saj bodo spremembe v odzivnih časih posledica sprememb v kognitivni obremenitvi voznika in ne kot rezultat lastnosti zvoka, ki je uporabljen kot dražljaj.

Stojmenova in drugi so naredili študijo v kateri so želeli identificirati najbolj primeren zvoka za zvočno različico metode ZON [6]. Rezultati študije so pokazali 1-sekundne čiste tone s frekvenco 4 kHz in 8 kHz kot najbolj obetavne. Avtorji so vseeno predlagali uporabo 4 kHz signala kot zvočnega dražljaja za ZON, saj se zgornja meja frekvence sluha zmanjšuje s starostjo, kar

bi ob uporabi 8 kHz signala omejilo uporabo metode pri starejših voznikih.

Omenjena študija se je osredotočala izključno na primerjavo različnih zvočnih signalov in ni primerjala rezultatov neposredno z vizualno ali taktilno različico ZON. Tako je izbran signal pokazal najboljše rezultate le v primerjavi z drugimi zvočnimi signali, primerjava z vizualno in taktilno različico pa ni bila narejena.

S študijo, ki je predstavljena v tem prispevku, smo želeli izbrani signal primerjati tudi s standardiziranimi različicami. Primerjali smo vse tri različice metode ZON tako, da smo sledili priporočenim specifikacijam ISO standarda za izvajanje vizualne in taktilne ZON [1] ter da smo sledili rezultatom Stojmenove in drugih za izvajanje zvočne različice ZON [6]. Vse tri različice DRT so bile primerjane v istem preskusnem okolju in v istih pogojih vožnje.

3 Metodologija

Študija je bila izvedena v simulatorju vožnje *NERVteh* [7]. Simulator je sestavljen iz treh ukrivljenih 48-palčnih televizorjev, programske opreme *AV simulations*, dirkalnega sedeža z volanom *Fanatec* in tridelnega seta pedal za upravljanje vozila z avtomatskim menjalnikom (slika 1). Vozniki so vozili v voznem scenariju, ki je simuliral dvopasovno avtocesto (slika 2), omejitev je bila 130 km/h, veljala pa so prometna pravila za slovenske ceste.



Slika 1. NERVteh simulator vožnje.



Slika 2. Simulacijsko okolje – dvopasovna avtocesta.

V študiji je sodelovalo 24 udeležencev (12 žensk), $M=30,42$, $SD=6,94$. Vsi vozniki so imeli veljavno vozniško dovoljenje.

3.1 Naloge

Vsak udeleženec je opravil osem dvominutnih voženj, med katerimi je izvajal različne naloge: vožnjo,

odgovarjanje na dražljaje ZON in izvajanje kognitivne naloge.

Primarna naloga udeležencev je bila varna vožnja. Pred začetkom študije kot tudi pred vsako novo vožnjo smo voznikom poudarili, da je njihova primarna naloga varna vožnja ter da imata nalogi ZON in n-nazaj sekundarno prioriteto.

Udeleženci so odgovarjali na vizualne, taktilne in zvočne ZON dražljaje. Vizualni in taktilni dražljaji so bili predvajani po priporočenih specifikacijah ISO standarda 17488:2016 [1]. Zvočni dražljaji so sledili priporočilom študije [6]. Za predvajanje vseh dražljajev ter beleženje odzivov nanje uporabili mikrokontrolno ploščo Arudio Mega in odprto kodo raziskovalne skupine Krause idr. [8].

Pri izbiri kognitivne naloge, ki simulira uporabo IK-sistema, smo izhajali iz objavljenih študij o evalvaciji vizualne in taktilne metode ZON. Pri tem je bilo možno zaslediti več različnih sekundarnih nalog, vsem pa je skupna možnost večstopenjske zahtevnosti. Ena izmed najbolj pogosto uporabljenih nalog je bila čista kognitivna naloga n-nazaj [9], zato smo se odločili tudi mi uporabiti to nalogo za simulacijo interakcije z IK sistemom in kontrolirano povečevanje kognitivne obremenitve.

Naloga *n-nazaj* (ang. n-back task ali Delayed digit recall task) je preprosta naloga s števili, kjer se vozniku vsakih 5 sekund zvočno predstavi naključno izbrano enomestno število, naloga voznika pa je ponoviti slišano število po vnaprej določenem zaporedju [9]. Naloga predvideva 4 težavnostne stopnje, kjer je 4. stopnja oziroma 3-nazaj najzahtevnejša stopnja. Prva oziroma najmanj zahtevna stopnja pa zahteva od voznika, da ponovi številko takoj, ko jo sliši (stopnja 0-nazaj). Pri naslednjih stopnjah si mora voznik zapomniti vedno več števil in jih ponoviti v točno določenem vrstnem redu. V predstavljeni študiji smo uporabili stopnjo 2-nazaj (primer je predstavljen v tabeli 1).

Tabela 1. Primer vrstnega reda števil pri nalogi n-nazaj, nivo zahtevnosti 2-nazaj.

	Zaporedje števk							
Predstavljeno število	0	7	8	4	9	1	7	8
Odgovor voznika	-	-	0	7	8	4	9	1

Nivo kognitivne obremenitve in vrsta dražljajev ZON sta bili definirani kot neodvisni spremenljivki. Kot odvisne spremenljivke smo opazovali odzivne čase ZON in uspešnost zaznavanja dražljajev in uspešnost izvajanja naloge n-nazaj.

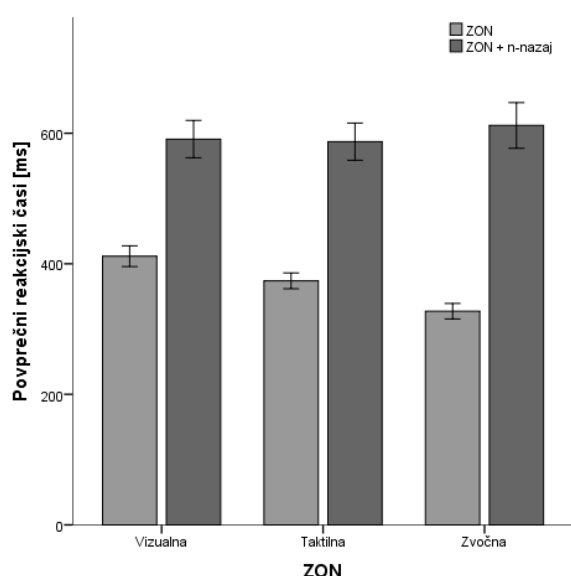
4 Rezultati

Za preverjanje normalnosti porazdelitve podatkov smo uporabili Shapiro-Wilkov test za testne vzorce z manj kot 2000 podatkov in Kolmogorov-Smirnov test za vzorce z več kot 2000 podatkov, nivo tveganja 5 %.

Za preverjanje homogenosti varianc smo uporabili Levenov test, nivo tveganja 5%. Glede na rezultate teh testov smo nato uporabili ustrezne parametrične in neparametrične teste.

4.1 Odzivni časi

Neparametrični Friedmanov test je pokazal statistično pomembne razlike v odzivnih časih na dražljaje ZON med vožnjami brez in s kognitivno nalogo n-nazaj, $\chi^2(5) = 568,383$, $p < 0,001$. Wilcoxonov post-hoc test vsote rangov z Bonferronijevo korekcijo ($p = 0,017$) je pokazal, da so bili odzivni časi za vse tri oblike dražljajev (vizualni, taktilni in zvočni) statistično pomembno daljši pri vožnjah, kjer so udeleženci vozili, odgovarjali na ZON dražljaje in opravljali nalogo n-nazaj v primerjavi z vožnjami, kjer so samo vozili in odgovarjali na dražljaje ZON, $p < 0,001$ (slika 3).

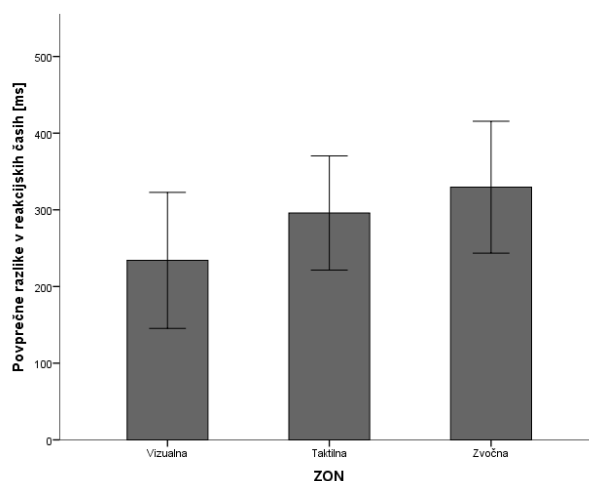


Slika 3. Odzivni časi na vizualne, taktilne in zvočne dražljaje pri vožnjah brez in s kognitivno nalogo n-nazaj.

Razlike v odzivnih časih med vožnjami brez in s kognitivno nalogo odražajo zahtevnost oziroma kognitivno obremenitev, ki jo naloga naloži vozniku. Večje kot so te razlike, bolj kognitivno zahtevna je naloga. Ker smo v študiji uporabili enako zahtevnost naloge v vseh vožnjah, razlike med odzivnimi časi na različne dražljaje ZON odražajo občutljivost posamezne različice za zaznavanje sprememb v kognitivni obremenitvi voznika.

Rezultati so pokazali, da so se odzivni časi v povprečju podaljšali za vizualni ZON za $M = 180,95$ ms (29.68 %), za taktilni ZON $M = 213,32$ ms (40.92 %), in za zvočni ZON $M = 285,04$ ms (46.24 %) pri vožnjah brez v primerjavi z vožnjami s kognitivno nalogo (slika 4).

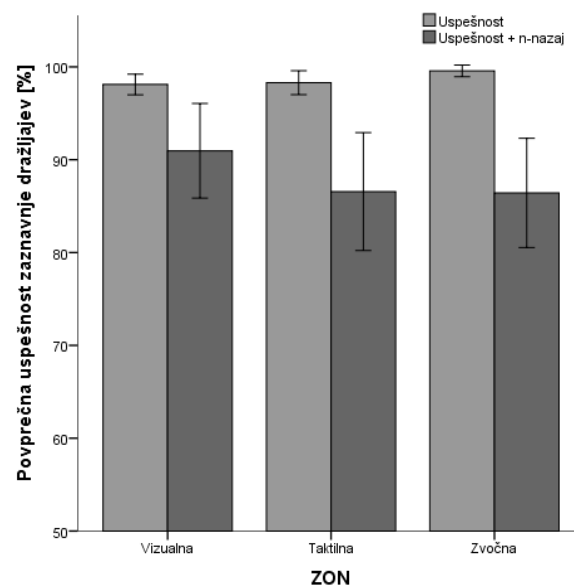
Wilcoxonov post-hoc test vsote rangov z Bonferronijevo korekcijo ($p = 0,017$) je pokazal, da je razlika v odzivnih časih za zvočno različico ZON statistično pomembno večja v primerjavi z razlikami v odzivnih časih za vizualno ($p < 0,001$) in taktilno ($p = 0,014$) različico.



Slika 4. Razlike v odzivnih časih na različne dražljaje ZON pri vožnjah brez in s kognitivno nalogo n-nazaj.

4.2 Uspešnost zaznavanje dražljajev

Neparametrični Friedmanov test je pokazal statistično pomembne razlike v uspešnosti zaznavanja dražljajev ZON med vožnjami brez in s kognitivno nalogo n-nazaj, $\chi^2(5) = 33,709$, $p < 0,001$. Wilcoxonov post-hoc test vsote rangov z Bonferronijevo korekcijo ($p = 0,017$) je pokazal, da je bila uspešnost zaznavanje dražljajev statistično pomembno boljša pri vožnjah brez v primerjavi z vožnjami s kognitivno nalogo (slika 5).



Slika 5. Povprečna uspešnost zaznavanja dražljajev ZON pri vožnjah brez in s kognitivno nalogo n-nazaj.

Ob primerjavi uspešnosti zaznavanje dražljajev med različnimi modalnostmi ZON (vizualni, taktilni in zvočni) ni bilo prisotnih statistično pomembnih razlik med različicami metode ($p > 0,017$).

4.3 Uspešnost opravljanja dodatne kognitivne naloge n-nazaj

Uspešnost opravljanja naloge 2 nazaj (število točno ponovljenih števil) je bila za vizualno ZON $M = 92,8\%$,

taktilno ZON M=88,41% in zvočno ZON M=87,44% pri vožnjah z ZON in kognitivno nalogo. Fridmanov test je pokazal, da ni bilo statistično pomembnih razlik v uspešnosti opravljanja dodatne naloge 2-nazaj $\chi^2(3) = 4,984$, $p = 0,173$ med vožnjami brez in z ZON dražljaji.

5 Diskusija in zaključek

S predstavljeno študijo smo želeli preveriti ali je z zvočno različico ZON možno zaznavati spremembe v kognitivni obremenitvi voznika s podobno stopnjo občutljivosti kot z vizualno in taktilno različico ZON. V ta namen smo za vse različice uporabili enak nivo kognitivne obremenitve, razlike v reakcijskih časih in uspešnosti zaznavanja dražljajev pa interpretirali kot razlike v občutljivosti različic ZON na spremembe v kognitivni obremenitvi voznika. Rezultati študije so pokazali statistično pomembne razlike v reakcijskih časih za vse tri različice metode, kar pomeni, da je tudi z zvočno različico ZON možno zaznavati kognitivno obremenitev voznika na podoben način kot z vizualno in taktilno različico. Poleg tega so post-hoc analize pokazale, da so bile te razlike največje za zvočno ZON (slika 4). To lahko pomeni, da je testirana ZON v primerjavi s standardiziranimi različicama tudi bolj občutljiva za zaznavanje kognitivne obremenitve voznika.

Rezultati o uspešnosti zaznavanja dražljajev so pokazali podobne razlike za vse tri metode, kar potrjuje, da je občutljivost zvočne metode primerljiva z vizualno in taktilno različico.

Visoka uspešnost opravljanja dodatne kognitivne naloge pomeni, da so udeleženci aktivno sodelovali v študiji in skušali uspešno opraviti nalogo n-nazaj. Dejstvo, da ni statistično pomembnih razlik v uspešnosti opravljanja naloge med ponovitvami z različnimi dražljaji ZON, je dodatno potrdilo, da je bil nivo kognitivne obremenitve podoben za vsako različico ZON.

Na podlagi teh rezultatov lahko sklepamo, da je zvočna različica ZON, pri kateri se uporablja zvočni signal določen v [6], občutljiva za učinke kognitivne obremenitve na pozornost voznika in je za zvočno-govorne dodatne kognitivne naloge n-nazaj statistično pomembno boljša od vizualne in taktilne različice. Z nastankom nove različice metode, sta se področje uporabe in občutljivost ZON za zaznavanje kognitivne obremenitve tudi razširila in izboljšala.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za sofinanciranje raziskave iz državnega proračuna.

Literatura

- [1] ISO, 2016. Road vehicles -- Transport information and control systems -- Detection-Response Task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. ISO. 2016, Geneva, Switzerland. 17488:2016.
- [2] Wickens, C. D., 2002. Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), pp.159-177.
- [3] Merat, N., Jamson, A. and Leeds, U., 2007. Multisensory signal detection: How does driving and IVIS management affect performance? In *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, pp.351-357.
- [4] Merat, N. and Jamson, A.H., 2008. The effect of stimulus modality on signal detection: Implications for assessing the safety of in-vehicle technology. *Human factors*, 50(1), pp. 145-158.
- [5] Stojmenova, K., Jakus, G. and Sodnik, J., 2017. Sensitivity evaluation of the visual, tactile, and auditory detection response task method while driving. *Traffic injury prevention*, 18(4), pp.431-436.
- [6] Stojmenova, K., Policardi, F. and Sodnik, J., 2018a. On the selection of stimulus for the auditory variant of the detection response task method for driving experiments. *Traffic injury prevention*, 19(1), pp.23-27.
- [7] NERVteh. Road Safety organization. Dostopno na: <https://www.nerv-teh.com/>
- [8] Krause M., Conti A., Späth M., Bengler K., 2014. Testing Open-Source Implementations for Detection Response Tasks. In *Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction (Interacción '14)*. ACM, New York, NY, USA.
- [9] Mehler, B., Reimer, B. and Dusek, J.A., 2011. MIT AgeLab delayed digit recall task (n-back). *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA*, pp.1-23.