

Naprava za vizualno-kinestetično navigacijo slepih in slabovidnih

Kristjan Stopar¹

¹Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru (UM FER)
Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija
E-pošta: kristjan.stopar@student.um.si

Abstract. We introduce a device for kinesthetic navigation of the blind and visually impaired. The device was designed and implemented by following the recommendations of 39 blind or visually impaired persons. It consists of ergonomically shaped glasses with ten time-of-flight sensors that detect obstacles at the maximal distance of 4 m in the field of view of about 87.5° horizontally and 67° vertically. The information about the detected obstacles is wirelessly transmitted to the medical belt with fifteen flat vibration motors distributed in 3 rows covering the abdominal area of about 28 × 20 cm. The intensity of vibrations is modulated by the information about the obstacle's size, direction and distance, as detected by the glasses and corrected by the belt orientation. The closer the obstacle, the more intensive the vibrations of a given motor. The bigger the obstacle, the larger the number of vibrating motors. The device was tested on 12 healthy persons with no previous experiences with the navigation systems for the blind. In their first attempt, the individuals detected 2.8 ± 0.4 out of 4 obstacles and spent 80 ± 31.5 seconds to successfully walk through 11 m long custom-built polygon in 56.2 ± 15.7 steps. In the second attempt, they significantly improved their performance as they detected 2.92 ± 0.3 obstacles and spent 56 ± 18.7 seconds and 48.3 ± 10.7 steps to complete the walk.

1 Uvod

Slepi in slabovidni se vsakodnevno srečujejo s številnimi izzivi. Ritem modernega življenja se je v zadnjih letih močno dvignil. Prav tako se povečujeta gostota naseljenosti in prometa. Zaradi omenjenih demografskih sprememb se za slepe in slabovidne povečujejo izzivi vključevanja v sodobno družbo. Navigacija skozi vrvež ljudi in spreminjajočih se prostorskih ovir je le eden izmed teh izzivov. Obvladanje tega izziva pa pogosto dojemamo kot znak samostojnosti in neodvisnosti, še posebno v krogu slepih in slabovidnih. Problem, ki ga rešuje naša naprava je navigacija slepih in slabovidnih mimo vsakodnevnih ovir, ki se pojavijo v notranjih prostorih in na prostem. Za problem navigacije slepih že obstajajo rešitve kot so bela palica, pes vodnik [1], očala z umetno inteligenco, vibracijske priponke [2], robotizirane palice [1], ter vibracijske zapestnice, a izziv je bil narediti na-

pravo, ki bi reševala tovrstne navigacijske probleme in bila hkrati cenovno dostopna, intuitivna za uporabo ter preprosta za izdelavo. Naprava zaznava okolje uporabniku predstavi v obliki vibracij polja vibracijskih elementov, kar je ključnega pomena za intuitivno uporabo, saj slepi in slabovidni dokazano zaznavajo vibracije veliko bolje kot ljudje brez težav z vidom [3]. Vendar pa ta fenomen prestrukturiranja centralnega in perifernega živčnega sistema še ni povsem razumljen. Posledično je tudi razvoj navigacijskih naprav za slepe in slabovidne precej dinamičen in še daleč od globalno optimalne rešitve.

2 Opis delovanja naprave

Napravo sestavljata dva glavna dela, in sicer očala za zaznavanje okolja ter pas za interpretacijo le-tega.

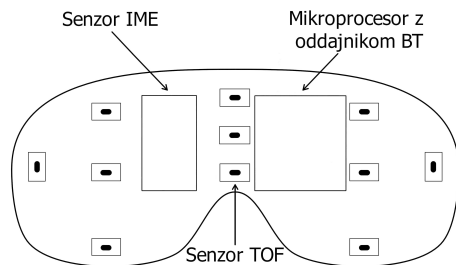
Očala povzemajo obliko smučarskih očal in so izdelana s postopkom 3D tiskanja, kar omogoča večjo stopnjo prilagajanja posamezniku ter estetski nivo, ki je pričakovano glede na rezultate naše ankete na 39 slepih in slabovidnih osebah. Na očalih so dodani dodatki iz gume in pene za bolj udobno uporabniško izkušnjo, ki je bila po podatkih ankete slepim in slabovidnim ena izmed najpomembnejših lastnosti očal. Celotna teža očal je 172 g, kapaciteta enocelične litij-polimer (LiPo) baterije znaša 2000 mAh, poraba toka pa znaša 406 mA. Predviden čas delovanja naprave do izpraznitve je 4,5 h.

Procedura zaznavanja okolice se prične na očalih z meritvami desetih različno usmerjenih senzorjev časa preleta svetlobnega žarka (angl. time-of-flight -ToF) VL53L1X [4]. Ti vrnejo podatek o absolutni razdalji do ovire. Zaznavno območje očal je 87,5° horizontalno in 67° vertikalno. Istočasno se izvajajo meritve inercialne merilne enote (IME) MPU-9250 [5], ki se kasneje uporabijo za ugotavljanje usmerjenosti uporabnikovega pogleda (Slika 1).

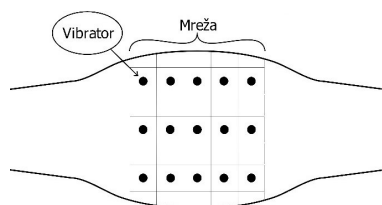
Vse pridobljene informacije so s pomočjo 32 bitnega mikroprocesorja Xtensa LX6 zapakirane v lasten podatkovni format in preko povezave bluetooth (BT) poslana vibracijskemu pasu.

Tudi na pasu se izvajajo meritve z enoto IME, ki se skupaj z meritvami orientacije očal uporabijo za natančen izračun usmerjenosti pogleda očal in pasu oziroma kotne razlike njunih usmerjenosti. Glede na pridobljene informacije o oddaljenosti zaznanega predmeta in usmerjenosti uporabnikovega pogleda mikrokrmilnik

ESP-WROOM-32 [6] vključuje in izključuje vibracijske motorje Seeed Studio 0834 na izbranem delu pasu (Slika 2) ter prilagaja njihovo intenzivnost vibriranja. Bližje kot je zaznan predmet, intenzivnejša je vibracija. Ko naprava ne zaznava ničesar, so vsi vibracijski motorji izklopljeni (Slika 3).

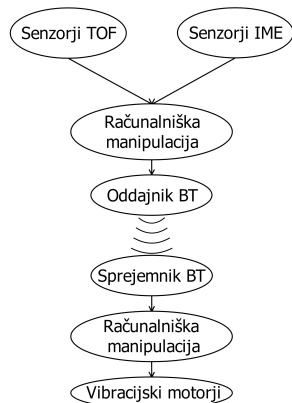


Slika 1: Shema očal za navigacijo.



Slika 2: Shema mreže vibratorjev na pasu.

Pas vsebuje petnajst vibracijskih motorjev ter všito mikrokrmilniško enoto ESP-WROOM-32 z enocelično litij-polimer (LiPo) baterijo kapacitete 10.000 mAh. Celotna poraba toka znaša 800 mA, pas pa tehta 486 g. Predviden čas delovanja do izpraznitve je 12 h. Na uporabniku je nameščen tako, da vibracijski motorji pokrivajo trebuh ter območji nad zunanjimi poševnimi trebušnimi mišicami. V ta namen smo uporabil medicinski pas za oporo hrbtu znamke Mueller [7]. Izbrali smo ga, ker je širok, dobro prilagodljiv telesu in se na telo namesti z elastičnimi ježki. Tako je primeren za več različnih obsegov pasu končnih uporabnikov.



Slika 3: Shema delovanja naprave.

3 Zaznavanje okolja

Informacije o obliki prostora in o ovirah v njem so posredovane končnim uporabnikom v obliki vibracij pasu. Izbira je utemeljena na podlagi raziskav v [3], ki ugotavljajo, da imajo slepi zaradi izgube vida izboljšana druga čutila. Poleg čutil za vonj, sluh in otip se jim izboljšajo tudi spominske in lingvistične sposobnosti, kar je mogoče zaradi plastičnosti človeških možganov. Izboljšave kognitivnih sposobnosti, predvsem spominskih, bistveno pripomorejo k uporabi naprave, saj slepi ali slabovidni uporabniki v povprečju lažje prepoznavajo vzorce vibracij [3].

Tekom razvoja naprave smo testirali več vrst vibracijskih motorjev. Najprej smo izbrali vibracijske motorje odprtega tipa. Ti niso bili ustrezni, saj jih je bilo zaradi njihove prosto vrteče se glave potrebno ograditi s posebno oblikovanimi 3D natisnjenimi kapsulami. Kapsule in omenjen tip vibracijskih motorjev so bili izločeni zaradi pregrevanja in posledične toplotne deformacije kapsul. Nato smo testirali ploščate vibracijske motorje. Ti so bili primernejši, saj so zaprtega tipa, kar je omogočilo načrtovanje enostavnejših in bolj odprtih kapsul, ki se izdatno ne pregrevajo.

Sam pas je elastičen, kar omogoča dobro prilagajanje telesu ter konstanten stik vseh vibracijskih motorjev. Uporabnik ga namesti nad pasom, vibracijski motorji pa pokrivajo predel trebuha od leve do desne zunanje poševne trebušne mišice. Za namestitev pasu smo iskali večje toge površine telesa, ki bi omogočile razporeditev vseh vibracijskih motorjev na enem mestu, ti pa bi bili vseeno dovolj narazen, da uporabnik razloči med posameznimi vibracijami oziroma smermi iz katerih prihajajo ovire. Pri tem smo upoštevali željo anketiranih uporabnikov, da so pas in vibracije čim manj moteči.

Pri našem začetnem prototipu pasu so vibratorji pokrivali hrbet. Površina in posledično ločljivost zaznavanja vibracij sta bili ustrezni, pas pa je bil nemoteč. Po testiranju smo ugotovili, da sama uporabniška izkušnja ni bila najbolj naravna, saj si je uporabnik moral prostor, ki je bil preko vibracij posredovan hrbtu, preslikati v prostor pred sabo [8]. Zato so bili vibracijski motorji prestavljeni na trebuh, ki premore tudi več senzoričnih živcev. S tem naprava omogoča intuitivno in natančnejše zaznavanje ovire v pravilni smeri brez dodatnih zahtev po preslikavanju prostorov.

Površina, ki jo pokriva vseh petnajst vibracijskih motorjev [9] tvori pravokotno mrežo velikosti 28×20 cm (Slika 2). Vsak vibracijski motor predstavlja del vidnega polja uporabnika. Razporejeni so v tri vrste po pet motorjev. Takšna oblika je bila izbrana, ker je tudi razporeditev senzorjev na očalih podobna (zaznavajo večji horizontalni kot vertikalni kot). Mreža na pasu z izbrano obliko dovoljuje pogled levo in desno, kar omogoča premikanje središča vibracij po mreži v odvisnosti od usmerjenosti pogleda in pasu uporabnika. To pripomore k bolj naravni uporabniški izkušnji, saj se območje vibriranja prilagaja usmerjenosti pogleda in telesa.

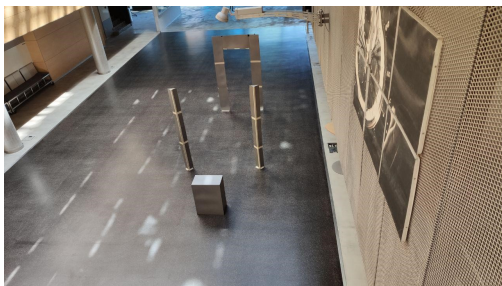
Naprava z uporabo pulzne modulacije nadzoruje intenziteto vibriranja motorjev, kar omogoča interpretacijo

oddaljenosti do ovir. Minimalna zaznana oddaljenost je 4 cm, maksimalna pa približno 4 m, vendar meritve blizu maksimalne razdalje niso natančne. Intenziteta vibracij se povečuje z bližino ovir. Lestvica intenzivnosti vibracij je linearna. Testirali smo tudi logaritemsko lestvico, a se le-ta zaradi prepočasnega naraščanja logaritma in posledično slabšega zaznavanja oddaljenosti od ovir izkazala kot manj primerna.

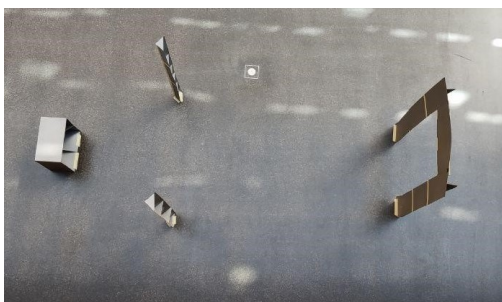
4 Testiranje

Napravo smo testirali na 12 prostovoljcih (3 ženske, 9 moških, povprečna starost $34,2 \pm 11,4$ let). Izvedba testa je temeljila na predhodno opravljeni anketi o pričakovanih funkcijah naprave za navigacijo.

Testiranje je bilo izvedeno v notranjem prostoru (avla objekta G2, UM FERJ), ki je bil dovolj velik, da je simuliral zunanje razmere. V zunanjih razmerah so ovire razporejene na večjih razdaljah, poleg tega pa ni sten, ki bi jih uporabnik ves čas zaznaval. Test je potekal v dveh delih. V prvem delu smo prostovoljce seznanili z delovanjem naprave. Poleg tega smo testirali spreminjanje intenzitete vibracij z bližanjem in oddaljevanjem od stene. Drugi del je potekal na poligonu (Sliki 4 in 5), ki je simuliral ovire na različnih višinah. Ovire so bile narejene iz lahke polisterenske pene in so predstavljale različne predmete kot so miza, visok in ozek steber ter vrata. Te ovire smo izbrali, ker so po mnenju slepih anketirancev za njih najbolj zahtevne. Posebej je bila testirana tudi viseča ovira, saj se jo z belo palico ne da zaznati. Drugi del testiranja so testiranci opravili dvakrat, saj smo želeli preveriti, če se natančnost in hitrost zaznavanja ovir večata s časom uporabe.



Slika 4: Fotografija poligona v velikosti 11 X 3 m. Višina stebrov in vrat je 2,3 m.

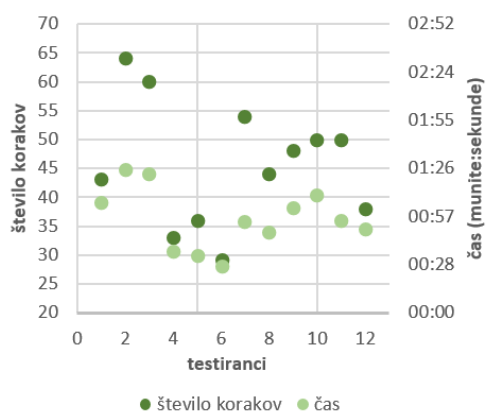


Slika 5: Fotografija tlorisa poligona.

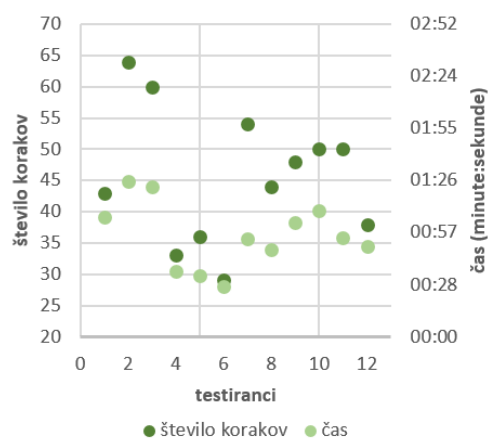
Uspešnost navigacije po poligonu smo merili s časom prehoda, številom zaznanih ovir ter številom korakov. Na koncu so uporabniki podali njihove občutke ter opisali njihovo uporabniško izkušnjo.

5 Rezultati

Od štirih ovir so testiranci v prvem prehodu v povprečju zaznali $2,8 \pm 0,39$ ovire, v drugem pa $2,92 \pm 0,29$ ovire. Med obema prehodoma ni bilo statistično značilnih razlik (Friedmanov test z Bonferronijevo korekcijo, $p > 0,05$). Oviro, ki je bila pod višino pasu (najbolj leva ovira na sliki 5) je zaznal le en testiranec. Pri drugih ovirah v večini primerov ni bilo težav z zaznavanjem. Povprečen čas prvega prehoda testirancev je znašal $80,0 \pm 31,5$ sekund, povprečen čas drugega prehoda pa $56,0 \pm 18,3$ sekund. Pri prvem prehodu so merjenci naredili $56,2 \pm 15,7$, pri drugem pa $48,3 \pm 10,7$ korakov. Obe razliki sta statistično značilni (Friedmanov test z Bonferronijevo korekcijo, $p < 0,01$).



Slika 6: Rezultati meritev prvega prehoda poligona.



Slika 7: Rezultati meritev drugega prehoda poligona.

Iz rezultatov je razvidno, da so testiranci v drugem prehodu skozi poligon porabili manj časa, naredili manj korakov ter zaznali več ovir. Viseča ovira, ki je bila testirana posebej, je bila zaznana v vseh poskusih.

6 Diskusija in zaključek

Razvili smo napravo za vizualno-kinestetično navigacijo slepih in slabovidnih in jo testirali na zdravih preiskovancih. Vsi preiskovanci so bili mnenja, da je naprava nemoteča in dovolj lahka ter udobna za vsakodnevno uporabo. Poleg tega so bili vsi preiskovanci uspešnejši in hitrejši v drugem prehodu poligona, kar nakazuje na izboljšanje zaznavanja ovir oziroma čutenja prostora z večanjem časa uporabe.

Opazili smo, da se je s časom uporabe večala odločnost oziroma hitrost hoje. Po mnenju večine preiskovancev se je izboljšal občutek za zaznavo bližine ovir. Slednjega bi lahko še dodatno izboljšali s piskačem, ki bi opozarjal na neposredno bližino ovire, na primer, ko je ovira bližje od 0,5 m. Hitrost učenja preiskovancev je bila odvisna od njihove izbire strategije hoje po prostoru. Upoštevati je treba tudi, da testiranci niso imeli izkušenj s slepo hojo, zato je potrebno pri meritvah upoštevati njihovo začetno negotovost.

Ugotovili smo, da naprava v primeru, ko uporabnik gleda naravnost, slabše zaznava ovire, ki so nižje od višine pasu. Na razdaljah, daljših od 2 m slabše zaznava tudi ovire, ožje od 20 cm. Oba problema bi lahko rešili z uporabo več senzorjev, drugačno usmeritvijo le teh in zožitvijo izhodnega laserskega snopa svetlobe posameznega senzorja, ki trenutno meri 36,5°. Če to ne bi zadoščevalo, bi lahko senzorje dodali tudi na pas in na ta način omogočili zaznavanje ovire na višini uporabnikovega pasu in pod njim. Samo natančnost zaznavanja ovir pa bi lahko povečali tudi s kombinacijo senzorjev preleta svetlobnega žarka in dveh kamer. Zaradi njene energetske potratnosti, te rešitve nismo izbrali.

V prihodnje želimo izboljšati tudi učinkovitost delovanja naprave z uporabo piezoelektričnih vibracijskih motorjev. Ti so učinkovitejši od trenutno uporabljenih, a za upravljanje zahtevajo dodaten gonilnik in so manj dostopni. Potreben je še test, s katerim bomo ugotovili ali je način vibriranja omenjenih vibracijskih motorjev primernejši.

Pri treh od dvanajstih testirancev se je pojavil problem pri prenosu vibracij oziroma informacij o obliki okolice na uporabnika, saj se jim pas in vibracijski motorji na njem zaradi njihovega specifično oblikovanega telesa niso prilegali dovolj dobro. S tem se je zmanjšala enakomernost zaznavanja vibracij, kar je vodilo do zmede pri oviri, ki je predstavljala vrata, saj so bile vibracije interpretirane napačno. Problem slabega prileganja vibracijskih motorjev na telo uporabnika bi lahko rešili z različnimi velikostmi medicinskih pasov in dodatno peno okoli vibracijskih motorjev, ki bi omogočila enakomernejši in tesnejši stik le-teh z uporabnikovim telesom.

7 Zahvala

Hvala Urbanu Košaletu in Pii Žnidaršič za sodelovanje pri izdelavi in testiranju celotne naprave. Hvala tudi Srednji elektro šoli in tehniški gimnaziji Novo mesto in mentorju Tomažu Ferbežarju za ideje in vztrajno podporo,

Medobčinskemu društvu slepih in slabovidnih v Novem mestu ter Mariboru za sodelovanje pri anketi in oblikovanju specifikacij naprave. Hvala mentorjema na UM FERi Jerneju Kranjcu in red. prof. Alešu Holobarju.

Literatura

- [1] M. A. Hersh, M. A. Johnson: Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People Springer Science & Business Media : Springer Science & Business Media, 2010. str. 142.
- [2] C. Sylvain, D. Thalmann, F. Vexo: Wearable Obstacle Detection System for visually impaired people. (dostopano dne: 30. 6 2019). < <https://infoscience.epfl.ch/record/99014/files/haptex05.pdf>>.
- [3] C. M. Bauer, G. V. Hirsch, L. Zajac, B. Koo, O. Collignon, L. B. Merabet: Multimodal MR-imaging reveals large-scale structural and functional connectivity changes in profound early blindness, 22. marec 2017, < <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0173064>>
- [4] STMicroelectronics: A new generation, long distance ranging Time-of-Flight sensor, 22. - 24. November 2018, < <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl531lx.pdf>>
- [5] InvenSense: MPU-9250 Product Specification Revision 1.0, 17. 1. 2014, < <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-9250->>
- [6] Adafruit learning system: Adafruit HUZZAH32 - ESP32 Feather. 22. 8 2018, (dostopano dne: 1. 7. 2019). < <https://www.mouser.jp/datasheet/2/737/adafruit-huzzah32-esp32-feather-1396535.pdf>>
- [7] Mueller sports medicine: Adjustable Back Brace, 2019, < <https://www.muellersportsmed.com/adjustable-back-brace.html>>
- [8] K. Stopar, U. Košale, P. Žnidaršič: Očala za slepe (Raziskovalna naloga s področja Aplikacijski inovacijski predlogi in projekt), april 2018, Novo mesto: ZOTKS
- [9] Seeed studio: Mini vibration motor 2.0mm, 12. 2. 2015, < https://www.marutsu.co.jp/contents/shop/marutsu/ds/316040001_Web.pdf>