

HAPTIČKA KORISNIČKA SUČELJA – PREGLED STANJA I MOGUĆNOSTI ŠIRE PRIMJENE U PRAKSI

HAPTIC USER INTERFACES – STATE OF THE ART AND POSSIBILITIES OF WIDER APPLICATION IN PRACTICE

Damir KRALJ¹, Andrea OMEROVIĆ²

¹ MUP RH – PU Karlovačka, Trg hrvatskih redarstvenika 6, 47 000 Karlovac, HRVATSKA,
dkralj@vuka.hr

² Ekspert d.o.o. za sigurnost i vještačenje, Selska cesta 126, 10 000 Zagreb, HRVATSKA,
dkralj@vuka.hr

Sažetak: Suvremeni čovjek svakodnevno je u kontaktu s raznim oblicima računalnih i strojnih sustava, kako u svojoj radnoj okolini, tako i u svom slobodnom vremenu. Uobičajena grafičko-vizualna sučelja, upravljana sustavima prekidača ili dodirom, ne pružaju dovoljnu širinu komunikacijskog kanala između čovjeka i računalnih sustava.. Primjena haptike znatno proširuje ovu komunikaciju. U radu je pojašnjena značajnost interakcije čovjeka i računala putem raznih oblika haptičkih sučelja. Dan je prikaz češće korištenih sučelja ovog tipa te je ukazano na važnost svojstava ljudskog čimbenika na uspješnost primjene. Istaknuta je važnost primjene haptike u području potrošačke elektronike, industrije, medicine, medicinske rehabilitacije te pomoći osobama s posebnim potrebama. Cilj ovog rada je: dati pregled stanja razvoja haptičkih sučelja, ukazati na važnost šire primjene, te analizirati moguće smjerove razvoja s obzirom na postojeće probleme.

Ključne riječi: interakcija čovjek-računalo, haptička sučelja, virtualna stvarnost, ljudski čimbenik, intuitivnost

Abstract: A contemporary man is in everyday contact with various forms of computer and machine systems, both at work and in his free time. Common graphic and visual interfaces, controlled by switch or touch systems, do not provide sufficient human-computer communication bandwidth. Use of haptic significantly broadens this communication. This paper clarifies the significance of interaction between man and computer through various forms of haptic interfaces. It gives an overview of the more commonly used interfaces of this type and points to the importance of the human factor on the success of the application. The importance of the use of haptics in consumer electronics, industry, medicine, medical rehabilitation and assistance to persons with special needs was emphasized. The objective of this paper is: to give state-of-the-art, point to the importance of wider use and analyze possible directions of development with regard to the existing problems.

Keywords: human-computer interaction, haptic interfaces, virtual reality, human factor, intuitiveness

1. Uvod

Suvremeni čovjek svakodnevno je u kontaktu s raznim oblicima računalnih i strojnih sustava, kako u svojoj radnoj okolini, tako i u svom slobodnom vremenu. Načini na koje je čovjek komunicirao različitim strojevima mijenjali su se i razvijali kroz epohe od jednostavnog mehaničkog upravljanja, preko elektromehaničkog upravljanja, sve do suvremenih oblika računalno podržane interakcije. S obzirom na ulogu suvremenih računalnih sustava, možemo reći da se suvremena komunikacija između čovjeka i strojeva u potpunosti može analizirati kroz pristup suvremene znanosti nazvane Interakcija čovjeka i računala (IČR). Napredna sučelja između čovjeka i računala prolazila su svoj razvojni put od ranih grafičkih i vizualnih sučelja upravljanih sustavima prekidača ili dodirrom, nastojeći svojim metaforičkim pristupom približiti računalni svijet stvarnom životu te nastojeći što više smanjiti negativni utjecaj distorzija i distanci od stvarnosti [1,2]. Daljnji napredak IČR doveo je tijekom posljednja dva desetljeća do pojave niza novih oblika proširenja ovog komunikacijskog kanala objedinjenih pod nazivom Inteligentna korisnička sučelja (IKS) [1,2]. Što se tiče vizualizacije unutar ovog komunikacijskog kanala, Virtualna stvarnost (VS) svakako spada u jedan od vrhunaca istraživanja u prvoj dekadi 2000-ih godina nudeći 2D i 3D prikaze visoke vjernosti prikaza. Međutim, vizualizacija je samo jedan dio komunikacijskog kanala. Veći problem leži u načinu kako u virtualnom svijetu dočarati fizička svojstva stvarnih tijela i predmeta koji imaju osim gabarita i neku masu i inerciju, specifičnu hrapavost površine, ostvaruju određeno trenje na podlozi i slična svojstva. Kako bi se riješili ovi komunikacijski nedostaci, tijekom ovog drugog desetljeća 2000-ih ulagani su intenzivni napor u istraživanje i razvoj tzv. Haptičkih sučelja (HS; grč. *hapto/haptesthai* = hrv. dodir/u odnosu na dodir) ili pojednostavnjeno rečeno – *haptike*. Ova komunikacijska kombinacija u svojim razvojnim koncepcijama ide i znatno šire od zatvorenog prostora raznih laboratorija te arhitektonskih i dizajnerskih ateljea i pretapa se u novu mobilnu koncepciju zasnovanu na istim temeljima pod nazivom Proširena stvarnost (PS) koja u primjeni omogućava proširenje stvarnog svijeta elementima virtualnog računalnog svijeta, odnosno pruža korisnicima dodatne korisne informacije kroz cijeli niz novih digitalnih usluga [1,2].

Dakle, cilj ovog rada je na sažet način pojasniti ovu vrstu sučelja, dati pregled stanja razvoja, ukazati na važnost šire primjene, te analizirati moguće smjerove razvoja s obzirom na postojeće probleme koji stoje na putu kako razvoja, tako i šire primjene ovog oblika korisničkog sučelja. Kao glavna metoda prikupljanja materijala za izradu ovog preglednog rada korištena je analiza uglavnom digitalnih materijala dostupnih na Internetu, kao i primjena vlastitih iskustava autora sa nekim od komercijalno dostupnih oblika primjene ove tehnologije.

2. Odnos tehnologije i ljudskog čimbenika

U stvarnom svijetu, u svakodnevnom životu, čovjek svoj kontakt s okolinom, osim putem vida, sluha i njuha koje doživljavamo kao dominantna osjetila, ostvaruje i putem tjelesnog kontakta. Moglo bi se reći da je ovaj tjelesni kontakt raznovrsniji i složeniji od ostalih ljudskih sučelja. Naime, djelovanjem raznih podražaja na ljudsko tijelo mozak dobiva podatke i oblikuje informacije o stanju cijelog organizma unutar okoline u kojoj se nalazi. Taj skup prirodnih detektora (davatelja podataka) nazivamo pojmom ljudski

čimbenik. U stvarnom svijetu svi su ti procesi i podražaji uobičajeni i događaju se gotovo neprimjetno. Međutim, želimo li te procese preseliti u virtualnu domenu i na neki način “prevariti” organizam da ograničeni virtualni podražaj doživi kao stvarni, stvari prestaju biti tako jednostavne i iziskuju cijeli niz pomoćnih tehničko-tehnoloških rješenja koje treba sučeliti tzv. ljudskom čimbeniku. Ovo je osnova problema dobrog oblikovanja HS. S obzirom na način djelovanja na ljudski čimbenik, HS se dijele na dvije skupine: *kinestetička* i *taktilna*. U ostvarenju kinestetičkog doživljaja podražaja na organizam sudjeluju svi tjelesni ekstremiteti ili preciznije: mišići, tetive i zglobovi. Na temelju ovih podražaja mozak procjenjuje položaj tijela u prostoru i doživljava inercijalne sustave. Kvalitetno kinestetičko sučelje mora pružiti doživljaj svih šest stupnjeva slobode te osjećaj djelovanja sile i protusile. Tehnološke izvedbe i načini djelovanja prikazani su u Tablici 1 [3].

Tablica 1: Tehnološke izvedbe kinestetičkih HS

Izvedba	Način djelovanja
Pneumatska	Aktuator je najčešće klip koji izravno djeluje na ekstremitete.
Hidraulična	Aktuator je najčešće klip koji izravno djeluje na ekstremitete.
Električna	Aktuator je istosmjerni elektromotor koji izravno ili putem sajli i kolotura djeluje na ruku, ručni zglob ili prste.
Magnetska	Koristi se Lorentzovo načelo levitacijskog mehanizma koji djeluje na šaku i prste.

U slučaju taktilnih HS situacija je nešto složenija. Iako u načelu djeluju na relativno mali dio površine kože prstiju i šake, pokrivaju znatno veći raspon podražaja koje mozak vrlo detaljno analizira i oblikuje informacije o svojstvima ploha i predmeta koji se dodiruju, odnosno kojima se u VS manipulira. Detaljniji pregled tehnoloških izvedbi taktilnih HS dan je u Tablici 2 [3].

Tablica 2: Tehnološke izvedbe taktilnih

Djelovanje	Način djelovanja	Osjet
Elektrostatski	Kondenzator s polimerskom izolacijom gdje je prst jedna ploha-elektroda, a vanjska podloga druga ploha-elektroda.	Trenje, lateralne sile na prst, odnosno kožu.
Elektrokuteno	Elektrostimulacija živčanih završetaka.	Pritisak, slaba vibracija.
Vibro-taktilno	Istosmjerni motori s maseno ekscentričnom osovinom ili linearni rezonatori.	Impulsna ili konstantna vibracija
Vibro-rezonantno	Piezoelektrik ili vibro-rezonator s paralelnim listićima.	Vibracija s izraženim rezonantnim frekvencijama.
Temp. posmak	Grijači element na vrhu prsta.	Promjene temperature.
Pneumatski pritisak	Pneumatski klip pričvršćen na ruku.	Kontakt prsta - površina.
Elektromagnetsko	Elektromagnetski klip.	Pritisak pri držanju.
Egzoskeleton	Okvir koji povezuje aktuator pritiska s više prstiju ruke.	Sila hvatanja, pritisak, kontinuirani pritisak.

Djelovanje	Način djelovanja	Osjet
Izravni pritisak na prst	Remen ili list preko kojeg se podešava ili opušta sila na vrh prsta pomoću jednog ili više istosmjernih elektromotora.	Kontinuirani pritisak, postupna vibracija, zakrivljenost, obrub.
Elektro aktivirani polimeri	Kemijski modificirani polimer koji daje fizički poticaj zavisno od narinutog napona.	Pritisak zbog površinskih ispuščenja i grube teksture.
Potisne igle	Skup potisnih igala koje pokreće elektro-magnetsko polje koje simulira pritisak i uzorke npr. Brailleovog pisma.	Kontinuirani pritisak i meki impulsi.
Termalni	Peltireov element koji nadzire temperaturu koje sučelje prenosi na kožu	Zagrijavanje ograničene površine kože.
Keramički piezoelektrik	Jedno ili više-slojni element keramičkog piezoelektrika koji oscilira zavisno od primijenjenog napona.	Kontinuirane vibracije ili impulsi.
Reološka tekućina	Tekućina kojoj se viskozitet mijenja zavisno od jačine el. ili mag. polja.	Krutost.

Dizajn dobrog strojnog HS obuhvaća znatno složeniji multidisciplinarni pristup nego kod uobičajenih vizualnih i zvučnih sučelja. Ljudski čimbenik iskazuje svoja svojstva na različite načine te su kod istraživanja taktilnih HS neophodna aktivna i pasivna istraživanja. Kod aktivnih istraživanja čovjek sam navodi svoje pokrete i nastoji spoznati svojstva površine nekog virtualnog predmeta. No, primijećeno je da pri analizi dvodimenzionalnih likova čovjek često skrene sa praćene konture što ometa doživljaj površine. Pri pasivnom istraživanju druga osoba navodi pokrete duž predmeta, a sučeljena osoba se može bolje koncentrirati na doživljaj predmeta kojeg dotiče. Sučelje koje koristi taktilnu povratnu vezu mora pratiti više osobina ljudskog osjećaja dodira. Površina prstiju je jedno od najosjetljivijih dijelova površine kože jer na vrhu prsta ima oko 135 senzora po kvadratnom centimetru. Također, prsti su za osjećaj teksture osjetljivi na vibracije do 10 kHz, a najosjetljiviji su na vibracije od 230 Hz. Prsti ne mogu razlikovati dva signala sile kojima je frekvencija iznad 320 Hz, jer tada to prsti osjećaju samo kao vibracije. Kod kinestetičkih HS zasnovanih na povratnoj vezi proporcije i snaga prosječnih udova moraju se također uzeti u obzir. Treba paziti na sigurnost ruku pri dizajniranju HS, jer se u slučajevima gdje se ruke koriste za upravljanje sustavima koji višestruko multipliciraju sile djelovanja (npr. građevinska i industrijska mehanizacija, razni robotski sustavi) povratna sila na ruke mora sigurnosno ograničiti kako u neželjenim situacijama samo sučelje ne bi izazvalo povrede operatera. Sile na pojedinačne prste trebaju biti između 30 i 50 N. Za prosječnog korisnika kažiprst može izdržati silu od 7 N, srednji prst 6 N, prstenjak 4,5 N bez da korisnik osjeti zamor. S druge strane u slučajevima sustava za kirurški trenaj i udaljene robotske operacije, svaka promjena povratne sile je od neopisive važnosti za operatera, jer mu stvara stvarni osjećaj svojstava tkiva i smanjuje opasnost od neželjenih ozljeda pacijenta. U situaciji kada su vizualna i haptička komponenta u kontradikciji, vizualna indicija najčešće nadjača haptičku. No, ova činjenica omogućava rješavanje problema kontakta sa krutim zidom, jer je inače vrlo teško točno simulirati susretanje virtualnog objekta sa tvrdim nepomičnim objektom. Na osnovu vizualne indicije korisnik će dobiti osjećaj elastičnog sruza s tvrdim zidom iako haptičko sučelje ne daje osjećaj tvrde podloge već linearnu aproksimaciju Hookovog zakona. [3]

Iz ovog kratkog prikaza odnosa između tehnoloških rješenja i ljudskog čimbenika evidentno je da HS imaju cijeli niz distorzija i distanci u odnosu na stvarni svijet na kojima će još trebati naporno raditi. [1,2,3]

3. HS u primjeni

Raspon uporabe haptike u suvremenom svijetu kreće se od široko dostupnih primjena u području potrošačke elektronike i automobilske industrije, preko raznih oblika sustava za rehabilitaciju, pomoć u radu osobama s posebnim potrebama, pa do sofisticiranih industrijskih, medicinskih i znanstvenih primjena.

U domeni potrošačke elektronike svakako su najpoznatiji vibro-sustavi na pametnim telefonima koji omogućuju signalizaciju poruka i poziva bez zvučnih i optičkih signala. Ova koncepcija proširena je na primjeru pametnog sata *Apple Watch* [4] koji osim signalizacije i praćenja vitalnih parametara omogućava i društveno umrežavanje u prostoru signalizirajući blizinu nosioca istog takvog sata, dok iPhone 7 više nema mehaničku već haptičku *home* tipku, a pojedine akcije na dodir osjetljivom zaslonu ovise i o jačini i dužini stiska i načinu pomaka prsta [4].

Već više od desetljeća popularne su tzv. *force-feedback* konzole (volan i pedale) za trkačke računalne igrice koje igraču pružaju doživljaj rada motora vozila i stvarne podloge po kojoj se vozilo kreće [2]. U istoj tržišnoj domeni, ali u skupljem razredu nalaze se napredni vizualno-haptički sustavi kao što su BMW-ovi *iDrive* (serija 7) i *Drehe-Druck-Knopf* (u Z9 modelu) sustavi za upravljanje voznim svojstvima i multimedijom [5]. Tvrtka Bosch predstavila je na Međunarodnoj izložbi automobila 2015. godine aktivnu papučicu gasa koja pomaže do 7% u štednji goriva tako što vozaču daje nježni haptički signal kako bi označila položaj papučice s najmanjom potrošnjom goriva [6].

Suvremenom primjenom haptike slijepima je omogućeno da, zahvaljujući sustavima sa potisnim iglama kao što je npr. *PowerBraille Display* [7] čitaju i uređuju retke teksta poput osoba sa zdravim vidom. U domeni rehabilitacije postoje različiti sustavi s upravljanom povratnom silom koji omogućuju fizikalnu rehabilitaciju osoba nakon trauma i moždanog udara [8].

U domeni medicinskih aplikacija kombinacija HS i VS je naročito zastupljena u području trenaža kirurga na simulatoru za endoskopske operacije, vršenju ovih operacija primjenom VS i 3D naočala te robotiziranih operacija na udaljenim lokacijama [9,10]. Dok su ova HS u prvoj dekadi 2000-ih bila usmjerena na izravno upravljanje instrumentima bez informacije o povratnoj sili, u ovoj drugoj dekadi načinjeni su ozbiljni koraci u unaprjeđenju haptičkog iskustva [10].

Slična je situacija i u raznim drugim područjima od građevinskih zahvata, raznih industrijskih područja, pirotehničkih zahvata, servisa nuklearnih elektrana pa do svemirskih istraživanja [10]. Osim u potrošačkom sektoru, najveći problem, je cijena ovih sustava koja vrtoglavo raste, od više tisuća američkih dolara za jeftinije sustave za pomoć slijepim osobama, pa do vrtoglavih iznosa medicinskih i industrijskih sustava [2,7,9,10,11].

4. Zaključak

Daljnji razvoj HS nedvojbeno će u skorijoj budućnosti ići u smjeru kombinacije kinestetičkih i taktilnih sučelja u širokom spektru primjena. Naglasak će biti na boljem prijenosu povratnih sila te na većoj razlučivosti, a time i uvjerljivosti taktilnih sučelja [3,10]. Kombinacija VS i HS omogućuje osobama sa smanjenim tjelesnim sposobnostima da prijeđu granice svojih prirodnih mogućnosti, zdravim osobama omogućuje da kroz razne profesionalne i znanstvene aktivnosti pristupaju i istražuju mjesta kojima inače ne bi mogli pristupiti. Međutim, znatan dio današnjih tehničko-tehnoloških sredstava, odnosno opreme za ostvarenje HS sputava slobodu pokreta korisnika, tako da treba očekivati daljnje napore na smanjenju gabarita i povećanju mobilnosti ove opreme. Kao što je iz dosadašnjih razmatranja vidljivo tzv. distorzije i distance od stvarnog svijeta su znatne i gotovo je nemoguće načiniti idealno HS. Rješenje ovog problema leži u postizanju intuitivnosti ovih sučelja. Naime, prilikom stvaranja nekog HS potrebno je imati u vidu u koju svrhu i za koji posao se konstruira te s obzirom na to treba učiniti uporabu sučelja što intuitivnijom uz minimalno vrijeme potrebno za uvježbavanje. [2,3,10]

Literatura

- [1] Rantala, J.: Haptic user interfaces 2013, University of Tampere, Finland, Available from <http://www.uta.fi/sis/tie/hui/schedule/HUI2013-1-haptics.pdf> Accessed: 2018-03-10.
- [2] MacLean, K.E.: Haptic Interaction Design for Everyday Interfaces, *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, Vol. 4 (2008), No. 1, pp. 149-194, DOI: 10.1518/155723408X342826
- [3] Perez Ariza, V.Z. & Santis-Chaves, M., Haptic interfaces: Kinesthetic vs. tactile systems, *Revista EIA*, Vol. 13 (2016), No. 26, pp. 13-29, ISSN 1794-1237
- [4] Hall, B.S.: Taptic, haptics, and the body fantastic: The real Apple Watch revolution, Available from <http://www.macworld.com/article/2690729/taptic-haptics-and-the-body-fantastic-the-real-apple-watch-revol.html> Accessed: 2017-06-01
- [5] Bernstein, A. et al: Visual-haptic interfaces in car design at BMW, In *Human Haptic Perception: Basics and Applications* Birkhäuser, DOI 10.1007/978-3-7643-7612-3, Basel, (2008), pp. 445-451
- [6] BOSCH: Bosch u Hrvatskoj: Međunarodna izložba automobila (IAA), Available from http://www.bosch.hr/hr/hr/newsroom_10/news_10/news-detail-page_81600.php Accessed: 2017-06-01
- [7] Bell, E. et al: Haptic User Interface - Phase II, Michigan state University, February 1, 2013, Available from https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/spring13/group06/ECE480_DT6_PreProposal_Final.pdf Accessed: 2018-03-10.
- [8] Burdea, G.C.: The Role of Haptics in Physical Rehabilitation, *Researchgate*, DOI: 10.1201/b10636-29, pp. 517-529, July 2008, Available from https://www.researchgate.net/publication/265618030_The_Role_of_Haptics_in_Physical_Rehabilitation Accessed: 2018-03-10.
- [9] LABORATOIRE DE SYSTEMES ROBOTIQUES LSRO: Surgical Simulators with Haptic Feedback, Available from <http://lsro.epfl.ch/simulators> Accessed: 2017-06-01
- [10] Kapoor, S. et al: Haptics – Touchfeedback Technology Widening the Horizon of Medicine, *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, Vol. 8 (2014), No. 3, pp. 294-299, DOI: 10.7860/JCDR/2014/7814.4191
- [11] Chotiprayanakul, P. et al: A haptic base human robot interaction approach for robotic grit blasting, *Proceedings of The 25th ISARC*, pp. 148-154, <https://doi.org/10.22260/ISARC2008/0022>, Lithuania, Vilnius, June 26-29 2008