

# Haptička sučelja

---

**Omerović, Andrea**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:290357>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Andrea Omerović

# **HAPTIČKA SUČELJA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac , 2017.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Andrea Omerović

# **HAPTIC INTERFACE**

Final paper

Karlovac, 2017.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Andrea Omerović

# **HAPTIČKA SUČELJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc. Damir Kralj, v.pred.

Karlovac , 2017.

## ZAVRŠNI ZADATAK



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
 Trg J.J.Strossmayera 9  
 HR-47000, Karlovac, Croatia  
 Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
 Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



### VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Specijalistički diplomski stručni studij  
 sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, \_\_.\_\_.2017.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Andrea Omerović

Matični broj: 0420415018

Naslov: HAPTIČKA SUČELJA

Opis zadatka:

- Analiza povijesti i stanja razvoja haptičkih sučelja prikupljanjem sadržaja i iskustava iz različitih elektroničkih i pisanih izvora.
- Prikaz konceptualne i stvarne primjenjivosti haptičkih sučelja u raznim područjima ljudske djelatnosti, počevši od računalnih igrica preko industrijskih primjena pa do raznih znanstvenih područja.
- Analiza daljnjeg razvoja i primjenjivosti haptičkih sučelja.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

29.05.2017.

\_\_.\_\_.2017.

\_11.09.2017.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr. sc. Damir Kralj, v. pred.

mr. sc. Snježana Kirin, v. pred.

## **PREDGOVOR**

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Damiru Kralju na savjetima, uloženom vremenu te na primjedbama i korekciji koje su pridonijele boljitku i kvaliteti rada.

Također se posebno zahvaljujem Danijelu Cindriću, svojoj majci Ivanki Omerović, ocu Safetu i ostatku obitelji koja mi je bila velika potpora kroz svo školovanje.

## **SAŽETAK**

U ovom radu je pojašnjena značajnost interakcije čovjeka i računala putem haptičkog sučelja. Objasnjeni su sustavi koji se koriste u interakciji te je ukazana važnost ljudskog faktora u sustavima komunikacije te su prikazana današnja dostignuća u području haptičkih sučelja. Također se kroz rad dotičemo tema primjene haptičkih uređaja u području medicine te kao pomoći kod osoba sa poteškoćama. Cilj ovog rada je pojasniti kako haptička sučelja mogu pomoći u današnjici te koji problemi se javljaju u njihovoj primjeni te kako bi se moglo poraditi na njihovom rješavanju.

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

## **SUMMARY**

In this paper is clarified the significance of human and computer interaction through the haptic interface. The systems used in interaction are explained and the importance of the human factor in communication systems is highlighted and today's achievements in the field of Haptic Interface are presented.

Also, we are dealing with the topic of applying haptic devices in the field of medicine and assisting people with disabilities. The aim of this paper is to clarify how Haptic interfaces can help in the present and what problems occur in their application and how to work on their solution.

Key words: human-computer interaction, haptic interfaces, virtual reality, human factor

## SADRŽAJ

ZAVRŠNI ZADATAK .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SUMMARY .....	III
1. UVOD .....	1
1.1. Predmet i cilj rada .....	2
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja .....	2
2. KORISNIČKO SUČELJE .....	3
3. NAPREDNI OBLICI INTERAKCIJE IZMEĐU ČOVJEKA I RAČUNALA .....	5
3.1. Stereoskopski sustavi sa razdvojenim zrakama .....	5
3.2. Volumetrijski prikaz .....	7
3.3. Sustavi za ponovno prikazivanje slike .....	8
3.4. Holografski prikaz .....	9
4. HAPTIČKA SUČELJA .....	10
4.1. Svojstva haptičke površine .....	11
4.2. Primjena haptičkih sučelja .....	12
4.3. Ljudska percepcija i haptička sučelja .....	16
4.4. Haptička holografska sučelja .....	17
4.5. Primjena haptike u virtualnim svjetovima .....	20
4.5.1. Problemi u stvaranju virtualnih prostora korištenjem haptičkih sučelja .....	22
4.5.2. Pristup korisnika virtualnim svjetovima pomoću haptičkog sučelja .....	22
4.5.3. Izrada haptičkih sučelja pomoću VRML-a .....	23
5. LJUDSKI ČIMBENICI U HAPTIČKIM SUČELJIMA .....	26
5.1. Anatomija i psihologija .....	27
5.2. Sigurnosni problemi .....	28
5.3. Računala za hendikepirane i slijepe osobe .....	29
5.4. Mogućnosti haptičkih sučelja u budućnosti .....	32
6. PRIMJERI HAPTIČKIH SUČELJA .....	34



6.1. Skupi ali primjenjivi koncepti .....	34
6.1.1. PHANToM .....	34
6.1.2. GHOST .....	35
6.1.3. e-Touch SDK.....	35
6.1.4. Linearni haptički prikaz.....	36
6.1.5. Drugi uređaji i metode za prijenos osjećaja dodira .....	37
6.2. Skupi, ali tržišno dostupni i primjenjivi sustavi.....	39
6.3. Sučelja .....	39
7. ZAKLJUČAK.....	41
10. LITERATURA .....	43
11. PRILOZI .....	45
11.1. Popis simbola.....	45
11.2. Popis slika.....	45

## 1.UVOD

Nove tehnologije svakodnevno preplavljaju naš život. Ono što se nekad smatralo nemogućim i nevjerojatnim danas postoji u našoj okolini, našim domovima. Sa intenzivnim razvojem tehnologije razvija se i čovječanstvo, unapređuju se sva područja ljudskih djelatnosti, te se time poboljšavaju i sami uvjeti života. Čovjekova težnja da postigne još više i bolje rezultirala je velikim i naglim razvojem tehnologije, a to se najviše vidi u interakciji čovjeka i računala tj. razvoju sučelja i računala.

HCI je kratica za *Human- Computer Interaction* što je znanstveno područje koje izučava kakvoću i mogućnosti unaprjeđenja korisničkih sučelja. Korisničko sučelje (eng. *user interface*) je bilo koja programska podrška ili sklopovlje koje korisniku dopušta interakciju s računalom. HCI je plodno tlo za istraživanje i razvoj s ciljem dizajniranja novih i modernijih sučelja tj. interakcija, koja omogućavaju kvalitetu, ali i korist. Osim toga, neki od bitnih uvjeta su jednostavnost korištenja i korisnost uređaja pri čemu ono mora imati i moderan izgled, tj. kakav je sad u trendu. Sve su to stavke koje današnji dizajneri takvih uređaja moraju ispuniti. HCI je multidiscipliniran i obuhvaća sva ova područja: ljudski čimbenik, ergonomiju, kognitivnu psihologiju, inženjerstvo te znanost o računalima.

Prije raširene upotrebe računala na radnom mjestu, gotovo svi ljudski zadaci uključivali su korištenje senzorno-motornih vještina. Uglavnom, računalna sučelja nisu uzela kao veliku prednost ove temeljne ljudske sposobnosti. Interakcija s računalom oslanja se na vještine slične onima potrebnim za korištenje pisanih strojeva uz iznimku uređaja kao što je miš.

Haptička sučelja se mogu promatrati kao pristup za rješavanje ovog ograničenja. Stoga je moguće klasificirati haptiku u području korisničkih sučelja. Za razliku od tradicionalnih sučelja koja pružaju vizualne i auditivne informacije, haptička sučelja stvaraju mehaničke signale koji stimuliraju ljudske kinestetičke i dodirne kanale. Haptička sučelja također pružaju ljudima sredstva za djelovanje na njihovu okolinu. Stoga možemo pokušati definirati haptička sučelja kao da se

bave povezivanjem geste s dodiranjem i kinestezijom kako bismo osigurali komunikaciju između ljudi i strojeva.

Računala postaju obavezan alat u obavljanju profesionalnih zadaća. Primjena računala nam donosi i određene rizike po zdravlje. Upravo zbog toga bitno je znati kako pravilno koristiti računala, alate koje koristimo pri radu na njima te procijeniti nedostatke koji mogu utjecati na obavljanje ranih zadataka.[1]

### **1.1.Predmet i cilj rada**

Cilj ovog rada je odgovoriti na pitanja što je haptičko sučelje, kako ono može poboljšati uvjete na radnom mjestu, gdje su ovakva rješenja već prisutna u svakodnevnom životu te kako možemo ovo područje iskoristiti kao pomoć osobama sa zdravstvenim poteškoćama.

### **1.2.Izvori podataka i metode prikupljanja**

Kao osnovna metoda pri izradi ovog rada primijenjena je analiza dostupne literature, te analiza materijala u elektroničkom obliku dostupnih na Internetu. Također su korištena dosadašnja praktična iskustva kako autora ovog rada tako i iskustva osoba u bližoj i široj okolini autora.

## 2. KORISNIČKO SUČELJE

Korisničko sučelje je prenosnica između računalnog sustava i/ili programske podrške i korisnika. Pomoću korisničkog sučelja upravljamo računalom, koristeći se pritom ulaznim uređajima poput miša, tipkovnice i podloga (eng. *touchpad*) i zaslona (eng. *touchscreen*) osjetljivih na dodir. Izlazni uređaj na kojem se vizualno očituju zadane naredbe i poduzete akcije u kontekstu suvremenog korisničkog sučelja je prikazna jedinica ili monitor.

Prva korisnička sučelja su bila sučelja zasnovana na naredbenom retku, naredbe su se unosile preko tipkovnice, a tijek i rezultat su se ispisivali na zaslonu. Sučelja zasnovana na naredbenom retku su nastala 1950-tih, kada su se za ispis tijeka i rezultata radnje koristili teleprinteri. Značajan napredak je ostvaren kada je ulogu teleprintera zamijenio monitor s katodnom cijevi (eng. *Cathode-ray tube*, CRT). Izum miša je bio presudan za daljnji razvoj korisničkih sučelja jer je pomoću mišem upravljano pokazivača na ekranu dodana nova dimenzija u interakciji korisnika i računala. Miš je izumio Douglas Engelbart, sa Stanfordskog Sveučilišta, 1964., a prvi prototip je predstavljen 1968. Prototip je bio nazvan *X-Y Position Indicator*, a bio je smješten u drvenu kutiju s kotačićima, čiji su okretaji upravljali pomakom pokazivača na ekranu.

Nakon sučelja zasnovana na naredbenom retku, na scenu su stupila tekstualna korisnička sučelja, koja su i dalje u obliku teksta ispisivala naredbe na ekranu. Za razliku od sučelja zasnovanih na naredbenom retku, nije bilo potrebno unositi naredbe, već ih je bilo moguće pozivati odabiranjem unutar sučelja.

Kako se razvijalo sklopovlje i grafičke sposobnosti računala, tako su se počeli koristiti vizualni elementi u korisničkom sučelju. Pionir te ideje bila je tvrtka Xerox, koja je 1974. godine predstavila prototip Alto računala. Komercijalni nasljednik Alta, Xerox Star, radi visoke cijene nikada nije postigao željeni uspjeh. Prvo komercijalno uspješno računalo s grafičkim korisničkim sučeljem bilo je Apple Macintosh, 1978. godine. Nakon uspjeha Macintosha, grafičko korisničko sučelje je postalo standard za sva buduća računala. Microsoft je već s Windows 2.0 slijedio navedene trendove, a prva inačica Windowsa s grafičkim korisničkim sučeljem je bila Windows 3.1.

Svi današnji operacijski sustavi koriste napredna grafička sučelja, koja su proizašla iz Xeroxove ideje, a sa svakom generacijom operacijskih sustava sučelja su se usavršavala.

U sučeljima zasnovanim na naredbenom retku (engl. *Command Line Interface, CLI*), naredbe su se unosile preko tipkovnice u za to predviđen okvir, a tijek i rezultat zadane radnje se ispisivao na ekranu. Izvođenje radnji je bilo linearno i predviđeno za *unitasking* (istovremeno izvođenje samo jedne radnje).

Tekstualno korisničko sučelje (engl. *Text User Interface, TUI*) Ne odlikuje se grafičkim prikazom, već svugdje koristi tekstualna predstavljanja funkcija, ali je po načinu korištenja bliži grafičkom nego sučelju zasnovanom na naredbenom retku. Naredbe se biraju među postojećim elementima unutar sučelja.

Grafičko korisničko sučelje (engl. *Graphical User Interface – GUI*) pojednostavljuje korištenje programa čineći sve funkcije dostupnima unutar vizualnog sučelja. Tipično korisničko sučelje se koristi prozorima, ikonama, statičnim i padajućim izbornicima, dijaloškim okvirima i sličnim elementima. Za obavljanje određene radnje u grafičkom korisničkom sučelju, upravljamo vizualnim korisničkim sučeljima.

Nadolazeći trendovi se odnose na varijacije grafičkih korisničkih sučelja. Primjeri tih trendova su sučelja upravljana glasom, dodirom(eng. *Natural User Interface, NUI*). [2]

### 3. NAPREDNI OBLICI INTERAKCIJE IZMEĐU ČOVJEKA I RAČUNALA

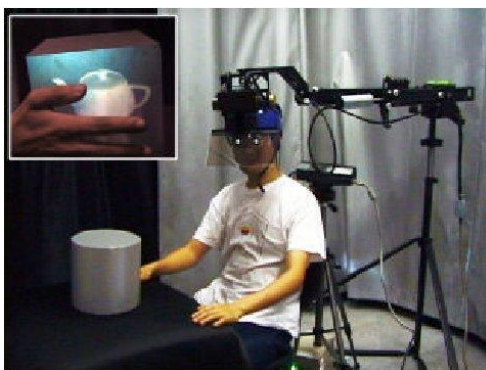
Usko grlo poboljšanja iskoristivosti interaktivnih sustava nije samo izvođenje zadanog zadatka, nego i komunikacija između korisnika i računala. Potrebni su brži i prirodniji načini izmjene informacija između korisnika i računala. Sa strane korisnika, interaktivna tehnologija računala ograničena je ljudskim organima za komuniciranje, sa strane računala, ograničenje su samo ulazno-izlazni uređaji koje ljudi mogu osmisлити i napraviti. Problem komunikacije između korisnika i računala može se sagledati kao odnos između dva moćna informacijska procesora koji pokušavaju međusobno komunicirati preko vrlo uske veze. Istraživanja na ovom području pokušavaju što bolje iskoristiti vezu i razvojem bržih, jačih i paralelnijih sustava s ciljem uklanjanja uskog grla. Smisao proučavanja interakcije između čovjeka i računala je stvaranje sustava koji su upotrebljivi, sigurni, produktivni, efektivni i funkcionalni. S poslovne strane problema interakcija između čovjeka i računala je kritična, ne zbog toga jer donosi velike profite već zbog toga što kad je nema često rezultira fatalnim pogreškama. U suvremenim tržišnim uvjetima postoji intenzivna konkurencija između Internet trgovina, a jedan od najjačih čimbenika prednosti između njih je jednostavnost njihove upotrebe. Općenito rečeno, svako područje ljudske djelatnosti koje uključuje interakciju između čovjeka i računala, ima svoju problematiku i diktira specifične uvjete unutar područja HCI. Kako gotovo svako od ovih područja obuhvaća vizualizaciju predmeta, radnji i okruženja, unutar ovog poglavlje će biti opisana neka od dostignuća u području vizualizacije koja su na neki način osnova primjene haptike u komunikaciji između čovjeka korisnika i računala kao sredstva za obavljanje neke radnje. [3]

#### 3.1. Stereoskopski sustavi sa razdvojenim zrakama

Stereoskopski sustavi sa razdvojenim zrakama (engl. *Stereoscopic systems with beam splitters*) je stara i često korištena tehnika koja koristi polupropusna zrcala za kombinaciju dvije ili više *stereo* slika za pogled ruke u virtualnom 3D radnom prostoru. U tim sustavima *stereo* slika ne može sakriti stvarni svijet niti

stvarni svijet može prekriti sliku. Rezultat je fantomska slika u kojoj simulirani i stvarni objekti ponekad izgledaju prozirno. U takvoj konfiguraciji volumeni simuliranih i stvarnih objekata mogu slobodno prodirati jedni u druge. Kada se nalaze na istom mjestu izgled je neobičan i njihove apsolutne dubine mogu biti pogrešno percipirane.

Kada su stereoskopski video ili računalne grafike korištene u prikazivanju, objekti mogu biti realistično renderirani i prikazani u visokoj razlučivosti. Tako generirani 3D prikazi mogu imati u sebi slikovne oznake dubine i mogu biti renderirani sa uvjerljivim sjenčanjem, teksturama i refleksijama. Ipak pikselizirani stereoskopski prikaz ima inherentni problem pikselizacije dubine za CR monitore sa veličinom točke 0.25mm. Prosječni promatrač, sa razmakom zjenica od 65mm na udaljenosti od 50cm od ekrana, bi imao kvantizaciju dubine reda 2mm. Kako je ljudska stereo osjetljivost na toj udaljenost reda 1mm ti prikazi još ne mogu omogućiti zadovoljavajući prikaz dubine. Ovi sustavi također fiksiraju dubinu prikaza, za vrijeme renderiranja ili hvatanja scene, često bez uzimanja u obzir prikladne dubine fokusa za promatračeve oči. Rezultirajuća stereo slika često ima abnormalno veliku dubinu čemu se može pripisati ometajuća priroda nespojivih slika u stereo prikazima. Na slici 1. imamo prikazan primjer primjene ovog sustava.[3]



Slika 1. - Stereoskopski sustav s razdvojenim zrakama. [3]

Ako se koristi praćenje posmaka glave da bi se omogućilo pomicanje pogleda, može pri tome doći do problema u trzanju scene zbog naglih pomaka glave. Zato su potrebni dodatni uređaji za gledanje (npr. LCD naočale) da bi se razdvojilo stereo slike za lijevo i desno oko te tako omogućilo praćenje pogleda glave. Iako

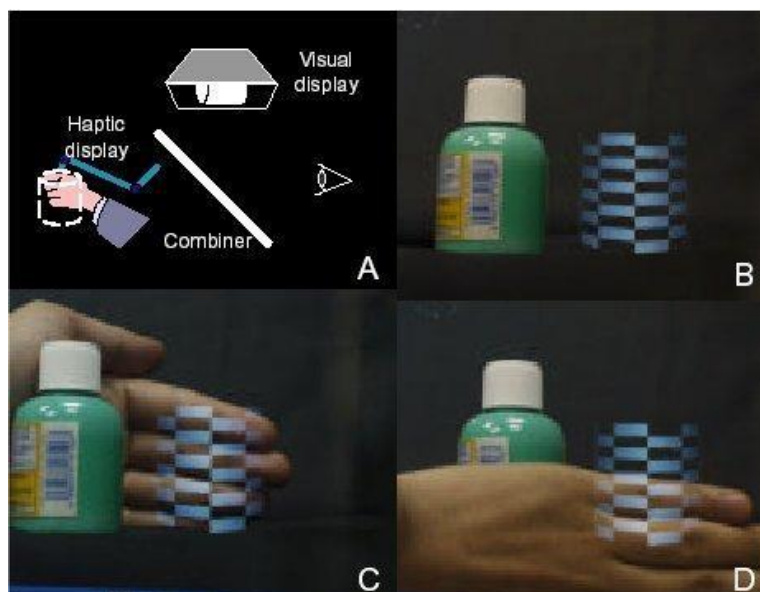
te naočale nisu posebno neudobne, za autostereoskopsko gledanje se u pravilu ne propisuje uvijek, već se preferira za promatrače koji već nose naočale. [3]

### **3.2. Volumetrijski prikaz**

Volumetrijski prikazi (engl. *Volumetric display*) funkcioniraju na načelu skeniranja 3D prostora sa snopovima svjetla. Čvrsti objekti su u tim prikazima aproksimirani prostornim rasporedom dijelova slika ili prikazuju strukturu objekta sa mnogo točaka svjetla koja su prostorno raspoređena. Postoji nekoliko tipova volumetrijskih prikaza: prikaz nakupljajućih dijelova slika koje su poput zrcala sa varijabilnim fokusom, prikaz rotirajućih površina (npr. Omniview sustav tvrtke Texas Instruments), te sustavi koji emitiraju fotone iz samog displaya.

Ovi prikazni sustavi imaju nekih prednosti – nema nepodudarnosti između akomodacije i konvergencije jer sve točke objekata imaju stvarne prostorne udaljenosti na koje se oko može slobodno konvergirati i fokusirati. Zato ovi prikazi obično omogućuju široko vidno polje. Ipak niska rezolucija, s kojom mnogi takvi sustavi prikazuju točke objekata, izaziva kvantizaciju dubine, a pošto su te točke koje emitiraju svjetlo u tim sustavima izotropski radijatori, osjenčanje ovisno o pogledu nije moguće. Još veći problemi su što prekrivanja vanjskih i unutrašnjih objekata nisu podržana. Pošto su prekrivanja skoro uvijek najsnažnije oznake dubine scene, slike se čine nestvarne i privid trodimenzionalnosti je ozbiljno narušen. U korištenju vizualno manualnih aplikacija ovi prikazi su vrlo neprikladni jer većina njih ne može fizički uklopiti ruku u svoj prostor prikaza. Na slici 2. imamo prikazan način funkcioniranja volumetrijskog prikaza. [3]





Slika 2. -Volumetrijski prikaz. [3]

### 3.3. Sustavi za ponovno prikazivanje slike

Sustavi za ponovno prikazivanje slike (engl. *Reimaging display devices*) koriste optičke sustave koji kombiniraju i uvjetuju slike te ih provedu u gledateljev prostor. Primjer su *Dimensional Media - High Definition Volumetric Display* i *Sega – Time Traveler* (arkadna igra). Ti sustavi šalju promatraču slike stvarnih 3D modela i 2D računalne grafike. Ova klasa sustava upotrebljava optičke komponente poput paraboličnih zrcala, leća i razdvajajućih zraka da bi ponovno prikazala već postojeće 3D objekte ili 2D prikaze. Takva interakcija koja bi modificirala stvarni oblik prikazanih modela nije moguća. Neki od tih sustava poput *DMA HoloGlobe* su u stanju prikazati velike slobodne slike sa širokim pogledom. Gledatelj može vidjeti slike pod različitim uvjetima rasvjete i bez ikakvih optičkih pomagala.

Prilagođavanje i konvergencija vjerojatno se ponašaju isto kao za vrijeme normalnog gledanja. Pošto ti sustavi ponovno prikazuju stvarne 3D objekte rezultirajući prikaz može biti vrlo uvjerljiv. Ipak u korištenju vizualno-manualnog sustava moguće je da ruka doslovno prekrije projekciju slike. Ako se to dogodi privid dubine može biti ozbiljno ugrožen. [3]

### **3.4. Holografski prikaz**

Holografski prikaz je pristup koji također ima problema sa korištenjem vizualno-manualnog sustava, jer ako se ruka korisnika nađe između točaka objekta (pokraj korisnikovih očiju) i ravnine holograma, koja je nešto dalje, rekonstrukcija slike je blokirana i korisnik ima privid kao da drži bliži objekt. Ovaj problem se javlja samo pri posebnom položaju ruke i objekta. Usprkos toj manji, holografski prikaz se vrlo aktivno razvija. Holografski stereogram je diskretizirani hologram koji projicira seriju 2D perspektivnih slika scene u zonu prikaza. Time je korisniku omogućeno autostereoskopsko gledanje scene i promjene horizonta scene u sinkronizaciji sa pokretima glave gledatelja. [3]

## 4. HAPTIČKA SUČELJA

Riječ "haptic" potječe od grčke riječi *hapetesthai* što znači dodirnuti. Haptičko sučelje je uređaj koji omogućuje računalu da korisniku stvori osjećaj dodira. Haptička sučelja omogućuju pažljivo kontroliranu povratnu silu na prste korisnika, tako da korisnik ima osjećaj kao da dira stvarni objekt.

Kod ljudi, osjetilo dodira postiže se pomoću stanica mehanoreceptora koje se nalaze ispod površine kože koje mogu registrirati vibracije do 300Hz, a najveća gustoća tih stanica je na površini ruke.

Osjećaj tvrdoće (napetosti) površine je kinestetičke prirode i postiže se receptorima koji su smješteni u našem tijelu. Ovi mehanoreceptori nalaze se u mišićima, tetivama i zglobovima, i stimulirani su pokretima. Frekvencija na kojoj se oni stimuliraju je u rasponu od 0-10Hz. Zato se povratna veza (engl. *force feedback*) zasniva na umjetno potaknutim silama koje djeluju izravno na korisnika iz nekog vanjskog izvora.

Postoje dva aspekta dodira: jedan omogućuje kinestetičku informaciju, a drugi omogućuje *taktilnu* informaciju. Kinestetičku informaciju koju korisnik prima o objektu sačinjavaju svojstva kao što su položaj objekta u prostoru i mogućnost deformiranja površine objekta upotrebom sile (da li je površina objekta kao spužva, kamen, guma i sl.). Taktilna informacija daje nam osjećaj kvalitete površine (hrapavo, glatko i sl.). Da bi simulacija dodira bila što stvarnija oba ova elementa treba uključiti u sučelje.

Tipkovnica, miš i rukavice (eng. *Data gloves*) omogućuju samo sučelje pomoću kojeg se komunicira sa računalom pasivnim dodiranjem. Rukavice u tzv. *Virtual Reality* (VR) sučeljima omogućuju korisniku da vidi svoju ruku u virtualnom okruženju i da dohvata objekte, ali ne mogu spriječiti korisnika da rukom prođe kroz objekt. Naprednije rukavice kao npr. *CyberTouch* rukavice od Virtex-a omogućuju taktilnu povratnu vezu kada korisnik dodirne objekt. To je postignuto kontroliranim vibriranjem pod prstima i dlanom korisnika. No, problem je i dalje u sprječavanju korisnika da rukom prođe kroz objekt jer on, iako osjeća dodir, može i dalje nesmetano proći kroz taj virtualni objekt.

Dobro oblikovana haptička sučelja "osjete" kada korisnik pomiče ruku i omogućuju haptičku sliku virtualnog objekta u odnosu na stvarni objekt. Ovakva

sučelja također koriste *force feedback* da bi spriječila korisnikove ruke u prolaženju kroz objekte. U stvarnosti korisnik prstima može osjetiti promjene u obliku i čvrstoći materijala. To je vrlo teško umjetno imitirati. Obično se u te svrhe koristi polje gusto smještenih igala koje se mogu podizati i spuštati ovisno o pritisku na njih, dajući prstima osjećaj dodirivanja površine. Razmak između igala mora biti manji od par milimetara da bi osjećaj dodira bio što stvarniji. Također prikaz mora biti malen i jednostavan da bi se mogao spojiti na *force feedback* sučelje. Započeta su i istraživanja tzv. termalnih sučelja. Pošto su ljudski prsti obično topliji nego ostali objekti u njegovoj okolini, čovjekova toplinska percepcija zasnovana je na toplinskom kapacitetu, vodljivosti i temperaturi. Razvijani su oblici taktilnih sučelja koji uključuju stimulatore elektrošokovima (engl. *electrocutaneous stimulators*), ultrazvučne simulatore trenja (engl. *ultrasonic friction displays*) te rotacijske diskove za kreiranje osjećaja klizanja (engl. *rotating disks for creating slip sensations*). [3]

#### **4.1. Svojstva haptičke površine**

Čvrsti objekti mogu se haptički renderirati konstrukcijom ravnine koja tangira točku na površini gdje smo dotakli objekt, i osiguravanjem da korisnik ne može proći kroz ovu granicu upotrebom povratne sile. Renderiranje je oblikovanje ispune ploha i definiranje njihove teksture. Ova metoda funkcionira dobro za poliedarske modele kao i za kontinuirane i dobro definirane implicitne funkcije. Sada kad korisnik može "dirati" računalno stvorene objekte važna je ispravna prezentacija osjećaja dodira tog objekta. Da bi to postigli, modeli teksture i trenja dodaju se površini objekata virtualnog okruženja. Bez tih površinskih svojstava svi objekti bi ostavljali dojam da su glatki i napravljeni od leda. Modeli trenja za objekte stvaraju tangencijalne sile (u odnosu na površinu) koje djeluju u smjeru suprotnom od kretanja prsta. Nedavni razvijeni modeli uključuju Coulombovo trenje (statičko i dinamičko), viskozno trenje (trenje proporcionalno brzini) i vučno trenje (trenje proporcionalno kvadratu brzine). Kako bi se odredila sila Coulombova trenja preko površine modela, mora se odrediti sila koju korisnik primjenjuje na model. S obzirom da tipični koncepti ovih sučelja nemaju senzore

za određivanje sile, sila koju korisnik mora upotrijebiti procjenjuje se iz brzine i količine sile korisnikova prsta. Ta je sila povezana sa pomakom položaja haptičkog sučelja u odnosu na korištenu površinu. Preslikavanje stvarne teksture na virtualnu površinu može se napraviti promjenom vrijednosti vektora normale površine. Taj postupak stvara haptičku iluziju osjećaja teksturirane površine. Vektor sile teksture se izračunava pomoću determinističkih ili stohastičkih (nasumce generiranih) funkcija, ili pak njihovom kombinacijom. Filtriranjem bijelog šuma dodanog determinističkim funkcijama, brojne slučajno i pseudoslučajno generirane strukture mogu se generirati na haptičkim površinama. Teksture se također mogu generirati na dijelu prostora u slučaju kada je sila teksture jedina sila koja djeluje na korisnika dok se haptički uređaj pomiče. Osjećaj je sličan pritisku zraka na vašu ruku tijekom vjetrovitog dana, no vjetar u tom slučaju može na dodir biti kao melasa ili baršun. Teksture i trenje se u haptičkom okolišu mogu koristiti kao boje u grafičkom okruženju. Na primjer, promjena teksture može se modulirati veličinom površine – što je stupanj veličine viši, tekstura će biti grublja.[3]

## **4.2. Primjena haptičkih sučelja**

Grafička korisnička sučelja pokazala su da interaktivni prikaz podataka ne mora u potpunosti imitirati stvarnost. Najvažnije je ono što je "sugestivno". Povlačenje izbornika i pomicanje klizača ne mogu se naći nigdje osim na zaslonima računala. Stvarne mape s datotekama papira nisu beskonačno rekurzivne i sl. Isto vrijedi i za haptička sučelja. Na primjer, interakcijske sile koje doživljavamo prilikom premještanja objekata javljaju se kada se ti objekti međusobno dodiruju (osim kod magneta i inercija). S haptikom možemo savršeno predložiti odnos između dva različita objekta stvaranjem zajedničke sile interakcije, čak i ako su vizualno prikazane kao nepovezane.

Alternativno, neke aplikacije zahtijevaju značajnu količinu vjernosti s obzirom na stvarne zadatke koji se ponovno stvaraju. Drugim riječima, haptička sučelja mogu biti dizajnirana tako da omogućuju doslovnu reprodukciju fenomena koji se javljaju tijekom stvarne manipulacije. To je ono što se u računalnoj grafici naziva

"potraga za realizmom". Osposobljavanje senzorno-motornih vještina kao što su kirurške sposobnosti je jedan primjer u kojem postoji potreba za realizmom.

Korisno je imati na umu te razlike dok pregledavate aplikacije haptičkih uređaja. Zanimljiv aspekt ove tehnologije je da su neke aplikacije trenutno dio komercijalnih aktivnosti, a mnoge od njih u ranim razvojnim fazama. Na primjer, jedna od najranijih istraživanih aplikacija haptičkih sučelja bilo je ubacivanje haptičkih elemenata u konvencionalna grafička sučelja. Danas je to uobičajena funkcionalnost u okviru potrošačke elektronike.

Haptička sučelja se koriste u području igara. Načini interakcije i smisao upoznavanja korisnika uvelike se poboljšavaju primjenom povratne informacije s igračem. Igre spretnosti koje su ranije bile dostupne u fiksnom obliku mogu biti beskrajno programirane: postavljanje, balansiranje, udaranje i odskakivanje. Također, postoje mnoge mogućnosti za obrazovne igre. Moguće je ilustrirati pojmove u dinamici, kinematici, magnetizmu, valovima, tokovima i mnogim drugim fizičkim pojavama, ili pak u matematici i anatomiji. Ostale vrste igara uključuju igre kombinatornih umova, zagonetke i pogađalice koje uključuju vizualna i mehanička ograničenja, kao i većinu situacijskih igara. U posljednjem navedenom slučaju povratna informacija sile je već u komercijalnoj fazi, kako bi pomogla u vožnji, pilotiranju, istraživanju i drugim sličnim aplikacijama.

U području objava multimedijских sadržaja, trenutne multimedijalne i hipertekstualne aplikacije uključuju tekst, zvuk, slike i video. Zbog nedostatka odgovarajućih naprava do sada, haptika je zanemarena kao sredstvo komunikacije. Zamislite "mehanički dokument" koji bi imao novi oblik dokumenta te bi uključivao kretanje koje se može izraziti vizualno, auditivno i haptički. Time se postavlja pitanje autorskih alata (kao što je *Immersion Studio*) i njihovu potrebu za oblikovanjem haptičkih senzacija. Materijalna svojstva također se mogu prenijeti. Često se spominje slučaj online kataloga. Veći skup mogućnosti gotovo sigurno zahtijeva razvoj praktičnih distribuiranih taktilnih zaslona, koji još nisu dostupni.

Haptika se koristi u raznim znanstvenim područjima. Prikaz (vizualizacija) podataka je zapravo bio jedan od najranijih primjena haptike. Jedno od značajnijih područja je molekularna fizika u smislu modeliranja i orijentacije

složenih lanaca molekula (engl. *MOLECULE DOCKING PROJECT*). Ostale primjene ovakvih prikaza uključuju: višedimenzionalne karte, rudarenje podataka u geologiji (ili u povezanim primijenjenim područjima kao što su traženje nafte i plina), daljinsko očitavanje i prikaz polja i tokova. Atraktivno svojstvo haptike je sposobnost prenošenja postojećih sitnih detalja, koji obično prkose grafičkom prikazu podataka, a istovremeno smanjuje potrebu za povećanjem i smanjenjem podataka. Postoje projekti u kojima bi se haptika koristila kako bi se poboljšalo korisničko sučelje, uporaba instrumenata za snimanje koji bi se koristili za skeniranje tunela te mikroskope koji mjere sile između atoma.

Glazbenici i vizualni umjetnici sve više koriste računala. Međutim, kreativne osobe često vole upotrebljavati svoje ruke što je moguće izravnije. Haptička komunikacija s računalima tu otvara sasvim nove mogućnosti. U glazbi napredak u alatu za sintezu u realnom vremenu povećava potražnju za interaktivnim upravljačima koji su trenutno uglavnom ograničeni na postojeće MIDI fiksno sučelje. U grafičkoj umjetnosti i dizajnu, posebice stvaranju animacije, u tijeku je puno razvojnih aktivnosti.

Haptička sučelja se mogu primijeniti kod vozila i soba za upravljanje. U stresnim i brzim okruženjima, haptička komunikacija može se koristiti za ublažavanje vizualnog opterećenja. Haptički upravljači već su komercijalno dostupni u automobilima (iDrive opremljenim vozilima BMW serije 7 i Rolls-Royce Phantom). Pomoću jednog programibilnog okretnog upravljača, korisnici se mogu kretati izbornicima, popisima za pomicanje, kontrolnim klizačima itd., tako da doživljavaju specifične haptičke senzacije za svaki *widget*. Na taj način jedan upravljač služi kao ulaz za mnoštvo funkcija haptikom kao alatom koji osigurava da je sučlje što prirodnije za korištenje. Na slici 3. možemo vidjeti kako izgleda iDrive u BMW-u 7.



Slika 3. - iDrive u vozilu BMW serije 7. [7]

Slično tome, aplikacije pronalaze svoj put u kontrolne prostorije (kontrola zračnog prometa, upravljanje nuklearnom instrumentacijom i pogonima).

U proizvodnji postoje mnoge mogućnosti. Na primjer, haptika može pomoći u oblikovanju postupaka montaže, u smislu smanjenja potrebe za prototipovima, kao i za brzu izradu prototipova. Također je moguće procijeniti ljudsku održivost složenih sustava prije nego što su izgrađeni. Može se olakšati programiranje složenih proizvodnih uređaja kao što su strojevi s više osi, numerički upravljani strojevi ili roboti.

Također postoji primjena u području telerobotike i telekomunikacija. Haptički uređaji koriste se u nadzornim upravljačkim programima, kao što su upravljanje procesima, razvojna okruženja za programiranje, zasloni za prediktivni unos teksta i sl.. Teleoperacijski sustavi još uvijek imaju potrebu za visokokvalitetnim ručnim upravljačima. [4]

Velike mogućnosti primjene haptičkih sučelja su u području treniranja kirurga kod izvođenja "operacija na daljinu". Virtualni skalpel može se kontrolirati preko haptičkog sučelja omogućavajući korisniku da operira virtualnog pacijenta. Takva



operacija bi se mogla puno puta ponavljati sve dok kirurg dobro ne nauči taj zahvat. Također postoje noviteti u području fizikalne terapije gdje se kao rješenje nudi čarapa od „pametnog tekstila“ ( engl. *smart textile* ) tj. čarape u koju su ugrađeni senzori za praćenje stanja i pokreta noge koji se daljinski očitavaju. Prati se stanje pacijenta pri vježbanju i preko aktuatora vibro-haptičke povratne veze pacijent se upozorava da smanji napor kako se ne bi ozlijedio, što je posebno vrlo korisno kod tretmana hendikepiranih osoba.

Haptička sučelja mogu se koristiti za vizualizaciju podataka, trodimenzionalni ispis matematičkih funkcija, prikaz Zemljine atmosfere, prikaz dijelova motora, koji se mogu prevesti u dodirljivi oblik. Također je široko područje primjenjivosti haptičkih sučelja u edukaciji slijepih i slabovidnih ljudi. [3]

### **4.3. Ljudska percepcija i haptička sučelja**

Kada gledamo digitalni film visoke razlučivosti, ne vidimo niz fotografija koje su prikazane u nizu, niti uočavamo niz boja piksela. Umjesto toga, vidimo vizualnu scenu koja je nevjerojatno bliska svakodnevnim vizualnim iskustvima. To je moguće zato što vremenska osjetljivost ljudskog vizualnog sustava nije dovoljna za otkrivanje brzog prikazivanja filmskih okvira niti može riješiti pojedinačne piksele. Ovo je primjer kako se arhitektura i ograničenja perceptivnog sustava mogu iskoristiti za izgradnju inženjerskih sustava koji potiču stvarna, složena iskustva uočavanja. Primjeri ovih sustava uključuju grafičke zaslone, TV zaslone, magnetofone, simulatore leta i haptička sučelja.

Osjetljivost dodira razlikuje se od vizualnog sustava po tome što zahtijeva znatno veće brzine ažuriranja od onih potrebnih za prikazivanje videozapisa (potrebno je 1 kHz ili više da zadovolji teorem o uzorkovanju signala i da se minimizira kašnjenje interakcije). Fizičko sučelje koje omogućuje interakciju korisnika i stroj mogu imati veliku varijabilnost. Općenito je vrlo teško proizvesti savršeno "stvarniju" haptičku interakciju.

Srećom, čak i kada koristite nesavršeni haptički uređaj, korisnik se brzo prilagođava njegovim nedostacima, zanemaruje nesavršenosti i prirodno povezuje mehaničku stimulaciju uređaja s svakodnevnim iskustvima kao što je percepcija površinske teksture i oblika objekata kroz dodir. Također, kada su

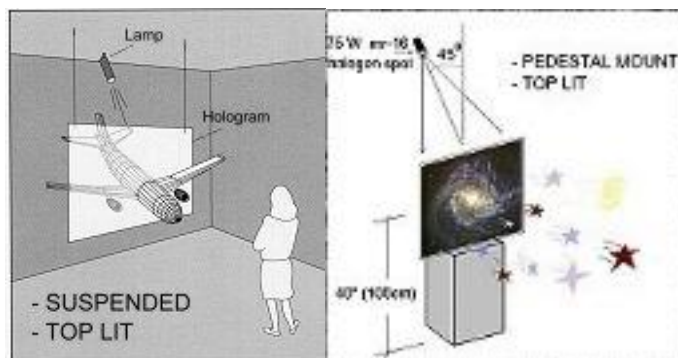
haptička sučelja spojena s grafičkim zaslonom, korisnik lako povezuje adekvatnu haptičku stimulaciju na grafički prikazani objekt. Nije neuobičajeno shvatiti haptičke senzacije kao da se događaju na grafičkom zaslonu. To se događa, iako se ono što se vidi i ono što se haptički osjetilo može pojaviti u potpuno različitim prostornim lokacijama, odnosno haptičko sučelje može biti na tablici uz grafički prikaz gdje se objekti pregledavaju.

Međutim, ako su nesavršenosti u haptičkom uređaju previše uznemirujuće, smisao haptičkog realizma se razbija. To je analogno onome što se događa ako se filmski projektor usporava do jednog kadra u sekundi: film se pretvara u niz fotografija. Kvaliteta iluzornog haptičkog iskustva, kao i kod svih drugih tehnoloških uređaja, funkcija je interakcije korisnika perceptivnog sustava i intrinzičnih tehničkih značajki sučelja kao što su dinamički raspon, razlučivost i prikladnost signala koji se generiraju. [4]

#### 4.4. Haptička holografška sučelja

Hologram je uzorak interferencije svjetlosnih valova (eng. *light wave interference pattern*) snimljen na fotografskom filmu (ili nekoj drugoj prikladnoj površini) koji može proizvesti 3D sliku kad ga se osvjetli na poseban način.

Da bi vidjeli sliku treba gledati izravno u holografski film. Dimenzije holografskog filma mogu se kretati do 1,1 x 1,8m, a težina mu može biti i do 1Kg. Sliku dobivamo kada holografski film osvjetlimo žaruljom (snage oko 50W) usmjerenom na hologram pod određenim kutom. Prikaz navedenog možemo vidjeti na slici 4.



Slika 4.- Prikaz gledanja holografskog filma. [3]

Refleksijski hologrami osvjetljavaju se s prednje strane, a transmisijski hologrami osvjetljavaju se sa stražnje strane. Kut osvjetljavanja holograma, kad jednom načinimo hologram, je fiksiran.

Današnji hologrami su vrlo svijetli sa živim bojama i lako se mogu gledati na danjem svijetlu. Ljudi se vole kretati u odnosu na hologram i gledati kako se on pri tom mijenja pa mali prostori zato nisu preporučljivi.

Uzorak interferencije snimljen na fotografskom filmu je rezultat kombiniranja dvije zrake svjetla, referentne zrake (eng. *reference beam*) i zrake objekta (eng. *object beam*). Objekt na zraku je napravila interakciju sa subjektom, dok referentna zraka nije. Film osjetljiv na svjetlo izloži se ovakvom svjetlosnom uzorku i onda, kemijskom obradom, kao kod obične fotografije, razvijemo snimku.

Ovako snimljen uzorak iskrivljuje svjetlo koje kroz njega prolazi. Jednostavno rečeno, kada hologram osvjetlimo svjetlom koje odgovara referentnoj zraci, svjetlo se iskrivljuje u repliku originalne objektne zrake. Kada pogledamo u tu zraku vidimo savršenu sliku subjekta.

Većina današnjih holograma radi se u dva koraka. Prvo se napravi glavni hologram subjekta, koji je vidljiv samo pod laserskim svjetlom, a onda se ta slika koristi kao subjekt za drugi hologram koji je vidljiv i pod običnim svjetlom. Na ovaj način, više glavnih holograma može biti kombinirano u jedan hologram i boje rezultirajuće slike mogu se kontrolirati razmještanjem glavnih holograma.

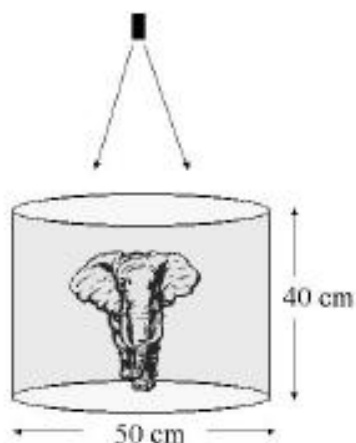
Osnovni tipovi holograma:

- Prosvijetljeni hologrami (eng. *Transmission Holograms*) koji se manifestiraju pod bijelim svjetlom. Napravljeni su od dvije zrake koje padaju na film sa iste strane.
- Reflektirani hologrami (eng. *Reflection Holograms*) manifestiraju se pod bijelim svjetlom iz prikladnog izvora (sunce, žarulja, reflektor, ...). Napravljeni su od dvije zrake koje padaju na film sa suprotnih strana.
- Višekanalni hologrami (eng. *Multiple Channel Holograms*) imaju dvije ili više slika vidljive iz drugačijih kutova pogleda. Postoje različite vrste višekanalnih holograma:
  - jednostavni koji imaju 2 ili 3 slike koje su vidljive;

- složeni sa velikim brojem slika koje su vidljive kad se gledaju pod različitim kutovima te se kombiniraju u jednu trodimenzionalnu sliku objekta;
- hologrami u boji (engl. *Rainbow Holograms*) kod kojih se ista slika pojavljuje u različitim bojama ovisno o kutu pod kojim je gledamo.
- Hologrami stvarne slike (engl. *Real Image Holograms*) koji su najčešće refleksije holograma napravljene od prijenosnog originala (H-1). Slika se projicira iz ploče prema gledatelju. Većina holograma u muzejima su te vrste. Proces stvaranja ovakvih holograma zahtjeva vrlo precizno određivanje kutova.
- Serijski proizvedeni hologrami (engl. *Mass-Produced Holograms*), koji mogu biti:
  - Ugravirani (engl. *Embossed*) koji nastaju štampanjem na zaštićen tanak sloj korištenjem metalnog kalupa (najčešće korištena metoda);
  - Polimerski (engl. *Polymer*) su napravljeni od osjetljive plastike. Polaroid masovno proizvodi holograme na ovaj način;
  - Dikromatski (engl. *Dichromates*) su vrlo živi hologrami nakita, satova, i sličnih objekata. Snimaju se na gel osjetljiv na svjetlo koji sadrži dikromat.

Također postoji i projekcijski hologram. Naime, ljudi su oduvijek željeli napraviti hologram koji projiciran u prostor može biti vidljiv iz svih smjerova. Danas je to i moguće.

Poboljšan je način izrade cilindričnih holograma. Ovakve slike mogu se gledati iz svih smjerova, mogu se animirati i rotirati ovisno o kretanju korisnika oko njih. Dimenzije takvih holograma su 40cm x 50cm (visina x širina). Ovakav prikaz izvediv je bez projektora, računala i bez pokretnih dijelova - dovoljan je filmski cilindar i mala žarulja! Prikaz možemo vidjeti na slici 5.



Slika 5. Projekcijski hologram. [3]

Danas se izvode holografske projekcije likova relativno velikih gabarita koji mogu slobodno rotirati po svim osima u zraku. Kao primjer možemo uzeti manifestaciju otvaranja Olimpijskih igara, emisiju Tvoje lice zvuči poznato koja se emitirala u svibnju ove godine. Mogli smo vidjeti duete sa holografskim prikazima. Holografija se primjenjuje u različitim područjima. Jedno od njih je i holografska umjetnost koja obuhvaća muzeje holograma, reklamiranje, poštanske marke, nakit... Također se koristi kao osiguranje od krivotvorenja kod kreditnih kartica.

Holografska interferometrija (engl. *Holographic Interferometry*) je vrlo precizna tehnika mjerenja promjena dimenzija objekta. Koristi se u ispitivanju naprezanja materijala, ispitivanju kvalitete materijala,...

Holografija je također koristi u raspoznavanju uzoraka koristeći elektro-optičke uređaje uz pomoć računala kao interpretatora dobivenih rezultata. Ovakva rješenja koriste se u medicini kroz kombiniranje CAT (engl. *Computer assisted tomography*) slika u 3D prikaz. [3]

#### 4.5. Primjena haptike u virtualnim svjetovima

Sa dolaskom tehnologije virtualizacije postalo je jasno da će svijet računala kontinuirano nastojati unaprjeđivati oponašanje stvarnog svijeta. U stvarnom

svijetu ljudi primaju i šalju informacije u 3D prostoru. Komunikativni načini kao konverzacija, relativni položaj i geste u 3D prostoru, nose veliku količinu informacija. U obrazovnim prostorima, kao na primjer muzejima, različite teme i stupnjevi detalja su razdvojeni prostorom. U trgovinama kupci prvo uočavaju kategorije u prostoru.

Dok grafička korisnička sučelja omogućavaju korisnicima računala pristup informacijama pomoću ikona, virtualni svijet omogućava korisniku da pristupi informaciji imitirajući 3D prostor koji postoji u stvarnom svijetu. Ovu imitaciju stvarnog prostora nazivamo virtualni prostor. U stvarnom svijetu naše primarno sučelje sa stvarnim fizičkim svijetom je naš haptički osjećaj dodira. Da bi potpuno imitirali stvarni svijet nužno je haptičko sučelje. Haptičko sučelje je uređaj koji omogućava korisniku da komunicira sa računalom tako da dobiva taktilni *feedback*. Haptički uređaj dobiva *feedback* primjenjujući stupanj nasuprotne sile prema korisniku po X, Y i Z osima.

Haptičko sučelje služi orijentaciji korisnika prema lokaciji i prirodi objekta u virtualnom prostoru. Haptičko sučelje, bilo da obuhvaća gornji dio tijela ili samo vrh prsta, daje korisnicima informaciju o prirodi objekta unutar svijeta. Manje komplicirano sučelje koje prenosi haptičku informaciju kroz uređaj sličan pokazivaču pokazuje korisniku taktilnu mapu područja.

Jezik za modeliranje virtualne stvarnosti (eng. *Virtual Reality Modelling Language*, VRML) je bio dizajniran da bi stvorio dinamički virtualni prostor u ekstremno učinkovitom formatu koji bi mogao slati te virtualne prostore preko interneta. Za sada korisnici virtualnih prostora stvorenih VRML-om su ograničeni na vizualnu i zvučnu integraciju.

Postoji mnogo problema sa pristupom prostorima vezanim za implementaciju haptičkog sučelja. Haptički osjet može se koristiti za davanje informacije umjesto slike ili zvuka. Aspekti virtualnih prostora koji zahtijevaju haptičku manipulaciju mogli bi eventualno razbiti barijere korisnicima sa problemima u kretanju.

Haptički osjet je jedinstven u tome da za razliku pasivnog osjeta slike ili zvuka manipulacija uvijek prethodi percepciji. To znači da bi haptičko sučelje bilo

efektivno, potrebno je uzeti u obzir određene parametre prilikom kreiranja virtualnog prostora. [3]

#### **4.5.1. Problemi u stvaranju virtualnih prostora korištenjem haptičkih sučelja**

Priroda haptičkog sučelja zahtjeva da percipirani objekti budu unutar dosega manipulacije. To znači da je pozicija objekta važna za haptički osjet. Objekti trebaju biti smješteni unutar manipulativnog dosega do točke gledišta (0,5 metara). To omogućava korisniku da brzo pregleda područje i uoči sve relevantne haptičke podatke bez oslanjanja na vizualni prikaz. Tako je omogućena lagana percepcija vizualnih podataka bez zahtijevanja da korisnik promjeni svoju poziciju.

Predefinirane pozicije na koje korisnik može skočiti su vrlo važne korisniku haptičkog sučelja. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju takva predefinirana pozicija će odvesti korisnika unutar haptičkog dosega objekata. Predefinirana pozicija će također biti od velike pomoći u navigaciji omogućavajući korisniku da se pomiče od točke do točke bez pokretanja kroz prazninu koja ne sadrži nikakve haptičke podatke. U stvarnom prostoru mi smo u povremenom kontaktu sa fizičkim svijetom oko nas. Haptičko sučelje je u mogućnosti imitirati ovakav kontakt ako dizajner to uzme u obzir.

U stvarnom svijetu ljudi percipiraju razdvajanje tema, kategorija i nivoa detalja u prostoru. Haptičko sučelje kao i sva ostala sučelja mora biti dovoljno prijateljsko i intuitivno da korisnik na što jednostavniji način dođe do potrebnih informacija.

#### **4.5.2. Pristup korisnika virtualnim svjetovima pomoću haptičkog sučelja**

S napretkom alternativnih metoda komunikacije između čovjeka i računala, kao na primjer raspoznavanje glasa i haptičko sučelje, korisnik računala ima

opciju koristiti sučelje koje najbolje odgovara njegovim fizikalnim i kognitivnim potrebama i preferencijama. Kako pojedina sučelja postaju sve uobičajenija dizajneri će ih početi dizajnirati za korisnika umjesto tipkovnice i miša.

Hendikepirani računalni korisnik mogao bi koristiti haptičko sučelje za primanje informacija koje su inače dostupne samo oštećenom osjetilu. Korisnik sa oštećenjima vida mogao bi percipirati oblik, a korisnik sa oštećenjima sluha mogao bi percipirati vibracije uzrokovane zvukom preko haptičkog sučelja.

Univerzalna prednost haptičkog sučelja je poboljšanje teleprisutnosti. Kada ljudi komuniciraju gestama, šalju mnogo informacija. Haptičko sučelje omogućilo bi korisniku da komunicira u virtualnom prostoru uz pomoć gesta preko svog *avata* (utjelovljenja). VRML trenutno ne podržava višekorisnička sučelja već eventualno komunikaciju preko trodimenzionalne mreže koja je postala regularna komponenta interakcije na mreži.

Korisniku kojem nedostaje finija motorička koordinacija moglo bi biti lakše unositi informacije preko haptičkog uređaja. Veće mete i područja kontrole bi također koristile takvim korisnicima. Nekim korisnicima koji imaju oštećenja organa kretanja, mogli bi se neki zadaci činiti teškim ili nemogućim za ostvariti preko haptičkog sučelja. Zato je poželjno imati tipkovnički ekvivalent za haptički ovisne radnje kao na primjer guranje ili bilo kakvo drugo manipuliranje objektima.[3]

#### **4.5.3. Izrada haptičkih sučelja pomoću VRML-a**

Postoje različiti načini kojima podaci iz svijeta kreiranog VRML-om mogu biti slani u haptički uređaj. Najveća razlika između tih metoda su količina haptičke kontrole koju ima dizajner i količina VRML jezika koji mora biti modificiran da bi se implementiralo haptičko sučelje.

Prvi mogući način implementacije haptičkog sučelja bila bi oblikovanje haptičkog čvora u VRML jeziku. Taj čvor bi sadržavao informacije o sučelju koje bi govorele sučelju koliko relativne sile bi haptičko sučelje trebalo vratiti kada je oblik dotaknut. Standardna vrijednost za taj čvor bila bi jednaka i suprotna sili



koju primjenjuje korisnik. Ova postavka dala bi povratnu vezu tvrdog objekta bez mogućnosti pomaka. Da bi dodali mogućnost pomaka korisnik bi morao specificirati silu kojom želi pomaknuti objekt. Ta sila bi trebala biti manja od sile koju pruža objekt (tj. sile otpora objekta). Da bi stvorili strukturu nalik gumi nasuprotna sila bila bi manja ili jednaka, povećavajući se tijekom udaljenosti, dok sila ne bi postala jednaka i suprotna sili koju primjenjuje korisnik. Ova metoda dodavanja haptičkog sučelja zahtijevala bi značajnu promjenu u jeziku, ali bi dala korisniku potpunu kontrolu nad haptičkim izlazom.

Haptičko sučelje bi moglo također biti potpomognuto solidnim svojstvima. Solidna svojstva morala bi se definirati u budućim verzijama VRML-a da bi se omogućila implementacija naprednih ponašanja (npr. gumenost ili definicija lopte kako odskače). Haptičko sučelje bi moglo iskoristiti ta svojstva da definira taktilne karakteristike objekta.. Ova implementacija bi omogućila ograničenu kontrolu haptičkih karakteristika.

Nadalje, haptička svojstva mogla bi biti dodana jeziku koji bi dodao taktilne podatke čvoru objekta. To bi sadržavalo male dodatke jeziku i dalo dizajneru ograničenu kontrolu haptičkim karakteristikama objekta.

Na kraju, algoritam bi mogao biti razvijen tako da uzima vizualne karakteristike objekta i pretvara ih u haptičku povratnu vezu. Ova metoda ne bi zahtijevala nikakve promjene jezika, ali ne bi dala dizajneru virtualnog svijeta nikakvu kontrolu nad haptičkom povratnom vezom.

Haptičko sučelje bi omogućilo korisniku virtualnog prostora da percipira fizičke karakteristike prostora i komunicira sa tim karakteristikama. Mogućnost interakcije sa fizičkim karakteristikama virtualnog prostora pojačalo bi iluziju stvarnog prostora.

Implementacija haptičkog sučelja omogućila bi korisniku unutar virtualnog prostora da ima taktilne informacije, omogućavajući nadogradnju ili zamjenu nekog moguće oštećenog osjeta. Korisnik sa preciznom motorikom mogao bi također lakše koristiti haptičko sučelje za upravljanje virtualnim prostorom umjesto tradicionalnog načina preko tipkovnice i miša.

VRML je sredstvo prenošenja virtualnog prostora preko interneta. To omogućava komunikaciju preko velikih udaljenosti u trodimenzionalnom prostoru.

Jedino implementacijom haptičkog sučelja može biti omogućeno prirodno prenošenje geste koje nose velike količine informacija u tipičnoj konverzaciji.

Postoji više načina implementacije haptičkog sučelja u virtualnom prostoru kreiranom VRLM-om. Ove metode variraju u količini kontrole koja je dana dizajneru nad haptičkim karakteristikama i stupnju u kojem će jezik biti promijenjen tako da bi se prilagodio sučelju. VRML zajednica će tijekom daljnjih razvojnih etapa odlučiti koja metoda je najbolja u uspješnom stvaranju virtualnih prostora za navigaciju i manipuliranje haptičkim sučeljima. [3]

## 5. LJUDSKI ČIMBENICI U HAPTIČKIM SUČELJIMA

Haptika se bavi proučavanjem kako spojiti ljudski osjećaj dodira sa računalno stvorenim svijetom. Trenutno je najveći problem sa virtualnom stvarnošću nedostatak osjećaja dodira. Tako na primjer ako korisnik pokuša dohvatiti virtualnu čašu ne postoji ne-vizualni način koji korisniku omogućuje da virtualnu čašu poveže sa virtualnom korisnikovom rukom. Također ne postoji mehanizam koji sprječava korisnikovu ruku da proдре kroz površinu virtualne čaše korisnikovu virtualnu ruku od prolaženja kroz virtualnu čašu. Haptika pokušava riješiti ove probleme i samo proučavanje može se podijeliti na dva polja:

- Istraživanje povratnih sila (eng. *force (kinesthetic) feedback*) je područje u haptici koje radi sa uređajima koji omogućuju ljudima osjećaj dodira interakcijom sa mišićima što daju ljudima osjećaj primjene sile. Takvi uređaji su uglavnom robotski manipulatori koji odgurnu korisnika silom što odgovara sili u virtualnom okruženju u kojem se korisnik nalazi.

- Istraživanje taktilnih povratnih sila (eng. *tactile feedback*) bavi se uređajima koji omogućuju korisniku osjećaj topline, pritiska i teksture interakcijom sa krajevima živaca u ljudskoj koži što prenose te podražaje. Ovakvi uređaji uglavnom se koriste radi utvrđivanja da li je korisnik u kontaktu sa virtualnim objektom i osim toga i radi samog simuliranja površine virtualnog objekta.

Ivan Sutherland, jedan od utemeljitelja virtualne stvarnosti, zastupa stav da je *"...ljudski kinestetički osjećaj samo jedan neovisni kanal prema mozgu čije informacije se prikupljaju nesvjesno"* [cit. 3 ]. Ova i slične izjave vodile su znanstvenike u daljnjem istraživanju haptičkih sučelja. Dodavanjem neovisnog ulaznog kanala, količina informacije koju mozak obrađuje se povećava. To povećanje smanjuje grešku i vrijeme potrebno za završavanje zadatka, osim toga smanjuje potrošnju energije i silinu kontaktnih sila korištenih u situacijama kada korisnik pomiče virtualne objekte.

Ljudi koriste ruke u istraživanju vrlo slabo osvjetljene okoline. Tako na primjer ronionici u mutnoj vodi koriste ruke kao zamjenu za oči sa relativno malim gubitkom u performansama. Ljudi dobro uspijevaju identificirati 3D objekte, ali ne uspijevaju dobro identificirati 2D objekte.

Haptički prikazi sami za sebe su gotovo beskorisni, ali kad se koriste u sprezi sa vizualnim prikazom, postaju puno korisniji nego stereoskopski prikazi ili prikazi sa više točaka gledišta. Vršeni su razni pokusi koji pokazuju da haptička sučelja utječu na brzinu kojom korisnik uči od sustava. [3]

### **5.1. Anatomija i psihologija**

Da bi se dizajniralo dobro haptičko sučelje za ljude, moraju se uzeti u obzir psihologija i anatomija ljudskog tijela. Pri povratnoj vezi proporcije i snaga prosječnih udova moraju se također uzeti u obzir. Treba paziti na svojstva ruke pri dizajniranju haptičkih sučelja, jer se ruke najčešće koriste u haptičkim sučeljima. 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 za osjećanje teksture su 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. 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 umor.

Ljudi vješto određuju da li je sila stvarna ili simulirana. U eksperimentu koji je napravio Edin [3], koristio se specijalni uređaj kako bi se otkrilo kako ljudi reagiraju kada osjete da im objekt kojega drže počinje kliziti. Uređaj se sastoji od zavojnica pričvršćenog za metalnu ploču kojoj je bilo omogućeno da klizi kada se solenoid isključio. Niti jedan od subjekata nije povjerovao da je objekt stvarno proklizao. Svi su primijetili da se nešto neobično događa sa objektom, ali nitko nije rekao da mu se činilo da je objekt proklizao.

Istraživanja su pokazala da postoji snažna veza između osjeta koji detektira ljudska ruka kod objekta koji kliže i pokreta kroz koje je ruka prolazila da bi stekla dotično znanje, kao na primjer pri držanju eksperimentalnih uređaja. Ljudski haptički sustav sastoji se od dva podsistema: motoričkog i senzornog. Postoji snažna veza između ta dva sustava, za razliku od sustava vida gdje nije bitno koji su osjeti detektirani već je bitno kako smo stekli te osjete.

Ljudi koriste dvije različite vrste haptičkog istraživanja, aktivno i pasivno. Aktivno je istraživanje kada korisnik upravlja svojim pokretima. Pasivno je haptičko istraživanje kada ruku ili prst korisnika navodi druga osoba. Kada korisnik upravlja svojim pokretima često griješi. U slučaju 2D istraživanja najčešća je pogreška da odluta sa konture i da korisnik mora uložiti dosta truda da bi ostao na konturi. Ipak kada su objekti navođeni potpuni fokus korisnika može biti posvećen identifikaciji reprezentiranog objekta.

Mnoge osobine mogu biti daleko lakše identificirane pasivnim haptičkim istraživanjem. Eksperimenti koji uspoređuju preciznost aktivnih i pasivnih haptičkih simulacija pokazuju da pasivna haptička sučelja mnogo preciznije identificiraju opće osobine predmeta.

Kada smo suočeni sa višedimenzionalnim zadatkom kao na primjer podizati objekt u 3D prostoru, studije sveučilišta Sjeverna Carolina na Chapel Hillu, pokazalo je da korisnici najčešće razbijaju probleme u serije 1D ili 2D problema. Korisnici bi pomicali po XY ravnini prije nego što bi ih pomakli u završni položaj pomičući ih po Z osi. Ova dimenzionalna dekompozicija uočena pri dotičnom eksperimentu nam je dala saznanje o načinu na koji ljudi razmišljaju o multidimenzionalnim problemima.

Još jedan važan čimbenik u sustavima virtualne stvarnosti je situacija kada su vizualna i haptička indicija u kontradikciji. Vizualna indicija najčešće nadjača haptičku. Ova činjenica omogućava rješavanje problema kontakta sa krutim zidom. Vrlo je teško stvoriti stroj koji će točno simulirati susretanje virtualnog objekta sa tvrdim nepomičnim objektom. Ako je korisniku prezentirana vizualna indicija da će virtualni djelatnik dotaknuti tvrdu podlogu, iako haptičko sučelje ne daje osjećaj tvrde podloge već linearnu aproksimaciju Hookovog zakona, korisnik će pomisliti da je zid tvrd. [3]

## **5.2. Sigurnosni problemi**

U pokušajima predstavljanja fizičkih sila robotski sustavi koji su mnogo snažniji nego zglobovi prstiju moraju biti dizajnirani tako da se uzme u obzir savitljivost, pojačana snaga i fleksibilnost ljudskih zglobova. Ako se razmatra sučelje za prosječnog korisnika treba uzeti u obzir da veličina ruke utječe na doseg prstiju i doseg savitljivosti. Ruka koja je veća od ruke prosječnog korisnika neće moći

savinuti svoj prst kao što je dizajnirano te bi je sučelje moglo povrijediti. Također korisnik mora biti jači od sustava. To je potrebno zbog toga što korisnik mora osjetiti kao da on upravlja i da ga uređaj ne može ozlijediti ako se sustav pokvari. Haptički uređaj ne smije u trenutku nestanka napajanja ugroziti korisnika koji je koristio taj uređaj odnosno korisnika na kojem se taj uređaj nalazi.[3]

### **5.3. Računala za hendikepirane i slijepe osobe**

Haptička istraživanja mogu direktno koristiti zajednici slijepih. Ona imaju cilj da povećaju količinu informacija koju osoba sa hendikepom može prikupiti. Mnoge navigacijske sposobnosti slijepih i onih koji vide su slične.

Mnogi testovi nad onima koji imaju povez preko očiju i onih koji su stvarno slijepi otkrivaju da ne postoji velika razlika u navigaciji. Osobe sa povezom i slijepe osobe su hodale na dvije noge uzduž jednakokračnog trokuta i bilo im je rečeno da se vrate na početak. Obje grupe su prešle točnu udaljenost, ali često u krivom smjeru.

Druga sličnost u navigaciji bez orijentira, kod slijepih i onih koji vide, uočena je kad su se ponašali slično sa problemom pretvaranja opisa ruta u prostorno razumljivi jezik crtanjem tih ruta. Ovo sugerira da slijepe osobe koriste neke oblike mentalnih slika. Korištenje mentalnih slika također dolazi do izražaja kada slijepa djeca prepoznaju objekte kojima nikada nisu prethodno bila izložena. Na primjer, slijepa djeca u stanju su prepoznati modele ili reljefne crteže takvih objekata kao što su na primjer mjesec, zvijezda, raketa ili mlazni zrakoplov.

Slijepe osobe i osobe sa zdravim vidom procesuiraju informacije na različite načine. Većina ljudi zdravog vida stvaraju vizualne reprezentacije informacija koje prikupljaju. Slijepe osobe iako koriste neke oblike mentalnih slika veliki dio njih nema izravnog iskustva sa vizualnom reprezentacijom. Pošto je veći dio svijeta slijepih predočen kroz njihova haptička osjetila, u navigaciji im pomaže korištenje instrumenata poput štapa. Oni su u stanju prikupiti informacije o svojem okruženju bez potrebe da se prisjećaju duljine štapa da bi odredili karakteristike njihovog okruženja. Kroz vibracije u štapu i orijentaciju podlaktice slijepi ljudi mogu zapamtiti svoje okruženje toliko dobro da mogu baciti kamen i pogoditi objekt udaljen nekoliko metara.

Prednost slijepih pred onima koji vide je u tom da oni nemaju problema sa spajanjem zrcalnih slika objekata koji su suprotno orijentirani. Slijepi imaju apsolutnu orijentaciju za objekte. Njima je jednostavnije istovremeno zamisliti prednji i stražnji kraj nekog objekta. Oni su u stanju mentalno super imponirati dvije slike karte istog područja sa različitim informacijama na svakoj iako su im orijentacije različite. Na primjer u stanju su super imponirati kartu javnog prijevoza na mentalnu kartu ulica u istom kvartu. Čak i ako su ove dvije karte u različitim mjerilima i orijentaciji, nemaju problema sa superimpozicijom.

Gluho-slijepi dio populacije prikuplja većinu svojih informacija o svijetu preko haptičkih osjetila. Oni se moraju oslanjati na svoje haptičke osjete za sve oblike komunikacije. Razvili su metodu komunikacije pomoću metode Tadoma [5]. Korisnik Tadome osjeća vibracije grla, lica i čeljusti dok govornik govori. Nažalost ovo zahtijeva godine treninga i prakse te može biti sporo. Iako vrlo vješti korisnici Tadome mogu razumjeti govor pri brzinama bliskim slušanju, većina korisnika Tadome su mnogo sporiji i imaju dodatno ograničenje time što moraju biti u dodiru sa govornikom.

Većina gluho-slijepih osoba komuniciraju uz pomoć tumača koji vidi, a tumač pri tome razgovara sa prstima sa gluho-slijepom osobom. To je spor proces "ukucavanja" dugih rečenica i također je vrlo zamoran za interpretatora i gluhoslijepu osobu. Najbrži način komuniciranja sa gluho-slijepom osobom je pomoću Braillovog sučelja. Gluho-slijepa osoba čita ono što mu tipka osoba sa kojom komunicira na Braillovom prikazu i odgovara tipkajući odgovore koji mogu biti prikazani na video zaslonu.

Haptička sučelja koja omogućavaju gluho-slijepim osobama da "čuju" svijet su malobrojna i temelje se uglavnom na *vibrotaktilnom feedbacku*. U manjoj mjeri se koristi *kinetički taktilni feedback* te se kombinira sa vibrotaktilnim feedbackom. Iako se kombiniraju, svedjedno zahtjevaju mnogo sati vježbanja da bi se koristili učinkovito.. Uređaji koji koriste kinestetičke i taktilne simulacije djeluju tako da proizvode širok spektar varijacija frekvencija i amplituda. Tako na primjer Tanktuator od Hong Tan i William Rabinowitz kombinira velike pokrete prstiju i male vibracije.[3]

Michigan state university istraživački centar za resurse za osobe s invaliditetom je 2013. godine predstavio istraživanja u suradnji s *Marathon Oil Corporation*, *Chryslerom* i *Michigan state university* (MSU) laboratorijem za umjetne jezike za alternativno haptičko korisničko sučelje za osobe sa oštećenjima vida. Danas su uređaji na tržištu preskupi za prosječnog potrošača i time čine težim za slijepe učenike da savladaju izazove u matematici i znanosti. MSU i ostali partneri rade na uređaju koji će omogućiti slijepim učenicima da "vide" tehničke slike i grafikone koji se nalaze na ekranu računala i koji će sveukupno poboljšati iskustvo učenja. Postoji dizajn uređaja koji je osmišljen u fazi I u jeseni 2012. godine te se radi na usavršavanju postojećeg dizajna kako bi se osigurao ekvivalentan tržišni uređaj po konkurentnoj cijeni.

Trenutno dostupni uređaji su jako skupi. Cijene uređaja koji implementiraju grafikone i crteže kreću se između 5.000\$ i 10.000\$. Ti uređaji bi bili korisni za slijepe osobe koja pohađaju nastavu matematike i znanosti. Slika 6. prikazuje Alva 544 prikaznu jedinicu, koja zapise grafičkog korisničkog sučelja prevodi na Brailleov zapis, čija cijena je 6.259\$. Slika 7. prikazuje PowerBraille zaslon koji košta od 4.495\$ do 10.550\$ dolara, ovisno o razlučivosti uređaja. [6]



.Slika 6.- Alva 544 Satellite Display. [6]





Slika 7.- PowerBraille Display. [6]

#### 5.4. Mogućnosti haptičkih sučelja u budućnosti

U budućnosti haptička sučelja će se i dalje biti usmjerena na unaprjeđenje funkcionalnosti ruku jer ljudi preko njih skupljaju najviše haptičkih informacija iz okolnog svijeta. Potraga za jeftinim, prijenosnim i korisnim haptičkim prikazima bit će duga i teška, ali pošto postoji fizička barijera između ljudskih senzorsko-motoričkih mogućnosti i elektroničkog svijeta računala, ne bi se mogao uspostaviti prirodni sustav dok ne bude postojala izravna neuro-stimulacija mozga. Umjesto toga pojedini stručnjaci na ovom području sugeriraju potragu za intuitivnim sustavom. Robert Stone naglašava ovu točku tvrdeći: "*Intuitivni sustav između čovjeka i stroja zahtjeva malen trening i nudi radni stil najsličniji onome koji bi koristili ljudi u interakciji sa okolinom i objektima u svakodnevnom životu. Drugim riječima ljudi interakcijom sa elementima svojih zadataka gledajući, držeći, manipulirajući, govoreći, slušajući i pomičući upotrebljavaju mnoge svoje prirodne vještine onako kako im je prikladno ili kako razumno mogu biti primijenjene u zadacima.*" [cit.2 ]

Kada stvaramo haptičko sučelje važno je imati na umu za što će uređaj biti korišten. Ako neće biti korišten na način koji je intuitivan, operateru može izazvati probleme iako je utreniran za njegovu uporabu. U trenucima stresa, uzbuđenja ili umora ljudi zaboravljaju većinu svog treninga i ponašaju se intuitivno. Zato ako haptičko sučelje nije osmišljeno i korišteno na intuitivni način, operator može

pogriješiti u radu, ali to tada nije njegova svjesna pogreška već posljedica neintuitivnog i loše osmišljenog sučelja.

Studija haptike drži ključ problema sučelja prema računalu. Haptika omogućuje prilično intuitivan način korisniku za unos informacija u računalu, i računalu prikaz informacija iz virtualnog svijeta. Istraživanja u ovom području mogu pomoći da omoguće onima koji nisu u stanju iskoristiti računalu da pređu svoja fizička ograničenja i da istražuju objekte i mjesta koja su im bila nedostupna pod normalnim okolnostima.[3]

## 6. PRIMJERI HAPTIČKIH SUČELJA

Haptički uređaji mogu biti izvedeni u mnogim varijantama, s raznim mogućnostima u određenom cjenovnom rangu. Ovisno o području primjene, njihova kvaliteta i cijena može znatno varirati. [3]

### 6.1. Skupi ali primjenjivi koncepti

PHANToM, GHOST, e-Touch te ostali projekti predstavljaju koncepte i razvojne prototipove na temelju kojih se izrađuje programska podrška za stvarne primjene u praksi.

#### 6.1.1. PHANToM

The Massachusetts Institute of Tehnology (MIT) i SensAble Technologies Inc, razvili su haptičko sučelje koje korisniku omogućava da vrhovima prstiju osjeti dodir objekta. Ovaj uređaj je nalik na stolnu lampu. To je pomična ruka koja na kraju ima "naprstak" što ga korisnik stavi na prst i preko njega je omogućena povratna sila između virtualnog objekta i korisnika. Ovaj uređaj nazvan je PHANToM (Personal Haptic Interface Mechanism). Dimenzije radnog prostora su mu 13 x 18 x 25 cm, maksimalna sila je 8,5 N. Važno je napomenuti kako je otkriće PHANToM-a omogućilo revoluciju i razvoj programske podrške zasnovane na virtualnoj stvarnosti. Naravno, s vremenom je razvijeno mnoštvo tehnički naprednijih uređaja od prvotnog izdanja pa tako postoje nova sučelja poput PHANToM/Omni/Desktop/Premium gdje svaka nova verzija posjeduje određene napretke u odnosu na prijašnju. Najnoviji proizvod je PHANToM Premium 6 DOF koji omogućuje povratnu vezu sile za svih 6 stupnjeva slobode gibanja. Tipičnu primjenu nalazi u virtualnom sklapanju, virtualnoj izradi prototipova, teleoperacijama i modeliranju na molekularnoj razini. Na slici 8 može se vidjeti najnoviji PHANTom Premium 6 DOF. [3]



Slika 8. PHANToM Premium 6 DOF. [3]

### 6.1.2. GHOST

GHOST (eng. General Haptic Open Software Toolkit) SDK (eng. Software Development Kit) je objektno orijentirani alat, napisan u C++, koji sadrži klase i metode za podržavanje PHANToM haptičkog sučelja. Taj programski alat predstavlja haptičku razvojnu okolinu kao hijerarhijsku kolekciju geometrijskih objekata i površinskih efekata (trenje, hrapavost, vibriranje, i dr). [3]

### 6.1.3. e-Touch SDK

Rad na e-Touch SDK započeo je prije više od 5 godina u laboratoriju Sandia. To je programski paket koji za komunikaciju između čovjeka i računala koristi haptičke uređaje poput PHANToM sučelja.

e-Touch je zasnovan na tri načela:

- Interakcija između čovjeka i računala je bolja ako je omogućen višesenzorski ulaz i izlaz;
- računala bi trebala odgovarati ljudima (uglavnom je suprotno - to je najveći problem u interakciji između čovjeka i računala);
- e-Touch programska podrška bi trebala biti dostupna svima i otvorena za bilo koju vrstu istraživanja.

e-Touch SDK je modularan višeprocetni sustav koji omogućuje intuitivno multi-senzorsko programiranje. Pomoću ovog programa programeri mogu brzo i jednostavno graditi 3D aplikacije koje omogućuju korištenje vida, dodira i sluha.

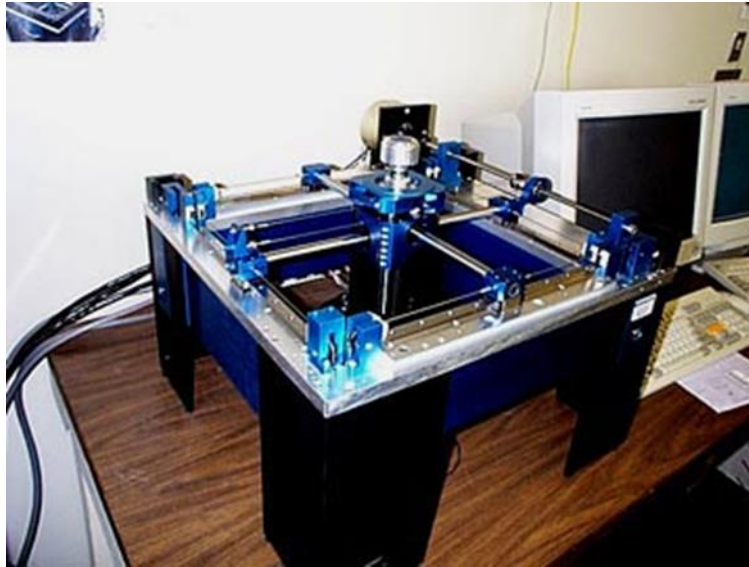
U SDK su uključeni programski alati za kreiranje 3D alata, navigacijske tehnike, 3D modeli i velik broj alata za razvoj korisničkih sučelja. Unutar tih alata se nalazi i 3D *Graphical User Interface (3DGUI) builder* preko kojeg je moguće vrlo jednostavno kreirati 3D "front-end" za aplikaciju.

Svojstva e-Touch razvojnog sustava su:

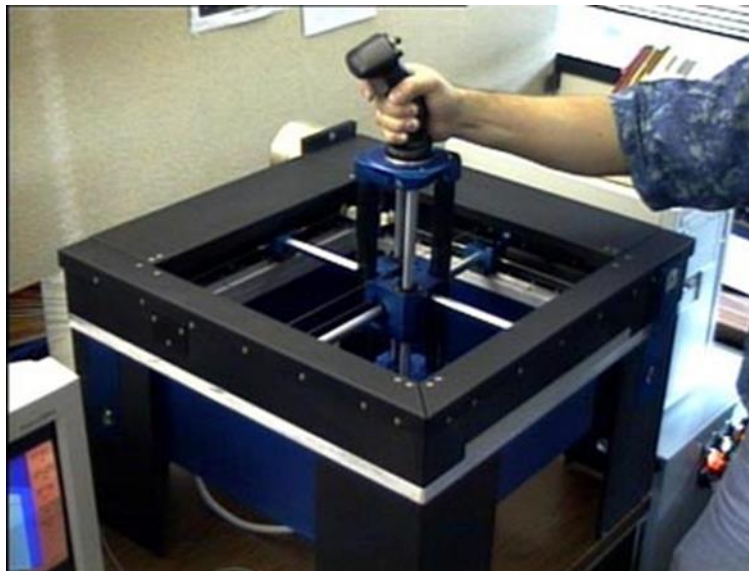
- Jednostavna i robusna arhitektura koja omogućava brz razvoj aplikacija;
- Podrška za Windows NT i Solaris platforme (kreiran je u OpenGL, C, C++);
- Inovativno 3D sučelje, napredni 3D alati i mnoge napredne haptički poboljšane tehnike navigacije;
- Podrška za PHANToM haptičko sučelje;
- Podrška za GHOST software;
- Potpuno dokumentiran i testiran *Application Programming Interface(API)* koji omogućuje programeru jednostavnu izradu 3D objekata preko sučelja osjetljivih na zvuk, dodir i vid;
- API koji sadrži velik broj naredbi za kreiranje sučelja, alata i navigacijskih tehnika. Sadrži haptičke biblioteke u kojima su dinamička svojstva, teksture, modeliranje objekata i grafika, te vektorske i matrične biblioteke;
- Programeri mogu lako pristupiti e-Touch korisničkom sučelju i sami stvoriti vlastite tehnike koje se mogu lako kasnije dinamički učitavati. [3]

#### **6.1.4. Linearni haptički prikaz**

Linearni haptički prikaz (eng. *Linear Haptic Display - LHD*) razvijen je od firme *Excalibur (Haptic Technologies, Inc.)*. To je haptički uređaj sa tri stupnja slobode. Pogodan je za treniranje upotrebom virtualne stvarnosti, CAD, telerobotsku manipulaciju i zabavu. Njegov najznačajniji dio je patentirani sustav prijenosa sastavljen od čeličnih kablova koji omogućava visoke sile i visoku tvrdoću u tri ortogonalne osi translacijskih pokreta. Motori su spojeni na bazu mehanizma tako da se samo lagani povezani elementi pomiču sa ručkom. Na slici 9 Imamo prikazan UW LHD sa integriranim senzorom za osjet, te na slici 10 Imamo Boeing LHD sa F-18 joystickom. [3]



Slika 9. -UW LHD sa integriranim senzorom za osjet stiska ruke. [3]



Slika 10.- Boeing LHD sa F-18 joystickom [3]

#### 6.1.5. Drugi uređaji i metode za prijenos osjećaja dodira

Metode kojima haptički uređaji adresiraju somatska osjetila korisnika:

- Pneumatska stimulacija (eng. *Pneumatic stimulation*) postiže se mlazovima zraka, prstenima zraka i "džepovima" zraka. Problemi nastaju

uslijed umora mišića i osjećaja pritiska i stiskanja koji obično znači da je osjetilo privremeno onemogućeno. Dodatna nepogodnost je mala propusnost ovakvih uređaja.

- Vibrotaktilna stimulacija (eng. *Vibrotactile stimulation*) u kojoj se vibracije postižu tupim iglama ili piezoelektričnim kristalima. Ovi uređaji su najpogodniji za registriranje somatskih osjetila korisnika zato jer su vrlo lagani i maleni. Dodatna pogodnost je velika propusnost ovakvih uređaja.
- Elektrotaktilna stimulacija (eng. *Electrotactile stimulation*) predstavlja male elektrode pričvršćene na korisnikove prste i one omogućuju električno pulsiranje. Prvi rezultati ove metode su obećavajući, ali potrebna su daljnja istraživanja na ovom području.
- Neuromišićna stimulacija (eng. *Functional neuromuscular stimulation*) je pristup u kojem se stimuliranje primjenjuje izravno na neuromišićni sistem korisnika. Ova metoda je još u fazi istraživanja.

Druge metode ne pristupaju izravno somatskim osjetilima. Gotovo svi ovi uređaji razvijeni su za primjenu u grafici ili robotici. Uređaji koji indirektno adresiraju somatska osjetila korisnika su npr.:

- The Ultimate Display
- GROPE
- Joystick
- The Exoskeleton
- The Compact Master Manipulator
- PUSH
- Teletact
- Force Dials, i dr. [3]

## 6.2. Skupi, ali tržišno dostupni i primjenjivi sustavi

Postoje kirurški simulatori s haptičkim povratnim informacijama. Simulacija kirurških operativnih postupaka zasnovana je na virtualnoj stvarnosti koja otvara nova područja medicinskog osposobljavanja i obrazovanja. Kirurg je opremljen 3D prikazom modela organa na zaslonu računala i haptičkom povratnom informacijom koju dobiva preko upravljača kojim upravlja kirurškim instrumentom. Na slici 11 je prikazana simulacija kirurške operacije na lutki [8].



Slika 11.- Simulacija kirurške operacije. [8]

Neki od primjera ovakvih uređaja su kolonoskopijski simulator, intervencijski simulator radiologije, simulator histeroskopije te laparoskopski simulator.

## 6.3. Sučelja

Jedan od primjera je svakako *Apple Watch*. Tvrtka Apple je izradila modificirano korisničko sučelje za iOS sustav. Pronašli su način kako će



tehnologijom doprinijeti ljudskom kontaktu, odnosno komuniciranju. Stvorili su više izravnih intimnih načina povezivanja. *Apple Watch* je uređaj osjetljiv na dodir koji vas može dodirnuti. *Apple* je stvorio ono što se zove "*taptic engine*" za isporuku fizičkih senzacija korisnikovom zapešću. Pomoću ovog sata su otvorene nove metode komunikacija korisnika sa drugim nositeljima sata. Možete poslati nešto osobno poput srca. Kada plaćate sa ovim satom, možete čuti i osjetiti potvrdu. Možete lagan dodir poslati drugom nosiocu sata koji će taj dodir osjetiti na svom zapešću. Je li to podsjetnik? Čežnja? Ovaj sat zaista predstavlja novi način komuniciranja među ljudima. [9]

Također nam iz tvrtke *BOSH* dolazi inovacija koja je predstavljena na Međunarodnoj izložbi automobila 2015. godine. Radi se o aktivnoj papučici gasa. Boscheva aktivna papučica za gas pomaže u štednji goriva tako što vozaču daje nježni haptički signal kako bi označila položaj papučice s najmanjom potrošnjom goriva. Na taj način tehnologija pomaže ostvariti uštedu goriva do 7 posto. A ako vozilo ima sustav pomoći poput automatske kontrole razmaka, papučica postaje indikator upozorenja. Uz navigacijski sustav ili kameru koja prepoznaje prometne znakove, Boscheva inovativna papučica za gas daje vozačima haptički signal upozorenja ako npr. prilaze opasnom zavoju prevelikom brzinom. [10]

## 7. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da sve više ljudi koristi računala i računalni programi postaju sve složeniji, nužno je da ove promjene budu popraćene razvojem naprednijih sučelja i da se na taj način omogući korisnicima da učinkovito i jednostavno koriste sve složenije računalne sustave. Zahtjevi interakcije čovjeka s ovako složenim sustavima premašuju mogućnosti postojećih sučelja, te postoje razni pokazatelji koji upućuju na to da je korištenje inteligentnih korisničkih sučelja u budućnosti sasvim izvjesno.

Problem koji se javlja kod upotrebe pametnih sučelja je dostupnost uređaja i njihova cijena. Naime, većina haptičkih uređaja ima vrlo visoke cijene zbog kojih se ne vidi skora široka primjena naprednih haptičkih sučelja na radnom mjestu ili kao pomoć osobama sa poteškoćama. Zbog toga se radi na osmišljavanju raznih oblika haptičkih sučelja koja će cijenom biti prihvatljiva korisnicima.

Broj noviteta u području haptike je sve veći i smatram da je samo pitanje vremena kada će i kod nas u Hrvatskoj, odnosno u našim tvrtkama i obrazovnim ustanovama doći do primjene naprednih haptičkih rješenja kako bismo mogli pomoći hendikepiranim osobama i osobama sa ostalim poteškoćama. Također smatram da će im to pomoći u obavljanju svakodnevnih aktivnosti, te naravno, riješiti veliki problem obrazovanja osoba sa ovakvim poteškoćama.

Što se tiče rada na radnom mjestu, smatram da bi primjena haptičkih sučelja uveliko povećala produktivnost, kvalitetu i sigurnost rada radnika. Često zbog monotonosti na radnom mjestu ili zbog zastarjele tehnologije učinak rada bude nizak. Radnici često obole od profesionalnih bolesti koje su uzrokovane primjenom loše radne opreme, prisilnim položajima, ponavljanim pokretima ili zbog pretjerane izloženosti opasnostima po život. Smatram da bi se pametnim tehnološkim rješenjima na poslovima sa posebnim uvjetima rada uvelike vidjela razlika u kvaliteti rada i zdravlju radnika. Osim toga primjenom ovakvih naprednih korisničkih sučelja znatno se može smanjiti mogućnost pogreške pri radu s programskom podrškom u kojoj su uneseni parametri ili izbor nekog postupka od kritičnog sigurnosnog značaja bilo da se radi o upravljanju opasnim proizvodnim i istraživačkim procesima ili je kao npr. u medicinskim aplikacijama točnost i

sigurnost interakcije s računalnim sustavom od izravnog utjecaja na život i zdravlje pojedinog čovjeka-pacijenta.

Istraživanja na ovom području pokušavaju što bolje iskoristiti usku vezu između računala i korisnika. Smisao proučavanja interakcije između čovjeka i računala je stvaranje sustava koji su upotrebljivi, sigurni, produktivni, efektivni i funkcionalni. Haptička sučelja su kod nas zanemarena kao mogući izbor, odnosno pomoć na radnom mjestu, školi, zdravstvenim ustanovama. Kroz ovaj rad sam htjela objasniti čitaocu što je haptika te koja nam ona rješenja nudi danas. Postoji niz tehnoloških rješenja koji su za većinu ljudi nepoznanica. Dodatni problem jest i činjenica da su mnoga poznata rješenja financijski nedostupna siromašnijim i industrijski slabije razvijenim zemljama kao što je Republika Hrvatska. Cilj mi je izradom ovog rada bio potaknuti današnje društvo da se okrene ovoj vrsti tehnologije, odnosno da traži rješenja za određene probleme upravo u primjeni haptičkih sučelja.

## 10. LITERATURA

- [1.] Dragosavljević, V., "Sučelje čovjek-računalo, nova dostignuća", Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2007.
- [2.] Vidipedija, "Korisničko sučelje", [www.vidipedija.com](http://www.vidipedija.com), pristupljeno 06.06.2017.
- [3.] Cvitanić, M., „Interakcija između čovjeka i računala“, <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/cvitanic/index.html> , pristupljeno 01.06.2017.
- [4.] Hayward, V., et al., "Haptic Interfaces and Devices", Center for Intelligent Machines, Mc Gill University , Canada ; Ge Corporate Research and Development, U.S.A; Immersion Canada, Inc. , Canada; Programa de Investigacion en Matematicas Aplicadas y Computacion, Sensor Review, Feb 2004.
- [5.] Matera-Hoinkis, M., Komunikacija alternatywna dzieci głuchoniewidomych – METODA TADOMA, Centrum logopedyczne Apex, 2016., <http://www.logopedia.pl/publikacje-fachowe/publikacje-fachowe-logopedia/item/2350-komunikacja-alternatywna-dzieci-gluchoniewidomych-metoda-tadoma>, pristupljeno 01.07.2017.
- [6.] Bell, E. et al: „Haptic User Interface, Phase II“, Michigan state University, February 1, 2013.
- [7.] Sherman, D., "2016 BMW 7-series - Prototype Drive", <http://www.caranddriver.com/reviews/2016-bmw-7-series-detailed-driven-review-idrive-improved-page-2>, pristupljeno 01.07.2017.
- [8.] LABORATOIRE DE SYSTÈMES ROBOTIQUES LSRO, "Surgical Simulators with Haptic Feedback", <http://lsro.epfl.ch/simulators>, pristupljeno 01.07.2017.

[9.] Hall, B.S., "Taptic, haptics, and the body fantastic: The real Apple Watch revolution", <http://www.macworld.com/article/2690729/taptic-haptics-and-the-body-fantastic-the-real-apple-watch-revolution.html>, pristupljeno 01.07.2017.

[10.] BOSCH, "Bosch u Hrvatskoj: Međunarodna izložba automobila (IAA)", [http://www.bosch.hr/hr/hr/newsroom\\_10/news\\_10/news-detail-page\\_81600.php](http://www.bosch.hr/hr/hr/newsroom_10/news_10/news-detail-page_81600.php) , pristupljeno 01.07.2017.

## 11. PRILOZI

### 11.1. Popis simbola

N	njtn, mjerna jedinica za silu
Hz	herc, mjerna jedinica za frekvenciju
m	metar, mjerna jedinica za duljinu

### 11.2. Popis slika

Slika 1. Stereoskopski sustav[3]	6
Slika 2. Volumetrijski prikaz[3]	8
Slika 3. iDrive u BMW 7[7]	15
Slika 4. Prikaz gledanja hologrfskog filma[3]	17
Slika 5. Projekcijski hologram[3]	20
Slika 6. Alva 544 Satelite Display[6]	31
Slika 7. Power Braille Display[6]	32
Slika 8. PHANToM Premium 6 DOF[3]	35
Slika 9. UW LHD sa integriranim senzorom za osjet stiska ruke[3]	37
Slika 10. Boeing LHD sa F-18 joystickom[3]	37
Slika 11. Simulacija kirurške operacije[8]	39