

Platforma za razpoznavo 3D gest s pomočjo električnega polja

Aljaž Blatnik¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: aljaz.blatnik@fe.uni-lj.si

Platform for recognizing 3D gestures using an electric field

Abstract. *The office environment presents a unique challenge in designing a system for recognizing 3D gestures of the user. A person usually sits at a table, with his hands on a keyboard or mouse and limited space to perform gestures.*

The work presents the design and development of a prototype of a 3D gesture recognition platform that obtains information from the environment by changing the electric field, without the use of process-intensive image processing, or the need for visibility with a sensor. The connection to the computer is made via a USB bus.

Implemented and presented are 6 gestures that allow background management with various daily programs on the computer. A study of the usability of the product on 6 people is presented.

Ključne besede: 3D geste, upravljanje z gestami, električno polje

1 Uvod

Čeprav so pogosto vir raziskav [1], se zračne geste v vsakdanjem življenju uporabljajo pravzaprav precej redko. Svoje veliko tržišče so našle v igračarskem svetu navidezne 3D resničnosti, pri vsakdanjih opravilih pa uporabniki raje posežejo po uveljavljenih uporabniških vmesnikih, kot so fizična stikala in zasloni na dotik. Raziskave uporabniške izkušnje kažejo [2, 3, 4], da uporabniki želijo čim hitrejši odziv na dano zahtevo, torej hitrejšo interakcijo, hkrati pa se niso pripravljene učiti novih veščin za uporabo tehnologije [5], če se le ta ne prilagaja njihovim potrebam in željam, ter hitro izgubijo potrpežljivost in interes za rokovanje, v primeru neodzivnosti sistema za razpoznavanje [6].

Avtorji se pri razvoju sistema za upravljanje z gestami v veliki večini primerov poslužujejo dveh tehnologij. Neposredna namestitvev senzorjev na uporabnika (zapestnice, ure), ali detekcija s pomočjo video kamere in razpoznavne z namensko programsko opremo (Xbox Kinect, Nintendo Wii) [7, 8]. Uporabniki navadno ne želijo nositi namenske opreme za razpoznavo, ali si jo nameščati pred uporabo, zato ta pristop ni širše sprejet med njimi [9]. Avtorji kot razlog uporabe video detekcije in razpoznavne navajajo nizko ceno senzorjev in podprtost z razvojnimi orodji. Vse to seveda ni dovolj dober razlog, za proglasitev izbranega načina kot najustrežnejšega, kot to lahko zasledimo pri K. Djadu [8].

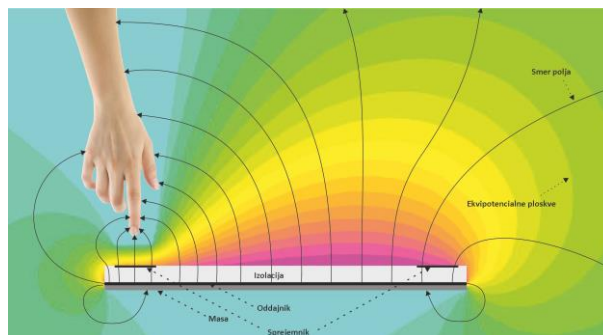
Poleg cene ustrezne opreme, ter zahtevnosti računske obdelave, dodatno težavo predstavlja

vsakodnevna uporaba. Kamera mora biti nameščena na statični lokaciji, brez neposredne sončne svetlobe, ki lahko moti ustrezno razpoznavo, pred začetkom uporabe pa mora biti izveden kalibracijski postopek [2]. Uporabnik mora stati na določeni razdalji od kamere in biti za dobro razpoznavo obrnjen proti njej. Takšne zahteve lahko uporabnika odvrnejo od uporabe sistema in s tem upravljanja z gestami [6].

Namen tega dela je prikaz novega, drugačnega pristopa pri razpoznavi gest in interakciji z uporabnikom, ki si še mora zagotoviti svoje mesto na tržišču. Podan je primer v pisarniškem okolju z upravljanjem funkcij v ozadju (glasnost predvajanja, izbira pesmi, listanje).

2 Delovanje senzorja

Osnovna zamisel pri izgradnji in načrtovanju platforme za zaznavo gest je uporaba električnega polja, oziroma njegove spremembe za detekcijo položaja objekta v prostoru. S tem izločimo potrebo po video razpoznavanju, ter se izognemo težavam s prekrivanjem leč ali senzorja z umazanijo, ovirami, tudi slabimi pogoji za zajem (slaba osvetlitev, močno sonce).



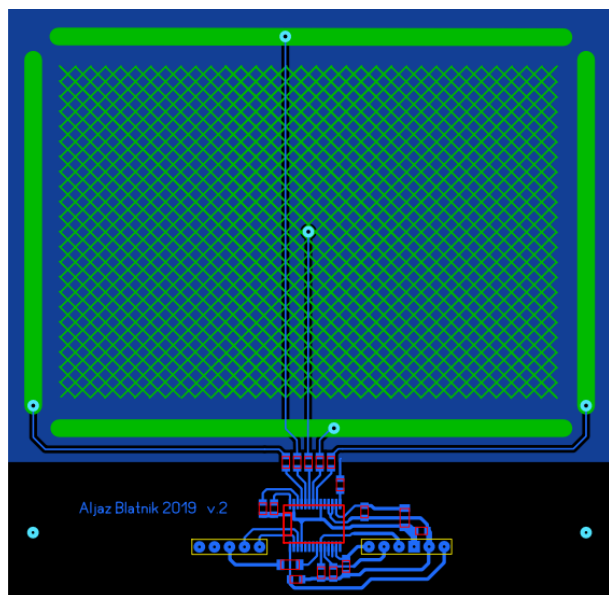
Slika 1: Prikaz vpliva roke na električno polje.

Osnovni princip delovanja prikazuje Slika 1. Senzor vsebuje eno oddajno in več sprejemnih elektrod. Oddajno elektrodo, ki je od sprejemnih ločena z izolativno plastjo, vzbujamo z znano frekvenco in amplitudo. Sprejemne elektrode skupaj z maso tvorijo kondenzator zelo majhne vrednosti. Kondenzator z aktivnim vezjem tvori nihajni krog, čigar časovna konstanta je primarno odvisna od velikosti izražene kapacitivnosti. Kadar v bližino senzorja pride človeška roka, ta predstavlja dodatno kapacitivnost v okolici, s tem pokvari električno polje v bližini senzorja in spremeni časovno konstanto nihajnega kroga dane elektrode. Tako lahko na tehnološko precej enostaven način zaznamo prisotnost človeške roke.

Na podoben način delujejo tudi zasloni s kapacitivnim zaznavanjem dotika, le da tam zaznavamo

dotik v dvo-dimenzijski ravnini, pri 3D senzorju pa smo sposobni zaznavati tudi oddaljenost telesa od površine.

Z ustrezno razporeditvijo elektrod in uporabo več vzorčevalnih kanalov lahko tvorimo senzor, ki je sposoben zaznave položaja roke v prostoru, seveda na določeni razdalji od senzorske naprave. Pri tem je priporočljiva uporaba 5. sprejemnih elektrod za razpoznavo osnovnih gest (levo desno, gor, dol, rotacija), od katerih sredinska elektroda služi namenu boljše kalibracije in detekcije prisotnosti objekta.



Slika 2: Končni izgled dvoslojne tiskanine senzorja.

Končno zasnovo sprejemnih elektrod z namenskim čipom prikazuje Slika 1. Sredinska elektroda je izdelana s karo vzorcem, saj tako dobimo približno vsoto površine bakra preostalih 4. elektrod in olajšamo izvedbo meritve (večja površina pomeni večjo kapacitivnost, s tem manjšo resolucijo zaznave objekta). Izolacijsko območje tvori dielektrična plast laminata FR4, na spodnji strani tiskanine pa je izvedena oddajna elektroda.

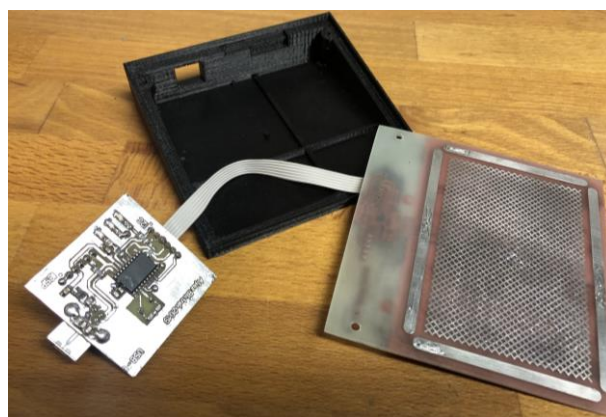
Čeprav lahko sprejemno/obdelovalno vezje zgradimo sami z uporabo povsem analognih gradnikov, je na tržišču za ta namen na voljo integrirano vezje, ki v svoji notranjosti vsebuje tako analogni del za zajem podatkov, kot preprost mikrokrmilnik za grobo obdelavo podatkov, shranjevanje parameterizacije in komunikacijo preko vodila. V prototipu je uporabljeno osnovno namensko integrirano vezje podjetja Microchip MGC3030 [10], saj je bilo v času razvoja edino prosto dobavljivo, ustreza vsem pogojem za zagotavljanje skladnosti s predpisi in vsebuje algoritem za izločanje motilnih statičnih pojavov (prisotnost objektov, motilni signali).

3 Zajem podatkov in povezava preko USB

Izdelan detektor brez namenske programske opreme ne deluje, saj detektorsko integrirano vezje za prvo delovanje potrebuje vpis parameterizacijskih podatkov in zadnje različice programske kode, ki jo prosto dostopno ponudi proizvajalec. V ta namen je potrebno

izdelati USB-I2C vmesnik, ki kasneje služi za komunikacijo z računalniškimi programi in napajanje same naprave. Pri tem ohranjamo vsebino podatkov, ki jih detektor posreduje uporabniku in s tem omogočamo razvoj poljubne programske opreme na osebнем računalniku.

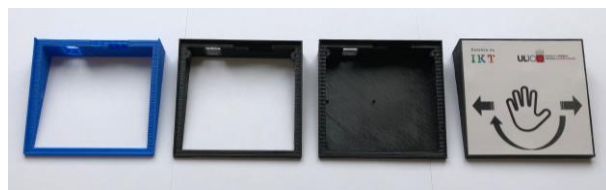
Poleg surovih podatkov (vrednost deviacije signala na sprejemnih elektrodah) lahko iz namenskega čipa prejmemo že obdelan podatek o zadnji izvedeni gesti. S tem prihranimo precej obdelovalne moči na osebнем računalniku, kjer se posvetimo le upravljanju programov in prikazu podatkov. Končen izgled senzorskega in komunikacijskega dela pred namestitvijo v ohišje prikazuje Slika 3.



Slika 3: Končna povezava elementov pred montažo v ohišje.

4 Ohišje in kalibracija

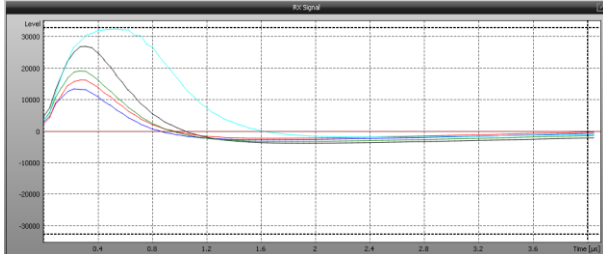
Ohišje senzorja poleg estetskega vidika in mehanske trdnosti, služi tudi kot pomoč pri uspešni zaznavi gest. Tablica je namenjena uporabi na pisalni mizi, torej ko uporabnik sedi. Takrat je gibanje rok omejeno na prostor nad mizo, ravno tako pa zaradi normalnega položaja sedenja gibi niso vedno vzporedni s površino mize. Naklon zaznavne površine senzorja za 10° se je skozi več prototipov pokazal za najprimernejšega v večini primerov, ko uporabnik sedi in upravlja z gestami. Razvoj nosilnega ohišja prikazuje Slika 4.



Slika 4: Razvoj ohišja končne naprave.

Pred začetkom uporabe senzorja, moramo celotno napravo kalibrirati. To je potrebno storiti le enkrat, torej ko tablico sestavimo oziroma vanjo vpišemo program (tovarniški postopek), nato se naprava samodejno prilagaja spremembam v okolici, da detekcija gest ves čas deluje pod enakimi obratovalnimi pogoji. Za ta namen proizvajalec ponuja programsko orodje, ki nam omogoča meritev parametrov in njihov vpis v pomnilnik integriranega vezja.

Kalibracija je potrebna zaradi vpliva ostalih tiskanih vezji v napravi in samega ohišja, na razporeditev električnega polja okoli sprejemnih elektrod. S tem izničimo neenakomerne amplitude v sprejetem signalu, ki niso posledica prisotnosti objekta, ampak motilnih elementov v okolici. Slika 5 prikazuje postopek merjenja kalibracijskih faktorjev pred vpisom v pomnilnik.



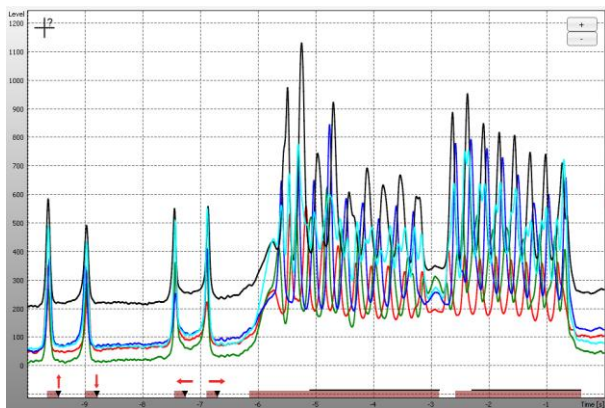
Slika 5: Določanje kalibracijskih vrednosti.

Iz grafa lahko opazimo lastnost velikih elektrod (cian barva krivulje), kjer sredinska elektroda kljub manjšanju površine s pomočjo karo vzorca tvori precej večjo kapacitivnost z maso, kot preostale elektrode. Za boljše delovanje bi bilo potrebno njeno površino še nekoliko zmanjšati, s kalibracijo pa uspemo težavo delno omiliti.

5 Razpoznava gest in delovanje 3D tablice

Program znotraj integriranega čipa na senzorski tiskanini preko oddajne elektrode proizvaja električno polje v frekvenčnem območju nekaj 10kHz. S spreminjanjem frekvence lahko manjša ali večja zaznavno polje in s tem omogoča razlikovanje med prisotnostjo objekta (človeške roke) ali napake kot posledica motečih pojavov (zunanje elektronske naprave, elektorstatika).

Posamezna gesta je razpoznana s pomočjo končnih stanj namenske programske kode naložene v notranjost procesne enote senzorja. Ta deluje precej preprosto. Pomik roke iz leve strani proti desni pomeni detekcijo signala na zahodni elektrodi, nato na vzhodni, medtem ko se severna in južna v jakosti signala skozi čas bistveno ne spreminjata. Podobno velja za preostale tri geste premika roke v smeri neba. Detekcijo in klasifikacijo geste v časovnem poteku signala prikazuje Slika 6.



Slika 6: Signali elektrod v časovni domeni (razpoznava gest).

Senzorska procesna enota lahko razpozna več različnih gest, tudi prisotnost roke, dotik površine in dvojno ponovitev gest. Uporabnik lahko kreira nove geste (npr. poševni zamah z roko), jih klasificira in vpiše v pomnilnik, vendar se to izkaže kot precej nezanesljiv način detekcije. Proizvajalec je v svoj nabor že vključil najbolj optimalne geste, ki jih je mogoče razpoznati v različnih primerih, pod različnimi pogoji. Slika 6 prikazuje šest različnih tipov gest, ki jih razpozna prototipna tablica.



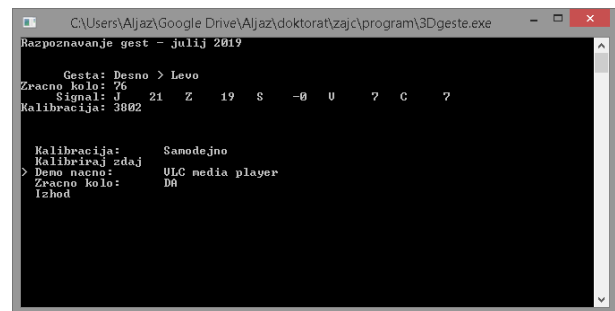
Slika 6: Različni tipi gest.

Za namen prikaza uporabnosti danega prototipa, je bila razvita namenska preprosta programska oprema za osebni računalnik s sistemi Windows. Program v ukazni vrstici prikazuje trenutne vrednosti signala na elektrodah, ter s simulacijo pritiska hitrih tipk, omogoča uporabo v ozadju za tri demo primere.

Besedilni način ob vsaki uspešni detekciji v kateri koli program za urejanje besedila izpiše besedo, ki predstavlja zadnjo prepoznano gesto.

VLC media player način omogoča nadzor nad multimedijским predvajalnikom VLC. Zamah levo in desno izbira med pesmimi iz seznama predvajanja, zamah gor prične s predvajanjem, zamah dol ga ustavi. Zračno kolo v smeri urnega kazalca veča glasnost predvajanja, zračno kolo v nasprotni smeri pa jo niža.

Demo različica Acrobat reader omogoča upravljanje s pregledovalnikom dokumentov .pdf. Zamah gor odpre celozaslonski način branja, zamah dol preide v način pregledovanja, zamaha levo in desno izbirata po straneh. Zračno kolo deluje različno v dveh različnih pogledih. V pregledovanju počasi drsi po strani dokumenta, v celozaslonskem načinu pa hitro izbira med stranmi.



Slika 7: Izgled programa za upravljanje z gestami.

Slika 7 prikazuje končni izgled terminalskega programa za prikaz upravljanja s 3D gestami. Podatki, ki jih tablica pošilja preko vodila USB so nespremenjeni in

ustrezajo strukturi podatkov, ki jih je predvidel proizvajalec integriranega vezja. S tem delujejo tudi vsi primeri in koda, ki jo na svoji spletni strani ponuja podjetje Microchip.

6 Uporabniška izkušnja

Uporabnost upravljanja z gestami, je bila preizkušena na 6 različnih osebah, ki so poskusile z upravljanjem računalniških programov s 3D gestami. 4 osebe so bile računalniško dobro pismene, dve osebi pa računalnika ne uporabljata pogosto.

Uporabnik je najprej preizkusil detekcijo gest z besedilnim načinom, da se je spoznal z delovanjem naprave in načinom zaznave. Nato je preizkusil upravljanje multimedijskega predvajalnika glasbe in branja PDF dokumentov na osebem računalniku. Vsi uporabniki so sedeli za mizo, pred seboj imeli računalnik, desno ali levo od njih pa tablico za upravljanje.

Z opazovanjem je bilo ugotovljeno, da uporabniki hitro osvojijo geste zamaha (levo, desno, gor, dol), tudi, če niso veščji upravljanja z računalnikom, težava pa jim povzroča gesta zračnega kolesa. V 66% primerov je bilo uporabnikom potrebno najprej demonstrirati uporabo in način izvajanja geste, šele nato so razumeli, kako jo uporabljati. Povprečen čas za osvojitve geste je bil približno 3-4min, nato so uporabniki samostojno nadaljevali z upravljanem. Izkazalo se je tudi, da je najlažji način učenja s prikazom drsenja .pdf dokumenta in ne besedilnim načinom, kot je bilo sprva predvideno.

Na 3. uporabnikih je bil test ponovljen po enem tednu. Ugotovljeno je bilo da si osvojeno gesto zračnega kolesa uspešno zapomnijo in lahko takoj pričnejo z upravljanjem.

Uporabniki so tudi navedli občutljivost sistema kot negativno lastnost, torej da lahko gesto sprožijo pomotoma med delom za pisalno mizo. Težavo je možno odpraviti na dva načina. Prvi omogoča zmanjšanje občutljivosti, vendar potem ne moremo več zagotavljati pravilnosti delovanja v vseh primerih (npr. kadar senzor založimo s kupico papirja), druga možnost je detekcija prisotnosti in nastavljanje ustreznega pragu. Torej je gesta veljavna le, kadar se nad celotno površino nahajala roka, v nasprotnem primeru geste ne prepoznamo. S hitrimi ponovitvenimi testi se je to sicer izkazalo kot delno uspešno, saj uporabniki geste s časoma začnejo izvajati površno (hiter, nepopoln zamah), sistem pa jih v teh primerih ne prepozna kot veljavne.

7 Zaključek

3D geste in upravljanje z njimi brez uporabe video kamere in obdelave posnetka za detekcijo, predstavljajo nov način razpoznavanja na tržišču in odpirajo številne možnosti. Ker je senzorska površina lahko povsem skrita za okrasnimi elementi ali ohišjem, je vgradnja možna na številnih mestih, predvsem tam, kjer ostale rešitve niso mogoče zaradi različnih dejavnikov (sterilnost kirurških dvoran, umazanija avtomehaničnih delavnic). Z razvojem prototipa je bila zgrajena platforma za spoznavanje s 3D načinom gest, testiranjem njihove uporabnosti in enostavnosti vpeljave

v široko-potrošno proizvodnjo. Za namen preverjanja uporabniške izkušnje je bil izdelan preprost program, ki lahko teče v ozadju osebnega računalnika in omogoča upravljanje različnih programov z gestami. Uporabnost je bila preizkušena na več prostovoljcih, ki so sistem uspešno osvojili.

Po koncu razvoja prvega prototipa, je proizvajalec na tržišče poslal drugo različico čipa, ki omogoča detekcijo na več kanalih hkrati in hitrejšo sprotno obdelavo s kombinacijo 2D in 3D razpoznave. Tako se odpira možnost izdelave sledilne ploščice (track pad), ki v osnovi deluje enako kot obstoječi izdelki na tržišču (uporabniki torej znajo upravljati z njimi), dodaja pa novo možnost upravljanja z gestami, torej dvig roke od senzorske površine in upravljanje v prostoru. Za razvoj takega prototipa bi bil potreben dodaten čas, tudi industrijska izdelava tiskanine, namesto izdelave v domači delavnici.

8 Literatura

- [1] T. S. Daniel Ashbrook, „MAGIC: A Motion Gesture Design Tool,“ v *CHI 2010: Everyday Gestures*, Atlanta, 2010.
- [2] O. J. Fails, „A design tool for camera-based interaction,“ v *Proc. CHI*, 2003.
- [3] V. D. K. N. Y. Chin, „Development of an instrument measuring user satisfaction of zhe human-computer interface,“ v *In Proc. CHI*, 1988.
- [4] J. C. F. I. Y. Cui, „A cross culture study on phone carrying and physical personalization,“ v *HCI International*, 2007.
- [5] Y. K. Y. Q. a. P. O. K. Miguel A. Nacenta, „Memorability of pre-designed & user-defined gesture sets,“ v *CHI 2013*, Paris, 2013.
- [6] A. G. W. S. E. J. d. M. F. Ahmed Sabbir Arif, „Error behaviours in an unreliable in-air gesture recognizer,“ v *One of a CHIInd*, Toronto, 2014.
- [7] V. G.-P. M. A. S. Arnaud Ramey, „Integration of a Low-cost RGB-D sensor in a social robot for gesture recognition,“ v *HRI'11*, Lausanne, 2011.
- [8] C. C. P.-L. S.-C. M. D. Khalid Djado, „Gesture interface for an interactive kiosk,“ v *ACM*, Shenzhen, 2014.
- [9] R.-D. Vatavu, „Fundamentals of gesture production, recognition and analysis,“ v *CHI 2017*, Denver, 2017.
- [10] Microchip Inc., „MGC3030,“ 2019. [Elektronski]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MGC3030-3130-3D-Tracking-and-Gesture-Controller-40001667F.pdf>. [Poskus dostopa 2019 7 4].