

**PRIMENA ROOM-SCALE TEHNIKE ZA NAVIGACIJU KROZ VIRTUELNI PROSTOR VEĆIH DIMENZIJA OD REALNOG****APPLICATION OF THE ROOM-SCALE TECHNIQUE FOR NAVIGATION THROUGH A VIRTUAL SPACE OF LARGER DIMENSIONS THAN THE REAL ONE**

Jovana Tešić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – RAČUNARSKA GRAFIKA**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu se pokušava otkloniti glavni problem koji se javlja kod kretanja kroz virtualni prostor room-scale tehnikom – postojanje ograničenog praćenog prostora koji ograničava autora aplikacije da kreira virtualni prostor većih dimenzija u odnosu na njega. Potencijalno rešenje za ovaj problem je skaliranje virtualnog okruženja, kako bi korisnik bio u mogućnosti da u okviru praćenog prostora uspe da istraži celokupan virtualni prostor. Dakle, cilj ovog rada je da se kreira VR aplikacija za potrebe arhitektonske vizualizacije, pri čemu je neophodno obezbediti što veću mogućnost kretanja u okviru 2x2 metra praćenog prostora i zadržati akcenat na korisnikovom osećaju da se zapravo nalazi u tom okruženju. Glavni prostor, odnosno nekretnina koja se prezentuje korisniku je 6x6 metara, a kako bi korisnik imao sa čime da uporedi kretanje unutar ovog prostora, dodatno su kreirana još dva prostora od 2x2 i 4x4 metra. Aplikacija je izrađena u Unreal Engine softveru.

**Cljučne reči:** virtualna realnost, virtualna okruženja, roomscale, arhitektonska vizualizacija, ArchViz

**Abstract** – This paper attempts to eliminate the main problem that occurs when moving through virtual space using the room-scale technique – the existence of a limited tracked space that limits the author of the application to create a virtual space of larger dimensions in than the tracked space has. A potential solution to this problem is the scaling of the virtual environment, so that the user would be able to explore the entire virtual space within the tracked space. Therefore, the goal of this work is to create a VR application for the needs of architectural visualization, where it is necessary to ensure the greatest possible movement within the 2x2 meter tracked space and keep the emphasis on the user's feeling that he is actually in that environment. The main space, that is, the real estate that is presented to the user, is 6x6 meters, and in order for the user to have something to compare the movement within this space with, two more spaces of 2x2 and 4x4 meters were additionally created. The application is made in Unreal Engine software.

**Keywords:** virtual reality, virtual environments, room-scale, architectural visualization, ArchViz

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marko Jovanović, doc.

**1. UVOD**

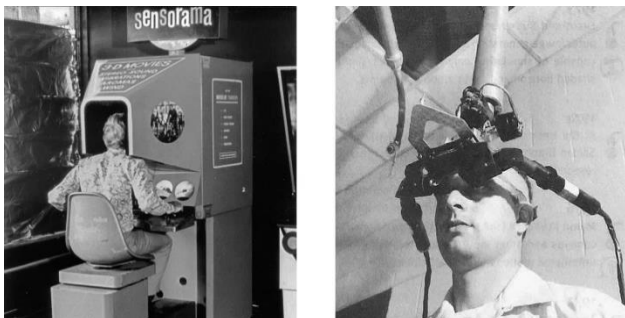
Jedna od osnovnih osobina čoveka jeste radoznalost. Ova osobina ga je hiljadama godina unazad terala da izađe iz granica svoje zone komfora i istražuje svet oko sebe u potrazi za novim informacijama i saznanjima. Psihološki proces putem kojeg čovek dobija informacije o spoljašnjem svetu ili sopstvenom telu, odnosno putem kojeg nastaje saznanje, naziva se percepcija ili opažanje. Opažanje možemo da zamislimo kao sočivo kroz koje posmatramo stvarnost. Pri tome, naša tendencija jeste da pretpostavimo da je način na koji percipiramo stvarnost tačan prikaz onoga što stvarnost zaista jeste. Međutim, to nije slučaj iz razloga što je sočivo kroz koje opažamo često iskrivljeno našim genetskim predispozicijama, prošlim iskustvima, prethodnim znanjem, emocijama, sopstvenim interesima, itd. Stvarnost, ili realnost, predstavlja nešto što stvarno postoji. Realnost predstavlja postojanje kao apsolutno i objektivno, i nije podložno ljudskim odlukama i konvencijama [1]. Dakle, percepcija nije stvarnost, ali ona to može postati.

Ljudi su oduvek težili tome da putem različitih nadražaja utiču na svoju percepciju i na taj način odu van granica svoje realnosti. Naravno, nisu se zadovoljili samo uspehom prilikom okupiranja njihovog glavnog čula – čula vida, već su želeli da taj doživljaj veštački kreiranog okruženja prošire i na ostala čula, kako bi to okruženje percipirali kao mnogo realnije. Morton Hajlig (eng. *Morton Heilig*) je 1962. godine izumeo *Sensoramu* (pogledati levu stranu slike 1). Ovaj uređaj je jedan od najranijih poznatih primera multi-senzorne tehnologije koji je uvlačio korisnika u veštački kreirano okruženje.

Sensorama je bio mehanički uređaj, koji se sastojao od stereoskopskog displeja u boji, ventilatora, emitera mirisa, stereo-zvučnog sistema i pokretne stolice. Simulirao je vožnju motociklom kroz Njujork koju je korisnik posmatrao putem displeja, a ostali elementi su bili aktivirani u odgovarajućem trenutku (npr. Oslobođanje mirisa izduvnih gasova kada se vozač (korisnik) približi autobusu) [2].

Sledeći uspešan projekat koji je istraživače odveo korak dalje u ovoj oblasti i njihovoj težnji za proširivanjem realnosti, bio je izum Ivana Saterlenda (eng. *Ivan Sutherland*). On je 1968. godine kreirao prvi displej koji se stavlja na glavu – HMD (eng. *Head Mounted Display*). Ovaj uređaj je bio toliko težak da je morao biti pričvršćen na plafonu i time je ograničavao korisnika da se slobodno kreće unokolo. Korisnik je ipak bio u mogućnosti da sporim pokretima glave razgleda veštački kreirano okruženje, koje je

predstavljalo kombinaciju veštački generisanih oblika i realnog okruženja. Sistem je bio primitivan i u pogledu korisničkog interfejsa i realizma. Ovaj uređaj je nazvan Damoklovim mačem (eng. *The Sword of Damocles*) [3] i prikazan je na desnoj strani slike 1.



Slika 1. Leva strana slike prikazuje Sensoramu, dok desna strana slike prikazuje *The Sword of Damocles*

Ovi izumi su bili prvi korak u razvoju tehnologije koja danas nesumnjivo predstavlja najbolji način za menjanje ljudske percepcije stvarnosti – virtuelnu realnost.

## 2. VIRTUELNA REALNOST

Termin virtuelne realnosti je oformljen od strane američkog računarskog naučnika Džarona Lanira (eng. *Jaron Lanier*) 1987. godine [4]. Virtuelna realnost predstavlja simulirano trodimenzionalno okruženje koje omogućava korisniku da ga istražuje i interaguje sa njim na način koji je približan realnosti kroz simulaciju njegovih čula, i time učini da se korisnik oseća kao da se nalazi u njemu. Virtuelno okruženje se kreira uz pomoć računarskog hardvera i softvera i ono može biti realistično ili imaginarno po svojoj prirodi u zavisnosti od njegove namene i tehnologije koja se koristi.

### 2.1. Primena

Osim što služi za zabavu i igranje video igara, VR je našao svoju primenu i u edukaciji, obučavanju osoblja, vizualizaciji i dr. Oblast kojoj pripada aplikacija kreirana za potrebe ovog istraživanja pripada arhitektonskoj vizualizaciji – okruženje koje prikazuje attribute predloženog arhitektonskog dizajna [5]. U kombinaciji sa VR tehnologijom, kreatori arhitektonskih projekata dobijaju povratne informacije od kupaca i pre nego što se projekat završi u cilju poboljšanja usluge. Kupac se može naći unutar projektovanog objekta, iskusiti njegove razmere i proporciju unutrašnjosti, odrediti da li je zadovoljan detaljima i slično.

### 2.2. Imersija i interakcija

Prilikom kreiranja virtuelnog okruženja, neophodno je obratiti pažnju na to da korisnik poveruje u to da se nalazi u tom okruženju. Subjektivni osećaj korisnika da se fizički nalazi u nefizičkom svetu se naziva imersija [6]. U zavisnosti od primene, zavisi i stepen imersije koji bi trebalo da se postigne kreiranjem VR aplikacije. Suština ovog efekta je da se korisnikova čula i um angažuju u procesu percepcije tog okruženja [7]. Korisnik je svestan da se nalazi u veštački kreiranom okruženju, međutim akcenat je stavljen na osećaj prisustva i iluziji da se nalazi u njemu. Osim dobro kreiranog virtuelnog okruženja, ono što je takođe potrebno da bi stepen imersije bio visok je sistem interakcije koji podržava mogućnost opažanja prostora celim telom (razgledanje predmeta sa različitih

strana, saginjanje kako bi se pogledalo ispod objekta, pružanje ruku, itd), što za sobom povlači potrebu za upotrebom HMD, kontrolera i zvučnika preko kojih korisnik dobija povratne informacije o svetu u kom se nalazi. HMD predstavlja stereo sistem ekrana koji korisnik nosi na glavi, koji prati korisnikove pokrete preko eksternih kamera (ukoliko ne postoje eksterni senzori) i prikazuje virtuelno okruženje [8]. Osim stereo sistema ekrana, sadrži i zvučnike. Kontroleri predstavljaju ručne uređaje koji korisnicima omogućavaju interakciju sa virtuelnim objektima i navigaciju u digitalnom okruženju [9].

Interakcija može varirati od samo posmatranja okruženja do interaktivnog menjanja istog, a različite tehnike interakcije omogućavaju korisniku da selektuje, manipuliše objektima i da se kreće po njemu [10]. Selekcija predstavlja akciju odabiranja elemenata iz datog skupa opcija, manipulacija predstavlja akciju menjanja digitalnih objekata, a navigacija predstavlja kretanje kroz virtuelne prostore o čemu će biti više reči u nastavku teksta.

### 2.3. Navigacija

Navigacija kroz prostor igra bitnu ulogu u korisnikovom doživljavanju virtuelnog okruženja. Od kako se pojavio pojam virtuelne realnosti, postoji potreba za prilagođavanjem i otkrivanjem novih i boljih tehnika navigacije. Tokom prethodnih godina, razvijene su mnogobrojne različite tehnike koje su se prilagođavale sistemu, njegovim mogućnostima, zahtevima postavljenih ciljeva i onome što odgovara korisnicima.

Bilo da se radi o aplikaciji zabavnog ili edukativnog karaktera, kretanje kroz to okruženje bi trebalo da bude intuitivno, efikasno i imersivno. Postoje različite tehnike kretanja i različite klasifikacije, i u zavisnosti od namene VR aplikacije zavisi i koja tehnika će biti upotrebljena. Međutim, činjenica da ove tehnike kretanja moraju biti prilagođene svakom specifičnom narativu, čini potragu za konačnom i pravom tehnikom daleko od kraja.

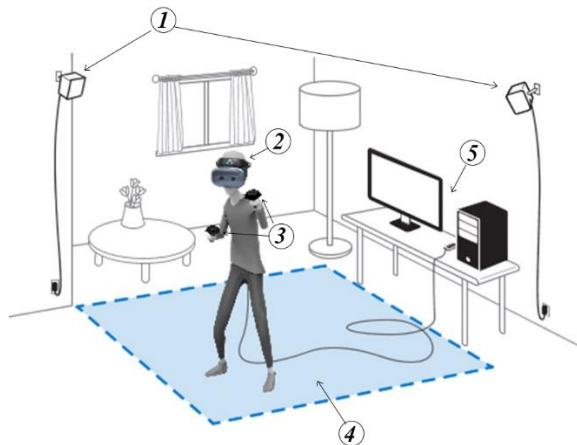
Dugogodišnjim istraživanjem, izveden je zaključak da prirodno kretanje korisnika u okviru virtuelne realnosti daleko bolje rešenje u odnosu na kretanje uz pomoć kontrolera (teleportacija i sl), u smislu lakoće upotrebe, prirodnosti i prisustva.

Ova tehnika kretanja zove se *room-scale* tehnika i predstavlja kretanje koje je 1:1 preneseno iz realnog u virtuelni svet. U okviru ove tehnike, korisnik koristi HMD i kontrolere preko kojih interaguje sa okruženjem u kom se nalazi, a praćenje se odvija preko eksternih senzora ili kamera.

Glavna prednost ove tehnike jeste to što je fizički imersivna i daje korisniku realniji osećaj prisustva u virtuelnom svetu, jer se njegovo kretanje verodostojno prenosi u svet koji opaža.

Prilikom upotrebe ovakve postavke, neophodno je obratiti pažnju na nekoliko faktora. Realni prostor koji se prati mora biti dovoljno veliki kako bi se korisnik mogao kretati slobodno bez nekih većih fizičkih restrikcija. Takođe, trebalo bi obratiti pažnju da je pod čist i da nema fizičkih prepreka koje bi mogle da spotiču korisnika. Prostor mora biti dobro osvetljen zbog praćenja i po mogućnosti bez refleksivnih površina koje bi mogle da zbunjuju trekere.

Na slici 2 prikazana je ova tehnika, gde su brojem 1 obeleženi eksterni senzori za praćenje pokreta, broj 2 predstavlja HMD, broj 3 kontrolere, broj 4 praćeni prostor, a broj 5 predstavlja računar sa kojim je VR oprema povezana.



Slika 2. Room-scale tehnika navigacije

Dakle, iako je ovo najbolja tehnika navigacije koja trenutno postoji, njeno glavno ograničenje je to što kreirani virtuelni prostor ne može biti veći od realnog prostora koji se prati.

Potencijalno rešenje za otklanjanje ove prepreke jeste povećavanje percipirane brzine kretanja korisnika unutar virtuelnog okruženja, što bi omogućilo brzo i efikasno istraživanje virtuelnog okruženja većih dimenzija.

U radu *I'm a Giant: Walking in Large Virtual Environments at High Speed Gains* [11], P. Abtahi i njegove kolege su pokušali da otklone ovu prepreku uz taj pristup, međutim, rezultati nisu bili dobri iz razloga što je povećana brzina negativno uticala na imersiju i unutrašnji osećaj korisnika.

Osim ovog pristupa, oni su ovo ograničenje pokušali i da otklone uz pomoć skaliranja avatara, omogućavajući korisniku da malim korakom iz realnog sveta pređe veliku distancu u virtuelnom okruženju. Istraživanje je izvršeno na mapi grada, krećući se po dugačkoj ulici kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Mapa grada na kojoj je izvršeno testiranje skaliranja avatara

Iz ovog istraživanja je izveden zaključak da je ovo dobro rešenje kada se korisnik kreće po većoj mapi, poput dugačke ulice grada kao što je prikazano na slici 3. Međutim, da li bi ova tehnika bila dovoljno dobro rešenje za predstavljanje manje mape, odnosno za potrebe arhitektonske vizualizacije, pri čemu neće negativno uticati na imersiju?

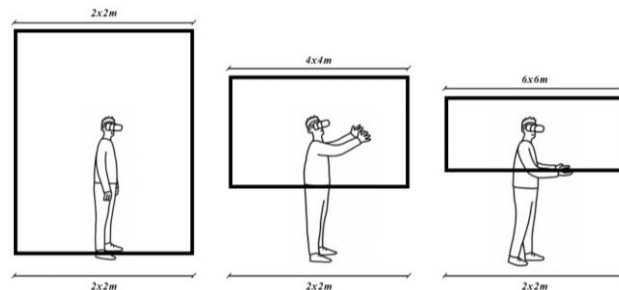
## 2. REZULTATI I ANALIZA PREDLOŽENOG REŠENJA

Za potrebe ovog istraživanja, kreirana su tri virtuelna okruženja, dimenzija 2x2, 4x4 i 6x6 metara. Okruženja su potom skalirana tako da stanu u okvire praćenog prostora od 2x2m (pogledati sliku 4).



Slika 4. Tri kreirana virtuelna rešenja

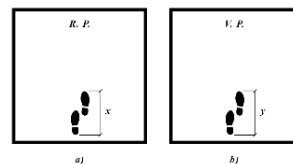
Obzirom da su okruženja dimenzija 4x4m i 6x6m skalirana, visinska razlika između poda i plafona prostorija je samim tim i daleko manja od originalnih, te je bilo neophodno i pomeriti prostore po z-osi, kako bi se prostori našli u visini očiju korisnika. Odnos korisnika i skaliranih virtuelnih prostora je prikazan na slici 5.



Slika 5. Odnos korisnika i skaliranih virtuelnih prostora

U ispitivanju je učestvovalo deset osoba, različitih polova i starosnih dobi. Pre eksperimenta im je objašnjen cilj ovog eksperimenta, kao i način na koji će interatovati sa prostorom. Korisnici su proveli određeno vreme u svakom od kreiranih okruženja, i na osnovu njihovih odgovora na postavljena pitanja i analizom njihovog ponašanja, izvedeni su određeni zaključci.

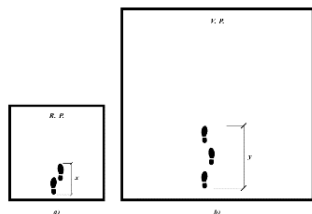
Prvi prostor koji im je bio prezentovan je prostor dimenzija 2x2m. Jedan korak iz realnog sveta je prenesen kao jedan korak u virtuelno okruženje, obzirom da nije bilo potrebe da se ovaj prostor skalira (slika 6). Interakcija sa objektima je bila intuitivna, kao i kretanje po prostoru. Nivo imersije je ocenjen kao 5/5.



Slika 6. Jedan korak iz realnog prostora jednak je jednom koraku u virtuelnom prostoru

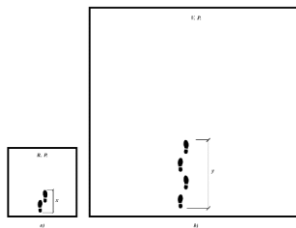
Nakon toga, predstavljen im je prostor dimenzija 4x4m. Jedan korak iz realnog prostora je prenesen kao dva koraka unutar virtuelnog prostora, obzirom da je ovaj prostor skaliran na 1/2 (slika 7). Interakcija sa objektima je i dalje bila intuitivna, ali se osećaj imersije smanjio jer je prostor skaliran. Visinska razlika između poda i plafona je u ovom slučaju bila duplo manja. Pod okruženja se više nije nalazio u ravni korisnikovih stopala, već u ravni njegovih kukova.

Plafon se i dalje nalazio iznad korisnika, ali je u ovoj situaciji korisnik bio u mogućnosti da ga dohvati rukom. Pri tome, činjenica da je jednim korakom korisnik prelazio mnogo veću putanju u virtuelnom svetu, učinila je da se nivo imersije smanji. Imersija je ocenjena kao 3.4/5. Na pitanje da procene dimenzije prostora, korisnici su se služili poznatim dimenzijama, odnosno iskoristili su činjenicu da su vrata visine 2m. Osam od deset korisnika je pretpostavilo da se radi o prostoriji dimenzija 4x4m, dok je dva od deset korisnika reklo da se radi o prostoriji 3x3m.



Slika 7. Jedan korak iz realnog sveta predstavlja dva koraka u virtuelnom svetu

Na kraju, korisnicima je prikazan glavni prostor, dimenzija 6x6m. Jedan korak iz realnog sveta predstavlja tri koraka u ovom virtuelnom svetu (slika 8). Razlika između ovog i prethodnih okruženja jeste ta da ovaj prostor sadrži i unutrašnje zidove, obzirom da predstavlja nekretninu koja se prezentuje kupcu, što je dodatno zbunjivalo korisnike pri kretanju. Interakcija sa objektima je i dalje bila intuitivna, s tim da je imersija slična kao i u prethodnom primeru.



Slika 8. Jedan korak iz realnog sveta predstavlja tri koraka u virtuelnom svetu

Visinska razlika između poda i plafona je za trećinu smanjena, te se pod nalazio u nivou grudnog koša korisnika, dok im je plafon bio dvadesetak centimetara iznad glave. Posmatrajući korisnike pri kretanju kroz dati prostor, primećeno je da su se korisnici definitivno osećali kao deo tog prostora. Plašili su se da ne udare glavom u luster koji je visio sa plafona, pravili su minijaturene korake kako se ne bi „sudarili“ sa nameštajem koji ih okružuje i skupljali bi ramena pri prolasku kroz uzana vrata ili bi se rotirali kako bi prošli bočno kroz ista. Kao glavni razlog koji su naveli da je negativno uticao na imersiju jeste taj da su se osećali ogromno u poređenju sa prostorom, odnosno kao da su se nalazili u kućici za lutke. Još jedan od negativnih efekata koji su korisnici naveli, jeste taj da ukoliko bi se našli blizu nekog od unutrašnjih zidova, pri čemu bi bili okrenuti ka unutrašnjosti prostorije u kojoj se nalaze, rotiranjem glave za određeni ugao bi se odjednom našli u drugoj prostoriji. Primer za to je kada su se korisnici nalazili u uzanom hodniku, pri čemu malom rotacijom glave i pomeranjem bi prošli kroz zid i našli bi se u kupatilu. Imersija je ocenjena kao 3.2/5.

Na pitanje da procene dimenzije prostora, korisnici su se i u ovom slučaju koristili poznatim dimenzijama i iskustvom iz realnog života. Sedam od deset osoba je pretpostavilo da

se radi o stanu dimenzija 6x6m, dve osobe su pretpostavile da su dimenzije 7x7m, dok je jedna osoba pretpostavila da se ipak radi o prostoriji 8x8m.

### 3. ZAKLJUČAK

Izvođenjem ovog eksperimenta, izveden je zaključak da ovaj pristup ipak negativno utiče na imersiju. U smislu prisustva u prostoru, eksperiment je zadovoljio uslove obzirom da su korisnici pazili da ne udare u objekte koji ih okružuju i pazili kako prolaze između njih. Međutim, činjenica da su se osećali kao divovi u skaliranom prostoru, kao i iznenadno prolaženje glavom kroz zidove prostorija pri minimalnom pomeranju i rotiranju glave, učinila je da se nivo imersije drastično smanji. Iako su se korisnici složili da bi na ovaj način mogli uspešno da istraže arhitektonsko rešenje i odrede da li im se raspored nameštaja, kao i vrsta nameštaja i primenjeni materijali dopadaju, ipak kretanje je bilo ograničeno i praćeno prethodno navedenim manama.

Iako je *room-scale* tehnika navigacije kroz prostor najbolje rešenje za istraživanje virtuelnih prostora, u kombinaciji sa skaliranim prostorima ona ipak ne daje dobre rezultate. Najbolji rezultati su ostvareni kada je arhitektonsko rešenje u realnim dimenzijama i proporcijama kao i praćeni prostor, međutim u tom slučaju ga nije uvek moguće istražiti u celosti primenom ove tehnike.

### 4. LITERATURA

- [1] <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-power-prime/201908/perception-is-not-reality> (pristupljeno u februaru 2023)
- [2] <https://www.engadget.com/2014-02-16-morton-heiligs-sensorama-simulator.html> (pristupljeno u decembru 2022)
- [3] [https://www.researchgate.net/figure/The-Sword-of-Damocles-by-Ivan-Sutherland\\_fig2\\_291516650](https://www.researchgate.net/figure/The-Sword-of-Damocles-by-Ivan-Sutherland_fig2_291516650) (pristupljeno u decembru 2022)
- [4] [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-08234-9\\_169-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-08234-9_169-1) (pristupljeno u martu 2023)
- [5] <https://vilmate.com/blog/virtual-reality-for-architecture-and-design/> (pristupljeno u martu 2023)
- [6] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/immersive-virtual-reality-immersive-VR> (preuzeto u martu 2023)
- [7] M. Ekros, „*Modern Virtual Reality – and the effects of affecting human senses to increase immersion*“, Uppsala University, Sweden, 2014.
- [8] T. Shibata, „*Head Mounted Display*“, Waseda University, Japan, 2002.
- [9] <https://circuitstream.com/blog/vr-controllers-the-way-of-interacting-with-the-virtual-worlds> (preuzeto u martu 2023)
- [10] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849322000875> (preuzeto u martu 2023)
- [11] P. Abtahi, et al, „*I'm a Giant: Walking in Large Virtual Environments at High Speed Gains*“, 2019.

### Kratka biografija:



**Jovana Tešić** rođena je u Bačkoj Topoli 1997. godine. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2020. godine, na smeru Animacija u inženjerstvu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Navigacije kroz virtuelne prostore odbranila je u junu 2023. godine.

kontakt: [tesicjovana540@gmail.com](mailto:tesicjovana540@gmail.com)