

**PROCES RAZVOJA VIRTUELNOG SVETA SA PROSTORNIM ZVUKOM U JUNITI POGONU****DEVELOPING A VIRTUAL WORLD WITH SURROUND SOUND IN UNITY ENGINE**Dušan Cvejić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ANIMACIJA U INŽENJERSTVU**

**Kratak sadržaj** – Rad obuhvata kreiranje primera virtuelnog okruženja obogaćenog prostornim zvukom, primenom Juniti pogona. Kratak uvod o virtuelnoj realnosti i prostornom zvuku daje neku osnovu čitaocu za izradu praktičnog projekta. Na primeru je pokazan jedan od pristupa za kreiranje neimerzivnog virtuelnog okruženja i data su rešenja na potencijalne probleme koji se mogu javiti prilikom izrade projekta.

**Ključne reči:** *Virtuelna realnost, prostorni zvuk, 3D zvuk, juniti*

**Abstract** – *This paper includes the creation of an example of a virtual environment enriched with spatial sound, using the Unity engine. A brief introduction to virtual reality and surround sound provides some basis for the reader to create a practical project. The example shows one of the approaches for creating a non-immersive virtual environment and provides solutions to potential problems that may arise during project development.*

**Keywords:** *Virtual reality, spatial sound, 3D sound, Unity*

**1. UVOD**

Tehnologija virtuelne realnosti danas je široko korišćena u nauci, tehnici, inženjerstvu i matematičkim oblastima. Cilj virtuelne realnosti je da ostvari korisniku (koliko god je moguće) osećaj kao da se on fizički nalazi u kompjuterski generisanom okruženju.

Da bi se korisniku što detaljnije dočarala virtuelna realnost, potrebno je zavarati sva njegova čula, jer čovekovu percepciju stvarnosti omogućavaju njegova čula. U teoriji, doživljaj realnosti je jedinstven za svakog ponosob, ali da bi je svaki korisnik mogao iskusiti, potrebni su odgovarajući softver i hardver. Softver iz dana u dan napreduje, pa se danas može naći velik broj aplikacija, na internetu, za kreiranje virtuelnog okruženja. Što se tiče hardvera, potrebne su VR naočare, 3D slušalice i ostala dodatna oprema (rukavice sa senzorima, traka za trčanje) koji stvaraju osećaj prisustva u virtuelnom svetu.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Ivetić, red. prof.**

**2. POJAM VIRTUELNE REALNOSTI**

Ova tehnologija je napravljena da omogući ljudima lakšu obradu informacija. Virtuelna realnost pruža drugačiji, dinamičniji i neposredan način da se vidi i doživi informacija. Virtuelni svet je interaktivan i realizuje se preko akcija korisnika. U virtuelnoj realnosti korisnik ima osećaj imerzije, odnosno osećaj perceptualizacije i psihološki osećaj postojanja u digitalnom okruženju predstavljenom njegovim čulima.

Za virtuelnu realnost može se reći da je digitalizovano iskustvo, koje se može simulirati po realnom modelu ili potpuno razlikovati od stvarnog modela sveta. Termin virtuelna realnost se odnosi na kompjuterski generisano trodimenzionalno okruženje. Da bi korisnik mogao iskusiti virtuelnu realnost, potrebna mu je oprema poput VR naočara i/ili slušalica.

Po definiciji, virtuelna realnost je:

- *Krueger 1991* – Izraz virtuelna realnost se najčešće odnosi na trodimenzionalnu realnost koja je implementirana preko stereo naočara i rukavica za virtuelnu realnost.
- *Coates 1992* – Virtuelna realnost predstavlja elektronske simulacije okruženja koje se doživljavaju primenom specijalnog *headset*-a, na principu naočara i odoče, koji omogućavaju krajnjem korisniku interakciju sa realističnim trodimenzionalnim svetom.
- *Greenbaum 1992* – Virtuelna realnost je alternativni svet šaćinjen od kompjuterski generisanih slika koje reaguju na ljudsko kretanje. Ovako simulirana okruženja su obično posećena pomoću specijalnog hardvera, pod kojim se smatraju stereofonske video naočare i rukavice sa optičkim vlaknima.

Virtuelna realnost je novi tip kompjuterskog alata koji prevladava u naučnoj vizuelizaciji. Naučna vizuelizacija podrazumeva grafičko renderovanje kompleksnih podataka, na način koji doprinosi da relevantni aspekti i odnosi unutar podataka budu istaknutiji gledaocu.

No, reč „vizuelizacija“ je previše uzak pojam kad se posmatra virtuelna realnost. Prikladnije je primeniti reč „perceptualizacija“, jer zadatak virtuelne realnosti nije samo da zavara čulo vida, već i čulo sluha i čulo dodira.

Perceptualizacija koja uključuje čulo dodira može sadržati taktilne povratne informacije (pasivni dodir, osećanje površina i tekstura) i heptičke povratne informacije (aktivni dodir, gde postoji osećaj povratne informacije sile, pritiska i otpora).

Postoje tri ključne komponente koje čine virtuelnu realnost:

- 1) Navigacija – osnovni alat za formiranje virtuelnog okruženja. Zadatak navigacije je da dozvoli korisniku kretanje u virtuelnom prostoru.
- 2) Imerzija – daje korisniku osećaj i prisustvo, kao da je u realnom svetu. Osećaj imerzije se najbolje oseti u interakciji sa 3D objektima i kroz navigaciju virtuelnog okruženja.
- 3) Interakcija – dešava se između korisnika i objekata u virtuelnom svetu, u cilju davanja osećaja korisniku, kao da je ta virtuelna interakcija realna.

Što se tiče realističnosti virtuelnog okruženja, potrebno je uzeti u obzir sledeće stavke:

- Trodimenzionalni u odnosu na dvodimenzionalni (planarni) pogled – trodimenzionalni pogled potencijalno nudi realističniji pogled na geografiju samog okruženja u odnosu na dvodimenzionalni koji prikazuje samo konturu mape.
- Dinamički displej u odnosu na statički – dinamički displej izgleda realističnije nego serija statičnih slika istog materijala.
- Interakcija zatvorene petlje (interaktivna ili usmerena korisnicima) u odnosu na interakciju otvorene petlje – Realističniji model je model interakcije zatvorene petlje, gde korisnik ima potpunu kontrolu nad aspektima okruženja koje posmatra ili posećuje. U ovom slučaju korisnik igra ulogu i aktivnog navigatora i posmatrača.
- Iznutra-spolja referentni okvir (referentno u odnosu na ego) u odnosu na spolja-iznutra referentni okvir (referentno u odnosu na sliku sveta) – Realističniji je iznutra-spolja referentni okvir, u kome se slika sveta na displeju posmatra iz perspektive sa tačke gledišta ega korisnika.
- Multimodalna interakcija (poboljšano čulno iskustvo) – virtuelna okruženja koriste različite tehnike za unos podataka, uključujući prepoznavanje govora i pokreta, primenom ili rukavica sa sensorima ili kamere.

No i pored prethodnih stavki, kako bi se još detaljnije definisali elementi koji su veoma značajni u kreiranju virtuelne realnosti, potrebna su sledeća dva elementa:

- (1) Živopisnost virtuelnog okruženja – reprezentacija virtuelnog okruženja, koja je definisana preko širine (vidljivost, čujnost, dodir, miris) i dubine (kvalitet, koliko okruženje deluje uverljivo).
- (2) Interaktivnost – ograničenja do kojih korisnik može da menja formu i sadržaj postojećeg okruženja definisana su brzinom (brzina ažuriranja, vremensko kašnjenje) i mapiranjem (tekst, govor, gestovi, pogled, kompleksni paterni ponašanja).

### 3. TIPOVI VIRTUELNE REALNOSTI

*Brilov* model sugerise da je potrebno napraviti podelu u zavisnosti od okruženja virtuelne realnosti u koje korisnik uranja, pa je tako podeljen na devet tipova virtuelnog okruženja:

- (1) Potpuno imerzivno virtuelno okruženje,
- (2) Poluimerzivno virtuelno okruženje,
- (3) Neimerzivno virtuelno okruženje,
- (4) Augmentovana realnost,
- (5) Svet ogedala,
- (6) *Valdov* svet,

- (7) Svet komore,
- (8) Simulator okruženja kabine,
- (9) Sajberspejs – Kolaborativna virtuelna realnost.

Neke od kategorija *Brilovih* podela virtuelne realnosti su fizički imerzivne, dok druge nisu. Ključna karakteristika svih ovih sistema virtuelne realnosti je da obezbedi okruženje koje stvara računar ili neki drugi medij u kome korisnik ima osećaj prisustva, odnosno da je fizički, perceptivno i psihološki uronjen u virtuelni svet.

Da bi se istražio virtuelni svet, korisnik ne mora biti potpuno uronjen u njega. Kako postoji direktna (*first-person*) interakcija, tako je moguće istražiti virtuelni svet i kao *second-person* ili *third-person*.

### 4. ZVUK U VIRTUELNOJ REALNOSTI

Bez zvuka, virtuelna realnost je potpuno nerealna. Čak je nerealnija od gledanja nekog filma ili serije bez zvuka, jer je zvuk jedan od ključnih elemenata u imerziji. Da bi korisnik mogao osetiti što potpuniju imerziju, potrebno je napraviti i adekvatan zvuk virtuelnog okruženja u kom se nalazi. Da bi se obezbedila potpuna imerzija, prostorni zvuk mora imati karakteristike tog prostora.

Jedan od načina da se kreira imerzivno zvučno polje je korišćenje velikog broja zvučnika raspoređenih oko korisnikove glave. Reprodukijom zvuka u ovakvom okruženju, zvuk se raspoređuje po zvučnicima i korisnik lakše određuje poziciju odakle je zvuk došao.

#### 4.1. Stereo zvuk

Ukoliko se koristi dva zvučnika (*stereo*), percipirana pozicija izvora zvuka može da se pomeri bilo gde duž horizontalne ravni između dva zvučnika. Zvuk se može pomeriti na levu stranu povećanjem nivoa amplitude na levom zvučniku, a smanjenjem iste na desnom.

Ako se zvuk jednako reprodukuje, sa istim nivoom amplitude kroz oba zvučnika, zvuk koji dolazi do korisnika će se čuti kao da dolazi direktno između dva zvučnika.

Ova tehnika amplitudnog pomeranja, za pomeranje izvora zvuka između zvučnika, može se primeniti čak i na veći broj zvučnika, u cilju rekreiranja trodimenzionalnog zvuka okruženja. Mana je što mali broj ljudi ima pristup velikom broju zvučnika raspoređenih u sferu, koji bi trebali reprodukovati dato virtuelno okruženje. Većina sistema virtuelne realnosti su napravljeni za ličnu tj. kućnu upotrebu, i za reprodukciju zvuka oslanjaju se na slušalice.

Tu nastaje pitanje kako onda reprodukovati imerzivni zvuk preko para slušalica u svih 360° zvučne sfere?

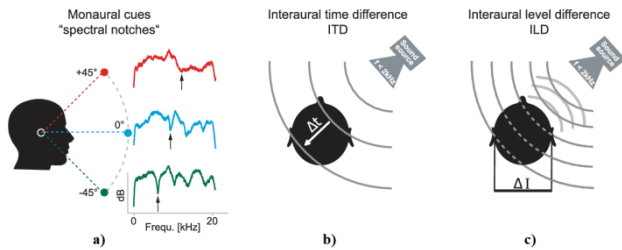
#### 4.2. Prostorni zvuk

Da bi korisnik imao potpuni osećaj imerzije i kako bi mu se usmerila pažnja u 360 videu ili virtuelnoj realnosti, primenjuje se prostorni zvuk. Prostorni zvuk čini zvuk koji daje korisniku osećaj dimenzionalnosti zvuka, kao i mogućnost procene lokacije izvora zvuka, što je uverljivije moguće.

Da bi se lokalizovali zvukovi u prostoru, oslanja se na binauralne signale. Mozak uzima informacije o tim signalima, nivou, tajmingu i ukupnom zvuku koji stiže do levog uha i upoređuje ih sa zvukom koji dolazi do desnog uha. Razlika između zvukova u oba uha pomaže da se utvrdi gde se zvuk nalazi u odnosu na poziciju glave.

Na slici 1 su prikazane dve vrste binauralnih signala koje mozak može da koristi:

- 1) Interauralna razlika u nivou (*ILD*) – zvuk je putovao dalje da bi stigao do levog uha, što implicira da je taj zvuk tiši, jer se gubi više energije.
- 2) Interauralna vremenska razlika (*ITD*) – zvuk stiže od desnog uha za manje od milisekunde pre nego što stigne u levo uho.



Slika 1. a) Monauralni zvuk; b) ITD; c) ILD.

Svi ovi binauralni lokalizovani signali mogu se snimiti primenom *Head Related Transfer* funkcije (*HRTF*). Miksovanjem *HRTF* sa novim izvorom zvuka, slušaocu se može dati utisak o zvuku koji se nalazi bilo gde u prostoru oko njegove glave. Tačnije, potrebno je koristiti dva *HRTF*-a (binauralni par), jedan za levo i jedan za desno uho, kako bi iluzija bila stvarna.

#### 4.3. Head-related funkcija prenosa

*Head-related* funkcija prenosa (*HRTF*), je funkcija koja karakteriše kako uho prima zvuk iz neke tačke u prostoru. Kada zvuk dođe do slušaoca, veličina i oblik glave, ušiju, ušnog kanala, nosne i usne duplje, svi oni transformišu zvuk i utiču (pojačavajući neke frekvencije, a smanjujući druge) na to kako se zvuk percipira.

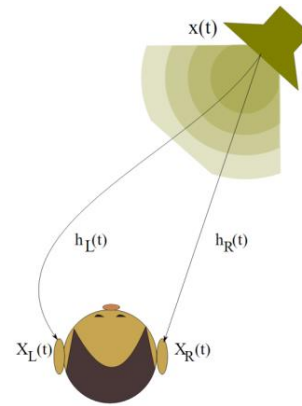
Ljudi procenjuju lokaciju izvora zvuka uzimajući signale (*cue*) iz svakog uha zasebno (monauralni signali) i porede ih sa signalima koji se dobiju u oba uha (binauralni signali). U ovim signalima moguće je osetiti vremensku razliku dolaska zvuka do uha, kao i razliku intenziteta zvuka. Monauralni signali se dobijaju interakcijom izvora zvuka i ljudske anatomije, gde originalni izvor zvuka biva modifikovan pre nego što stigne do uha. Ove modifikacije podrazumevaju kodiranje izvorne lokacije zvuka i mogu se snimiti primenom impulsnog odgovora, koji zavisi od lokacije izvora i lokacije uha. Za ovaj impulsni odgovor se koristi terminologija *head-related impulse response* (*HRIR*).

Konvolucija proizvoljnog izvornog zvuka i *HRIR* konvertuje zvuk koji slušalac čuje, tako da slušalac čuje reprodukciju zvuka sa izvorne lokacije, a uho slušaoca se nalazi na lokaciji prijemnika. *HRIR* se koristi u kreiranju virtuelnog zvuka okruženja.

*HRTF* za levo i desno uho (izraženo preko *HRIR*) opisuje filtriranje izvora zvuka  $x(t)$  pre nego što se percipira u levom i desnom uhu kao  $x_L(t)$  i  $x_R(t)$  (Slika 2).

#### 4.4. Lokalizacija zvuka u virtuelnom prostoru

Osnovna pretpostavka u kreiranju virtuelnog audio prostora jeste da ako su akustički talasi prisutni u obe bubne opne slušaoca isti, i pod slušalicama i u slobodnom prostoru, onda bi osećaj slušaoca takođe trebalo da bude isti.



Slika 2. *HRTF* za levo i desno uho.

Obično, zvukovi generisani iz slušalica percipiraju se kao da im je izvor zapravo u glavi. U virtuelnom zvučnom prostoru slušalice bi trebale imati mogućnost da eksteralizuju zvuk.

Koristeći *HRTF*, zvuk može biti pozicioniran u prostoru koristeći sledeći metod:

Neka  $x_1(t)$  predstavlja električni signal koji daje zvučnik i  $y_1(t)$  predstavlja signal koji prima mikrofona unutar bubne opne slušaoca. Isto tako neka  $x_2(t)$  predstavlja električni signal koji daju slušalice, a  $y_2(t)$  predstavlja odgovor mikrofona na signal. Cilj virtuelnog zvučnog prostora je da odabere  $x_2(t)$  tako da  $y_2(t) = y_1(t)$ . Primenom *Furije-ove* transformacije na ove signale, dolazi se do sledeće dve jednačine:

$$y_1 = x_1 L F M \quad (1)$$

$$y_2 = x_2 H M \quad (2)$$

gde je  $L$  funkcija prenosa zvučnika u slobodnom polju,  $F$  je *HRTF*,  $M$  predstavlja funkciju prenosa mikrofona, a  $H$  je "od slušalice do uha" prenosna funkcija (*HpTF*).

Izjednačavanjem  $y_1$  i  $y_2$  dobija se:

$$x_2 = x_1 L F / H \quad (3)$$

dakle, može se zaključiti da je funkcija prenosa:

$$T = L F / H \quad (4)$$

Stoga, teoretski, ako  $x_1(t)$  prođe kroz ovaj filter i rezultujući  $x_2(t)$  se reprodukuje na slušalicama, u bubnoj opni bi se trebalo proizvesti isti signal. Pošto se filter primenjuje samo na jedno uho, potrebno je odraditi isto i za drugo uho.

Ovaj proces se ponavlja za razne lokacije u virtuelnom okruženju, kako bi se kreirao niz *HRTF* funkcija, za svaku poziciju, primenom *Nikvistovog* kriterijuma - frekvencija uzorkovanja mora biti dvostruko veća od najviše frekvencije date funkcije ili signala.

$$f_s \geq 2 f_{max} \quad (5)$$

### 5. KREIRANJE NEIMERZIVNOG OKRUŽENJA I PROSTORNOG ZVUKA

Za kreiranje virtuelnog okruženja korišćen je *Unity 2019*, dok je za kreiranje 3D modela odabran *3ds Max 2021*. Najkompatibilniji format između ova dva programa je *.gltf* format. Pošto *3ds Max* nema opciju eksportovanja u *.gltf* format, potrebno je instalirati *Babylon.js plug-in*, koji se može besplatno preuzeti sa linka<sup>[8]</sup>.

Takođe, prilikom prevlačenja *.gltf* fajla u *Unity* nastaje problem, jer *Unity* ne prepoznaje *.gltf* format, i samim tim sprečava učitavanje modela. Rešenje za ovaj problem je vrlo jednostavno. U *Unity* je potrebno importovati paket za prepoznavanje *.gltf* fajlova.

Paket se može besplatno preuzeti sa linka [9].

Instalacija ovog paketa je vrlo jednostavna. Kreiranjem projektu je potrebno dodati ovaj paket u asete. To se radi preko: *Assets* → *Import Package* → *Custom Package...*

Nakon ovog se može početi sa izradom projekta. Kad se ubace svi modeli u scenu, ako bi se pustila igra na *Play*, nikakva radnja se neće desiti. To je zato što nisu podešene kontrole za kretanje kroz virtuelni prostor.

Dakle, potrebno je podesiti kontrole karaktera. Zamisao za ovaj zadatak je da bude igra sa pogledom iz prvog lica, pa se za karaktera odabira kamera. Pošto je u pitanju kretanje kroz virtuelni prostor, za kontrole je primenjen *Character Controller*.

Kontrole za kretanje karaktera po prostoru su urađene preko dve skripte (Listing 1 i Listing 2).

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class MouseLook : MonoBehaviour
{
    public float mouseSensitivity = 100f;
    public Transform playerBody;
    float xRotation = 0f;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        float mouseX = Input.GetAxis("Mouse X") * mouseSensitivity * Time.deltaTime;
        float mouseY = Input.GetAxis("Mouse Y") * mouseSensitivity * Time.deltaTime;

        xRotation -= mouseY;
        xRotation = Mathf.Clamp(xRotation, -90f, 90f);

        transform.localRotation = Quaternion.Euler(xRotation, 0f, 0f);
        playerBody.Rotate(Vector3.up * mouseX);
    }
}
```

Listing 1. *MouseLook* skripta.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class PlayerMovement : MonoBehaviour
{
    public CharacterController controller;

    public float speed = 12f;
    public float gravity = -9.81f;

    public Transform groundCheck;
    public float groundDistance = 0.4f;
    public LayerMask groundMask;

    Vector3 velocity;
    bool isGrounded;

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        isGrounded = Physics.CheckSphere(groundCheck.position, groundDistance, groundMask);

        if (isGrounded && velocity.y < 0)
        {
            velocity.y = -2f;
        }

        float x = Input.GetAxis("Horizontal");
        float z = Input.GetAxis("Vertical");

        Vector3 move = transform.right * x + transform.forward * z;
        controller.Move(move * speed * Time.deltaTime);

        velocity.y += gravity * Time.deltaTime;
        controller.Move(velocity * Time.deltaTime);
    }
}
```

Listing 2. *PlayerMovement* skripta.

Zvučni izvori su kreirani tako što su elementima na sceni (koji predstavljaju izvore zvuka) dodati *Audio Source*. Promenom *Spatial Blend* na 3D je dobijen 3D zvuk, a primenom logaritamske krive je podešena funkcija amplitude u zavisnosti od distance. Takođe, dodati su i zona reverberacije i eho, kako bi zvuk bio realniji.

## 6. ZAKLJUČAK

Virtuelna realnost nudi mnogo potencijala, ali isto toliko ima i implikacija, jer je idalje u pitanju nova tehnologija koja je podložna promenama i širenju u cilju razvoja. Pošto je virtuelna realnost kao posebna kategorija obrazovne tehnologije stara manje od jedne decenije, istraživanja i razvoj su u veoma ranoj fazi.

Brza tehnološka poboljšanja znače da će postojeća istraživanja koja se tiču virtuelne realnosti morati biti pažljivo procenjena, jer mogu brzo da zastare sa pojavom poboljšanih tehnoloških mogućnosti, kao što su grafička rezolucija za vizuelne ekrane, povećana brzina obrade podataka, ergonomska poboljšanja, lakši dizajn interfejsa i veća mobilnost. Programi istraživanja i razvoja su u toku širom sveta, radi proučavanja potencijala tehnologija i aplikacija virtuelne realnosti, kako bi se oblast virtuelne realnosti mogla primenjivati (a i priuštiti novčano) ne samo u raznim industrijskim oblastima, već i privatno.

Kako virtuelna realnost evoluira i napreduje, to će više izazova imati i audio produkcije, da podstiču inovativniji pristup virtuelnom zvuku. Uloga audio sadržaja u virtuelnoj realnosti se možda neće mnogo promeniti, ali način na koji je prikazan doživljaj korisnicima bi se mogao proširiti u bliskoj budućnosti.

## 7. LITERATURA

- [1] [https://www.it.uu.se/edu/course/homepage/igs/ht06/lect/F1\\_igs\\_intro\\_vr.pdf](https://www.it.uu.se/edu/course/homepage/igs/ht06/lect/F1_igs_intro_vr.pdf) (pristupljeno u martu 2022.)
- [2] <https://learn.g2.com/virtual-reality> (pristupljeno u martu 2022.)
- [3] [https://thesai.org/Downloads/Volume8No6/Paper\\_10-Environments and System Types of Virtual Reality.pdf](https://thesai.org/Downloads/Volume8No6/Paper_10-Environments and System Types of Virtual Reality.pdf) (pristupljeno u martu 2022.)
- [4] <http://members.aect.org/edtech/ed1/15/index.html> (pristupljeno u martu 2022.)
- [5] <https://www.futurelearn.com/info/courses/creating-the-amazing-engineering-the-future/0/steps/65304> (pristupljeno u martu 2022.)
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Head-related\\_transfer\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Head-related_transfer_function) (pristupljeno u martu 2022.)
- [7] <https://usv.edu/blog/virtual-reality-vr-sound-importance/> (pristupljeno u martu 2022.)
- [8] [https://doc.babylonjs.com/extensions/Exporters/3DS\\_Max](https://doc.babylonjs.com/extensions/Exporters/3DS_Max) (pristupljeno u martu 2022.)
- [9] <https://github.com/ousttrue/UniGLTF> (pristupljeno u martu 2022.)

### Kratka biografija:



**Dušan Cvejić** rođen je u Novom Sadu 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarska grafika odbranio je 2022. god.

kontakt: [dusan.cvejic16@gmail.com](mailto:dusan.cvejic16@gmail.com)