

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 959

**Aplikacija za interaktivnu pomoć
penjačima po stijenama uporabom
proširene stvarnosti**

Adrian Cvijanović

Zagreb, lipanj 2025.

SADRŽAJ

1.	Uvod	1
2.	Testiranje i vrednovanje rješenja	3
2.1.	Metodologija testiranja	3
2.2.	Rezultati i analiza funkcionalnosti	4
2.3.	Analiza performansi i uočenih problema	6
3.	Zaključak	11
3.1.	Sažetak ostvarenih rezultata	11
3.2.	Smjernice za budući razvoj	11
	Literatura	12

1. Uvod

Digitalna tehnologija obuhvaća gotovo sve aspekte ljudskog života, od komunikacije, poslovanja do zabave i znanja. Rekreativne aktivnosti i sportovi koji su se oslanjali na fizičku opremu i materijale sve više usvajaju digitalne alate koji proširuju mogućnosti i količinu informacija koje korisnici mogu dobiti. Sportsko penjanje, kao aktivnost koja spaja fizičku spremnost i boravak u prirodi, predstavlja primjer aktivnosti koja se može proširiti digitalnim alatima.

Sportsko penjanje i sroдна disciplina *bouldering* posljednjih su desetljeća doživjeli eksponencijalni rast u popularnosti, privlačeći sve veći broj zainteresiranih ljudi kako u specijalizirane penjačke dvorane, tako i na stijene u prirodi. Na Olimpijskim igrama 2020. godine u Tokiju sportsko penjanje je po prvi put uvršten u program čime je sport dobio globalnu pozornost i dodatno potaknuo interes javnosti. Olimpijskim igrama 2024. godine u Parizu popularnost sporta je još više porasla. Prema članku iz *The Oxford Blue*, dok se vrijednost globalnog tržišta penjačkih dvorana procjenjuje na 117.61 milijardi dolara do 2031. godine [1]. S rastom zajednice, raste i potreba za kvalitetnim, dostupnim i preciznim informacijama o penjačkim lokacijama i smjerovima.

Tradicionalno, glavni izvor informacija za penjače koji žele penjati na stijenama u prirodi su tiskani penjački vodiči. Ovi vodiči sadrže detaljne opise penjačkih lokacija, karte pristupa, kao i skicirane prikaze stijene ili često nazivane *topo* s ocrtanim linijama penjačkih smjerova, njihovim nazivima i težinama. Iako su desetljećima bili nezamjenjivi alat, tiskani vodiči imaju ograničenja. Neki od ključnih nedostataka su statičnost i zastarijevanje podatka, nepraktičnost nošenja, nekonzistentnost između različitih izdanja te, najvažnije, poteškoće u interpretaciji dvodimenzionalnih skica na stvarnoj, trodimenzionalnoj stijeni zbog liminitiranog broja slika koji se mogu staviti u vodič.

S pojavom interneta i pametnih telefona, razvile su se digitalne platforme i mobilne aplikacije koje su djelomično riješile problem dostupnosti i ažurnosti podataka. One omogućuju centralizirano prikupljanje informacija, korisničke komentare i lakšu pretragu. Osim toga, nude i napredne funkcionalnosti poput vođenja osobnog dnevnika uspona, analize statistike, praćenja napretka i povezivanja s drugim penjačima. Una-

toč tim prednostima, digitalna rješenja nisu bez nedostataka. Unatoč tim prednostima, i digitalna rješenja imaju svoja ograničenja. Ključni nedostaci uključuju oslananje na statične, dvodimenzionalne prikaze koji ne rješavaju problem interpretacije na terenu, kao i praktične izazove poput ovisnosti o trajanju baterije i dostupnosti internetskog signala na udaljenim lokacijama.

Navedeni nedostaci postojećih alata stvaraju potrebu za rješenjem koje pokriva njihove nedostatke. Cilj je iskoristiti mobilnu tehnologiju kako bi se stvorilo rješenje koje bi minimiziralo navedene nedostatke. Ideja je omogućiti penjačima da jednostavnim usmjeravanjem kamere mobilnog uređaja prema stijeni dobije vizualnu informaciju o položaju i nazivima smjerova izravno u stvarnom okruženju korištenjem tehnologije proširene stvarnosti. Takav pristup ne samo da štedi vrijeme i smanjuje frustracije, već i omogućuje sigurnije iskustvo penjanja.

2. Testiranje i vrednovanje rješenja

Nakon implementacije aplikacije, potrebno je provesti testiranje u realnim uvjetima kako bi se validirala funkcionalnost te procijenile performanse i praktična upotreba. Cilj poglavlja je analizirati rezultate testiranja, s posebnim naglaskom na funkcionalnost prepoznavanja penjačkih smjerova, te identificirati ograničenja i područja za poboljšanje.

2.1. Metodologija testiranja

Testiranje je provedeno na penjalištu Kalnik, koje zbog svoje popularnosti i raznolikosti stijena predstavlja prikladnu lokaciju za ispitivanje sustava. Za detaljnu analizu odabrana su dva penjačka smjera s različitim vizualnim karakteristikama kako bi se ispitala robusnost algoritma.



(a) Referentna slika smjera "Apaches"



(b) Referentna slika smjera "Steyr"

Slika 2.1: Referentne slike odabralih penjačkih smjerova na penjalištu Kalnik

Prvi primjer penjačkog smjera je "Apaches" u sektoru Stari Grad B (Slika 2.1a). Smjer je lako prepoznatljiv zbog mnogo distinktnih značajki poput rupa, pukotina i varijacija u boji. Drugi primjer je smjer "Steyr" u sektoru Stari Grad A (Slika 2.1b). Za razliku od "Apaches", smjer se nalazi na relativno glatkoj i uniformnoj stijeni s manje izraženih značajki, što predstavlja izazov za algoritam.

Za oba smjera prethodno su, putem aplikacije, kreirane referentne slike s ucrtanim linijama. Testiranje je izvršeno na uređaju iPhone 15 Pro u automatskom načinu rada primarno na "High" razini prepoznavanja, no također su testirane i niže razine "Medium" i "Low".

2.2. Rezultati i analiza funkcionalnosti

Sustav je u praksi potvrdio svoju funkcionalnost. Na smjeru "Apaches", koji je bogat značajkama, aplikacija brzo i stabilno prepoznaće stijenu te precizno projicira virtualnu

liniju smjera preko video prikaza čak i iz različitih kutova (Slika 2.2) i korištenjem nižih razina prepoznavanja.



(a) Testiranje smjera "Apaches" s lijeve strane



(b) Testiranje smjera "Apaches" s desne strane

Slika 2.2: Testiranje smjera "Apaches" iz dva različita kuta

Testiranje je na zahtjevnijem smjeru "Steyr" također rezultiralo u uspješnom detektijom (Slika 2.3), no učeno je da je za stabilno prepoznavanje bilo potrebno pažljivije i strpljivije usmjeravanje kamere prema stijeni kako bi linija smjera bila preciznije pozicionirana.



(a) Testiranje smjera "Steyr" s lijeve strane



(b) Testiranje smjera "Steyr" s desne strane

Slika 2.3: Testiranje smjera "Steyr" iz dva različita kuta

2.3. Analiza performansi i uočenih problema

Unatoč uspješnoj funkcionalnoj validaciji, testiranje je otkrilo nekoliko problema vezanih uz performanse i korisničko iskustvo.



(a) Prije pomicanja kamere

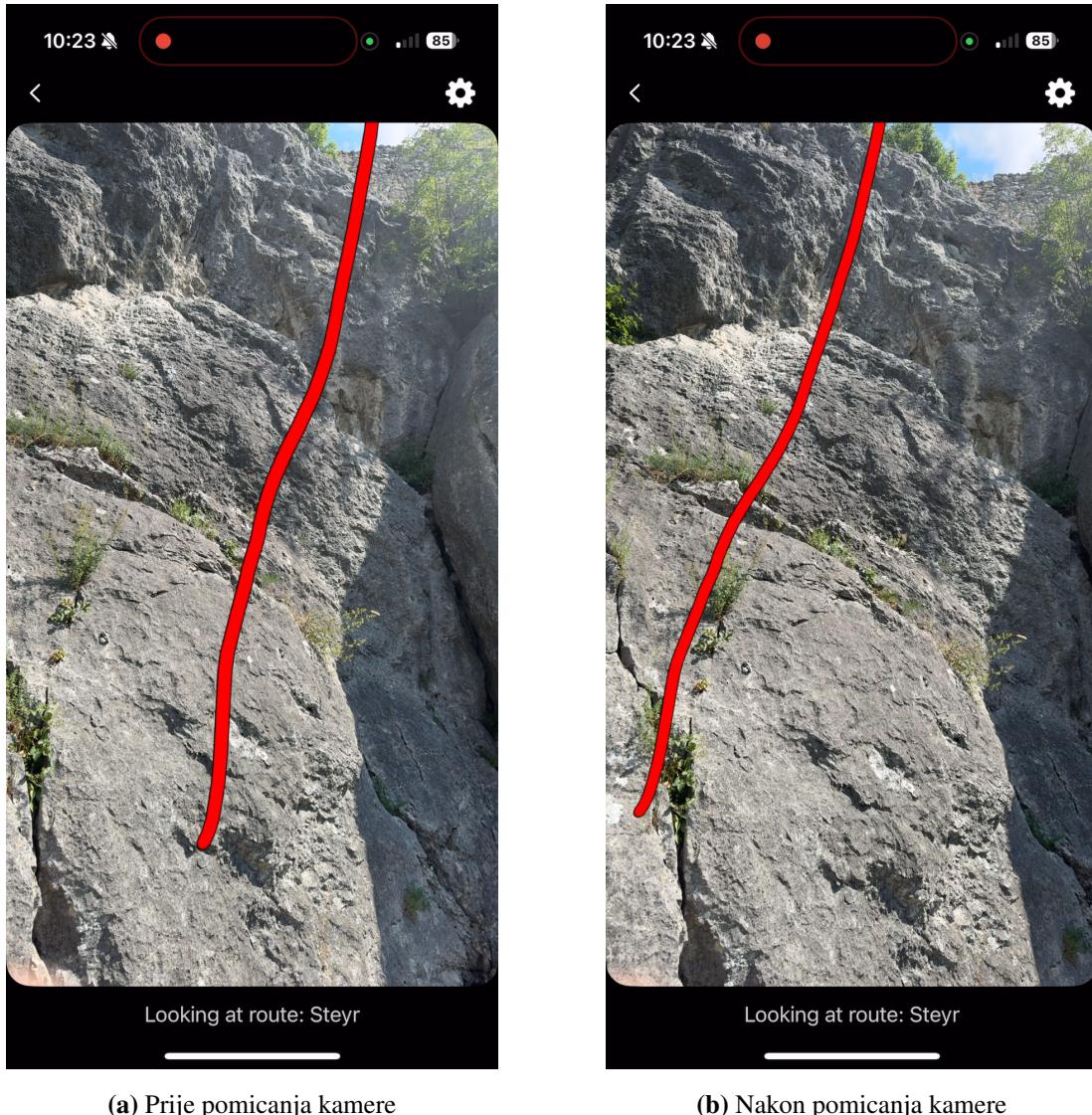


(b) Nakon pomicanja kamere

Slika 2.4: Primjeri latencije kod detekcije smjera "Apaches"

Prvi uočeni nedostatak je kašnjenje ili latencija između fizičkog pomicanja kamere i ažuriranje položaja virtualne linije na ekranu što prikazuje slika 2.4. Ovo kašnjenje je posljedica računske zahtjevnosti SIFT algoritma i cijelokupnog procesa obrade koji se izvršava na mobilnom uređaju. Problem je izražen pri korištenju "High" postavke jačine prepoznavanja, gdje je kašnjenje bilo vidljivo i ometajuće, dok je na "Low" postavci bilo manje primjetno, ali uz smanjenu preciznost. Važan uvid dobiven testiranjem, a isto vezan uz problem latencije, odnosi se na odluku o upravljanju kadrovima dobivenim sa kamere. Inicijalna implementacija koristila je *AsyncStream* s politikom *bufferingOldest(1)*, s idejom da nije bitno je li se koristi *bufferingOldest(1)* ili *bufferingNewest(1)* jer se u idealnim uvjetima pokazalo da brzina obrade nije toliko mala da ima značaja. Međutim, u realnim uvjetima, posebice na "High" postavci, obrada jed-

nog kadra traje znatno duže od intervala između dva kадра. Korištenje *bufferingOldest* politike u takvom scenariju dovodi do lošijih detekcija jer se koristi stariji kадар, a ne najnoviji. Time bi aplikacija prikazivala virtualnu liniju izračunatu na temelju kадра koji ne predstavlja najnoviji kадар.



(a) Prije pomicanja kamere

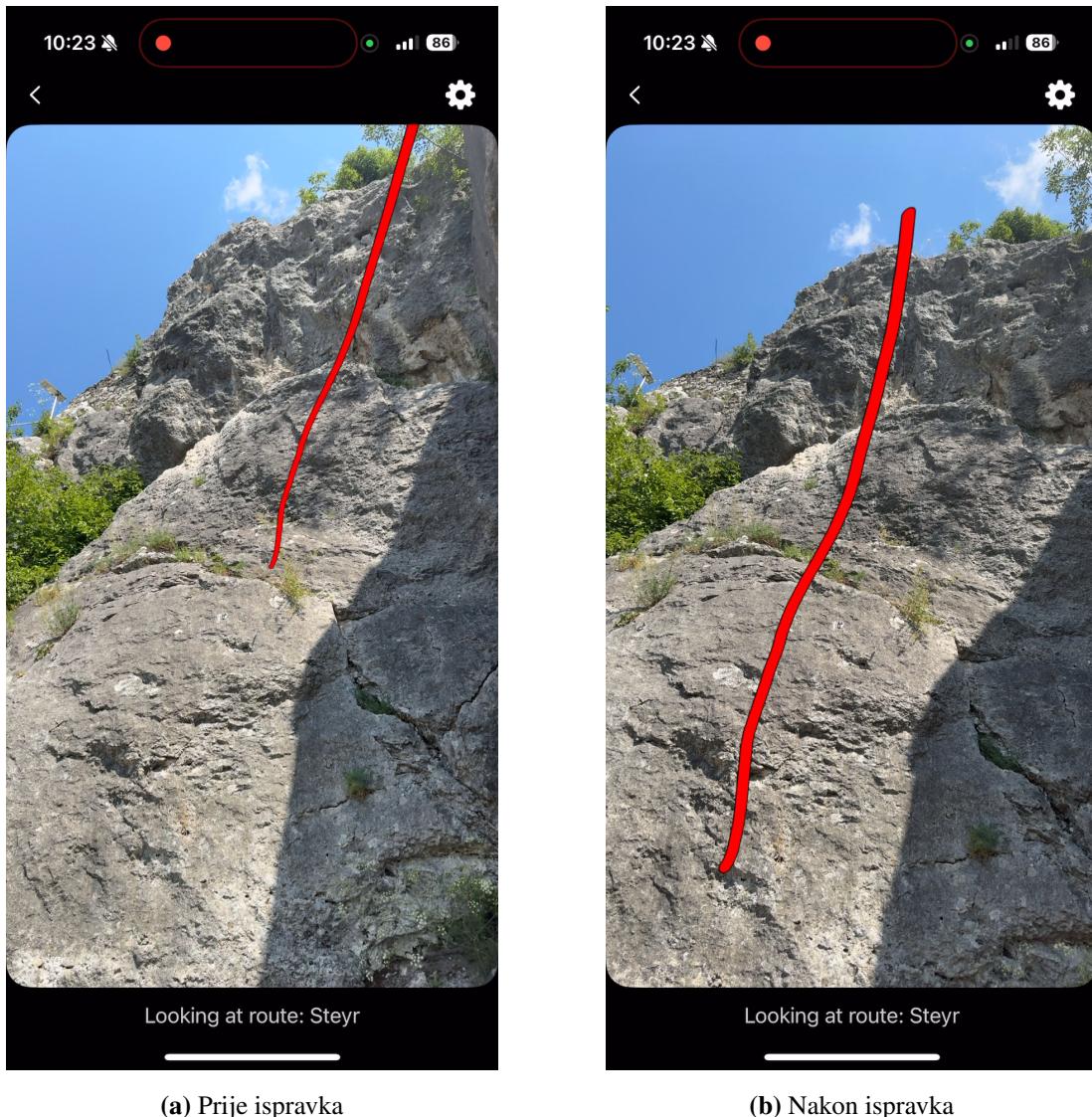
(b) Nakon pomicanja kamere

Slika 2.5: Primjeri posljedice korištenja *bufferingOldest(1)* politike

Slika 2.5 prikazuje primjere posljedice korištenja *bufferingOldest(1)* politike. Na slici 2.5a prikazan je primjer prije pomicanja kamere, a na slici 2.5b nakon pomicanja kamere. Vidljivo je da se virtualna linija pojavila na pogrešnoj lokaciji prije nego što bi se stabilizirala na ispravnoj poziciji. Pogreška dolazi zbog sljedeće situacije. Kada je završila detekcija, proces detekcije uzima kадар iz spremnika i kreće obradu. Sljedeći kадар koji dolazi sa kamere se sprema u spremnik i ne spremaju se novi kadrovi.

Kada dolazi vrijeme za obradu novog kadra, uzima se taj stariji kadar. Korištenjem `bufferingNewest(1)` politike, svaki novi kadar zamjenjuje kadar iz spremnika, što bi minimiziralo ovaj problem jer bi se obradio kadar koji je netom došao sa kamere.

Drugi uočeni problem je nestabilnost detekcije. Tijekom korištenja, virtualna linija bi se kratkotrajno pojavila na pogrešnoj lokaciji prije nego što bi se stabilizirala na ispravnoj poziciji. Slika 2.6 prikazuje primjer nestabilnosti detekcije smjera "Steyr".



Slika 2.6: Primjer nestabilnosti detekcije smjera "Steyr"

Ovaj fenomen nastaje u trenucima kada algoritam pronađe prividno dovoljan broj podudarnosti koje su zapravo pogrešne, ali ih RANSAC algoritam privremeno prihvati kao valjan model. Slično se događa kada korisnik zapravo ne gleda u smjer, već negdje drugdje i na trenutak se pojavi linija penjačkog smjera. Iako se sustav oporavi i

pronalazi ispravnu homografiju, ova nestabilnost može smanjiti povjerenje korisnika u sustav.

3. Zaključak

3.1. Sažetak ostvarenih rezultata

3.2. Smjernice za budući razvoj

LITERATURA

- [1] The Oxford Blue. Why does everyone suddenly want to rock climb? <https://theoxfordblue.co.uk/why-does-everyone-suddenly-want-to-rock-climb/>, siječanj 2025. Pristupljeno 7. lipnja 2025.