

■ NORA: napredno orodje za poučevanje relacijske algebre

Timotej Knez

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana

timotej.knez@fri.uni-lj.si

Izvleček

V članku predstavljamo orodje NORA za avtomatsko delo z relacijsko algebro, ki smo ga razvili in pilotno uporabili na univerzitetnem predmetu „Osnove podatkovnih baz“. Sodelovalo je približno 170 študentov, ki so orodje uspešno uporabljali pri vajah, reševanju domačih nalog ter na preverjanju znanja znotraj. Orodje omogoča pisanje, izvajanje in avtomatsko ocenjevanje poizvedb na pripravljenih podatkovnih bazah. Omogoča tudi uporabo znotraj spletne učilnice Moodle. Pilotna izvedba je pokazala, da je orodje učinkovito, prihrani čas pri ocenjevanju in omogoča prilagodljivo ocenjevanje študentskih rešitev. S tem verjamemo, da orodje predstavlja pomemben prispevek k izboljšanju učnega procesa relacijske algebre v okviru študijskih programov računalništva in informatike.

Ključne besede: Avtomatsko preverjanje poizvedb, E-učenje, Ocene na daljavo, Relacijska algebra

NORA: Advanced Tool for Relational Algebra Teaching

Abstract

The article introduces an innovative tool for the automatic validation of relational algebra queries piloted in the university course, the "Introduction to Databases." Approximately 170 students actively utilized the tool during practical exercises, homework assignments, and a midterm quiz. The tool enables query writing, execution, and automatic assessment on prepared databases, with a notable emphasis on its Moodle integration. The pilot implementation demonstrated the tool's effectiveness, time-saving benefits in evaluation, and adaptability in grading student solutions. This suggests that the tool represents a significant contribution to enhancing the learning process of relational algebra within computer science and informatics study programmes.

Keywords: Automatic Query Verification, E-Learning, Remote Grading, Relational Algebra

1 UVOD

V sodobnem izobraževalnem okolju, kjer se računalništvo in informatika neprestano razvijata, postaja ključno zagotoviti študentom učinkovite in inovativne načine učenja temeljnih konceptov. Eden izmed takšnih konceptov, ki ga obravnavamo pri predmetu osnove podatkovnih baz je relacijska algebra. Eden izmed ključnih izzivov pri poučevanju relacijske algebre je prikaz delovanja posameznih operacij ter izvajanja izrazov. Za razliko od ostalih poizvedovalnih orodij, ki jih predstavljamo pri predmetu, relacijska algebra ni neposredno uporabljena v nobeni podatkovni bazi, zaradi česar je njeno uporabo težko demonstrirati na praktičnem primeru.

Za reševanje te težave smo razvili orodje, ki študentom omogoča pisanje in preverjanje poizvedb relacijske algebre na enostaven in dostopen način. To inovativno orodje ne zahteva namestitve ali vzdrževanja podatkovnih baz ali strežnikov, saj v celoti deluje v brskalniku. Orodje omogoča, da študent med sestavljanjem izraza relacijske algebre na vsakem koraku preveri, kako trenutna poizvedba deluje ter ali je prišlo do kakšne napake. Orodje študentu pomaga tudi pri reševanju morebitnih sintaktičnih napak, kar omogoča, da se študent osredotoči na razumevanje konceptov, namesto da bi se ukvarjal z načinom zapisa izrazov.

Poleg tega orodje ponuja izvajalcem predmeta možnost avtomatskega preverjanja študentskih po-

izvedb, kar omogoča bolj učinkovito ocenjevanje in zagotavljanje povratnih informacij. Orodje smo že vključili v izvedbo vaj pri predmetu osnove podatkovnih baz na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani.

V nadaljevanju članka bomo podrobno predstavili funkcionalnosti orodja, opisali uporabo na univerzi ter ponudili vpogled v tehnične podrobnosti. Celoten projekt je prosto dostopen ter objavljena na platformi GitHub, s čimer želimo spodbuditi sodelovanje in prispevke širše skupnosti. Orodje je dostopno na povezavi <https://github.com/TimotejK/OPB-RA>

2 RELACIJSKA ALGEBRA

Relacijska algebra je matematična struktura, ki se uporablja za opisovanje in manipulacijo podatkov v relacijskih bazah podatkov. Prvotno jo je opisal Codd leta 1970 [1]. Razvila se je kot teoretično orodje za podporo relacijskim bazam podatkov, ki so osnova za večino sodobnih sistemov za upravljanje s podatkovnimi bazami.

Glavni cilj relacijske algebre je omogočiti enostavno in formalno opisovanje poizvedb, filtriranja, združevanja in drugih operacij nad relacijskimi podatki. V osnovi vključuje pet osnovnih operacij:

Selekcija (σ): Izbor vrstic, ki izpolnjujejo določen pogoj.

Projekcija (π): Izbor določenih atributov iz relacije, običajno za zmanjšanje kompleksnosti podatkov.

Unija (\cup): Povezovanje dveh relacij, kjer rezultat vsebuje vse vrstice, ki se pojavijo v vsaj eni izmed začetnih relacij.

Razlika ($-$): Odstranjevanje vrstic iz ene relacije, ki se pojavljajo tudi v drugi.

Produkt (\times): Povezovanje dveh relacij, tako da se vsaka vrstica ene relacije združi z vsako vrstico druge relacije.

Poleg teh osnovnih operacij obstajajo tudi druge sestavljene operacije, ki omogočajo bolj kompleksne poizvedbe in so sestavljene iz osnovnih operacij. Relacijska algebra zagotavlja formalno orodje za preučevanje in analizo poizvedb nad relacijskimi podatki, s čimer se doseže boljše razumevanje njihove strukture in omogoča optimizacijo izvajanja poizvedb.

V praksi se relacijska algebra uporablja v jezikih za poizvedovanje podatkov, kot je SQL (Structured Query Language), ki omogoča enostavno branje in spreminjanje podatkov v relacijskih bazah.

Poleg osnovnih operacij naše orodje podpira tudi ostale operacije:

Presek (\cap): Povezovanje dveh relacij, kjer rezultat vsebuje vrstice, ki se pojavijo v obeh začetnih relacijah.

Naravni in pogojni stik (\bowtie): Združi vrstice iz dveh relacij na podlagi pogoja oziroma ujemanja istoimenskih stolpcev.

Odprti naravni in pogojni stik ($\ltimes, \ltimes, \ltimes$): Deluje podobno kot naravni in pogojni stik, s to razliko, da doda tudi vrstice iz odprte strani, ki se ne ujemajo z nobeno vrstico z druge strani.

Pol-stik (\triangleright): Združi vrstice med dvema relacijama na podlagi pogoja in vrne samo attribute iz leve relacije.

Deljenje ($/$): Izpiše skupine podatkov iz prve relacije, ki se ujemajo z vsemi podatki iz druge relacije.

Agregacija (τ): Grupira vrstice iz relacije ter ovrednoti agregacijske funkcije nad podatki iz relacije.

Preimenovanje (ρ): Preimenuje relacijo ter njene attribute.

Prيرهjanje (\leftarrow): Relaciji priredi vrednost izraza.

Orodje NORA tako podpira vse operacije relacijske algebre, ki jih uporabljamo za poizvedovanje po relacijskih podatkovnih bazah.

3 SORODNA ORODJA

Pri razvoju našega orodja smo upoštevali tudi druge projekte, ki se ukvarjajo z avtomatskim preverjanjem poizvedb in olajševanjem učenja relacijske algebre. Eno izmed takšnih orodij je orodje RelaX, ki se je uveljavilo v podobnem okolju.

Orodje Relax je namenjeno učenju in preverjanju poizvedb relacijske algebre ter je bilo razvito na univerzi v Innsbrucku. Cilj orodja je poenostavljanje učenja konceptov relacijske algebre ter SQL jezikov.

Orodje RelaX je v mnogo pogledih podobno našemu orodju. Obe orodji si prizadevata zagotoviti izboljšano učno izkušnjo študentom, omogočata pisanje poizvedb ter njihovo preverjanje na pripravljenih podatkovnih bazah. Prav tako sta bili obe orodji razviti za uporabo na fakulteti in sta prosto dostopni. Obe orodji sta napisani v jeziku JavaScript, vendar se tehnične podrobnosti, kot so arhitektura brez strežnikov, lahko razlikujejo.

Medtem ko se obe orodji trudita doseči podobne cilje, naše orodje prinaša nekatere dodatne funkcionalnosti. Naše orodje ima prilagojeno različico, ki omogoča integracijo v Moodle spletno učilnico. To

omogoča, da lahko študenti znotraj kvizov vpisujejo izraze relacijske algebre ter jih preizkušajo.

Obstaja tudi več drugih orodij, ki rešujejo sorodne probleme. Soler in ostali [3] so razvili orodje, ki omogoča avtomatsko pripravo nalog iz relacijske algebre za podporo poučevanja na področju podatkovnih baz.

Podobno orodje je tudi Relational Algebra at your fingertips (ALF) [4]. Orodje omogoča izvedbo izrazov relacijske algebre v terminalu. V primerjavi z našim orodjem, alf ne ponuja grafičnega uporabniškega vmesnika ter integracije z Moodle spletno učilnico. ALF uporablja izraze zapisane v prilagojeni obliki, ki je sestavljena kot (operacija izraz1, izraz2). Sintaksa, ki smo jo uporabili v našem orodju omogoča bolj naraven zapis izrazov, ki je bližji zapisu, ki se običajno uporablja v literaturi.

4 OPIS ORODJA

Orodje NORA omogoča bolj prilagodljivo in dostopno poučevanje relacijske algebre. NORA omogoča avtomatsko izvajanje poizvedb, kar uporabniku omogoča, da na vsakem koraku med grajenjem izraza preveri, kako izraz deluje ter ali je kje prišlo do napake. Orodje smo razvili s ciljem, da bi študentom omogočili čimbolj preprosto uporabo. Prav tako smo želeli omogočiti integracijo orodja v zunanje sisteme, kot je sistem Moodle in s tem podpreti uporabo v celotnem učnem procesu.

4.1 Funkcionalnosti orodja

Orodje NORA študentom omogoča pisanje poizvedb relacijske algebre preko uporabniku prijaznega vmesnika. Uporabnik lahko izbira med vsemi operacijami relacijske algebre.

Orodje trenutno ponuja dva uporabniška vmesnika. Prvi je postavljen kot samostojna spletna stran na portalu Github Pages in omogoča, da uporabniki kar se da enostavno vpisujejo ter preverjajo svoje poizvedbe. Drugi ponuja dodajanje funkcionalnosti orodja NORA v vprašanje na Moodle spletni učilnici. Ta omogoča uporabo orodja znotraj kvizov in preverjanj znanj v učnem procesu.

4.1.1 Uporaba na spletni strani

NORA orodje je na voljo na Github pages strani na naslovu <https://timotejk.github.io/OPB-RA/>. Stran omogoča izbiro ene izmed štirih različnih domen, ki vsebujejo različne podatke. Po izbiri domene, se na strani samodejno izpišejo vse relacije ter njihovi atributi. Uporabnik lahko nato v vnosno polje zapiše izraz ter ga evalvira. Rezultat izraza se izpiše v obliki tabele na spletni strani.

Spletna stran je zasnovana tako, da jo je mogoče uporabiti za demonstracijo izrazov relacijske algebre. Domene, ki so na voljo smo prilagodili tako, da ustrezajo domenam, ki se pojavljajo v nalogah ki jih uporabljamo na vajah pri predmetu Osnove podatkovnih baz. Tako lahko študenti poizvedbe, ki jih pišemo na vajah neposredno preizkušajo v aplikaciji NORA. Uporabniški vmesnik je prikazan na Sliki 1.

Relacijska algebra

Podatkovna domena
Facebook & Twitter

oseba
ID number
Ime string
Rojen date
SID number

facebook
OID number
PID number

twitter
OID number
SID number

stan
SID number
Stan string

π σ ρ τ × ⋈ ⋉ ⋊ ⋋ ⋌ ⋍ ⋎ ⋏ ⋐ ⋑ ⋒ ⋓ ⋔ ⋕ ⋖ ⋗ ⋘ ⋙ ⋚ ⋛ ⋜ ⋝ ⋞ ⋟ ⋠ ⋡ ⋢ ⋣ ⋤ ⋥ ⋦ ⋧ ⋨ ⋩ ⋪ ⋫ ⋬ ⋭ ⋮ ⋯ ⋰ ⋱ ⋲ ⋳ ⋴ ⋵ ⋶ ⋷ ⋸ ⋹ ⋺ ⋻ ⋼ ⋽ ⋾ ⋿

≤ ≥ < >

oseba ⋈ facebook

Evalviraj

(oseba) ⋈ (facebook)

ID	Ime	Rojen	SID	OID	PID
1	Jill	1990-03-09	1	1	2
1	Jill	1990-03-09	1	2	1

Slika 1: Primer uporabniškega vmesnika na spletni strani.

```

<script type="text/javascript" src="https://opb-tools.data-lab.si/client-lib/jquery-1.11.1.min.js"></script>
<script type="text/javascript" src="https://timotejk.github.io/OPB-RA/operacije.js"></script>
<script type="text/javascript" src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/underscore.js/1.9.1/underscore-min.js">
</script>
<script type="text/javascript" src="https://timotejk.github.io/OPB-RA/knjiznica.js"></script>

```

Slika 2: Primer značk za dodajanje knjižnice.

Orodje omogoča uporabo znotraj Moodle spletne učilnice. Ta način uporabe deluje tako, da v kviz dodamo esejsko vprašanje, pri katerem uporabnik v odgovor vpisuje izraz relacijske algebre. K vprašanju dodamo html značko za dodajanje javascript kode in uvozimo orodje. Potrebno je dodati datoteki knjiznica.js, operacije.js ter splošnji knjižnici jquery in underscore. Primer potrebnih značk je prikazan na Sliki 2.

Ko se vprašanje prikaže študentu, orodje nad besedilno polje doda gumbe za vstavljanje posebnih znakov, pod besedilno polje pa doda gumb za poganjanje poizvedbe. Ko uporabnik požene poizvedbo, se izraz iz besedilnega polja ovrednoti, njegov rezultat pa se izpiše v obliki tabele pod besedilno polje. Na ta način lahko študenti sproti pregledujejo kaj njihovi izrazi naredijo in ali so sintaktično pravilni.

V našem primeru smo po zaključku kviza iz učilnice avtomatsko naložili vse odgovore študentov ter izraze pognali lokalno na prilagojenih zbirkah relacij. Rezultat vsake izmed poizvedb smo nato avtomatsko primerjali s pričakovanim rezultatom in tako točkovali študentske odgovore. Na ta način orodje omogoča tudi avtomatsko popraviljanje kvizov, kar lahko izvajalcem predmeta prihrani veliko časa.

4.2 Tehnične podrobnosti

Orodje za preverjanje poizvedb relacijske algebre je v celoti napisano v programskem jeziku JavaScript. Izvajanje poizvedb poteka lokalno v brskalniku uporabnika.

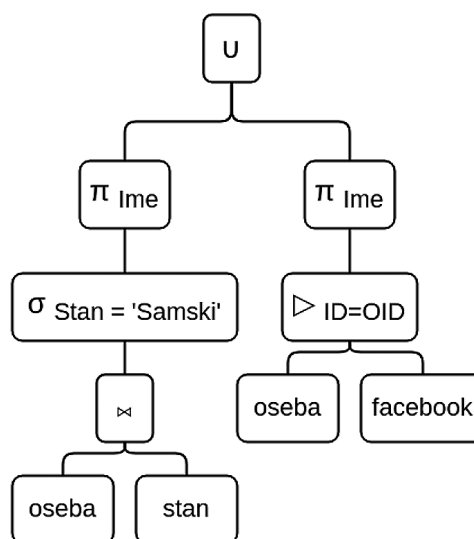
4.2.1 Implementacija

Preverjanje poizvedb poteka v več korakih. V prvem koraku se uporabnikov vnos razdeli na posamezne poizvedbe, saj orodje omogoča izvajanje več zaporednih izrazov, kjer je rezultate izraza mogoče uporabiti znotraj vseh naslednjih izrazov.

V drugem koraku vsak izraz razčlenimo na operacijo ter izraza pred in po operaciji. V primeru da gre za unarno operacijo, bo izraz pred operacijo prazen. Nato rekurzivno ovrednotimo vse izraze nad katerimi se operacija izvaja. Primer rekurzivnega izvajanja

je prikazan v Sliki 3. V sliki je prikazan izračun vrednosti izraza.

V primeru, da trenutni izraz vsebuje ime relacije ali spremenljivke, ga lahko ovrednotimo tako, da uporabimo vrednost relacije oziroma spremenljivke. Ta pogoj služi kot ustavitveni pogoj rekurzije.



Slika 3: Primer rekurzivnega izračuna vrednosti izraza.

4.2.2 Zapis izrazov

Ena izmed težav, ki jih je bilo pri zasnovi orodja potrebno rešiti, je kako zapisati izraze na način, ki omogoča nedvoumen zapis v besedilnih poljih. Prva težava na katero smo naleteli je, da izrazi relacijske algebre vsebujejo matematične simbole, ki jih ni enostavno zapisati s tipkovnico. To težavo smo rešili z dodatkom gumbov nad vnosnim poljem, ki omogočajo vpis vseh matematičnih simbolov, ki se uporabljajo znotraj relacijske algebre. Za lažje vpisovanje izrazov smo omogočili tudi zapis nekaterih simbolov z znaki, ki so na voljo na tipkovnici. Na primer namesto znaka \neq lahko uporabnik zapiše $! =$. Gumbi za vnos posebnih znakov so prikazani na Sliki 4.

Druga težava na katero smo naleteli je zapisovanje argumentov operacij. Navadno se pri zapisu izrazov argumente operacije zapisuje podpisano. S tem vemo, da gre za argumente operacij in ne na-



Slika 4: Vnosno polje za zapis izrazov v predstavljenem orodju. Nad vnosnim poljem imamo gumb za zapis operacij relacijske algebre.

slednji izraz. Ker vnosna polja v brskalniku ne podpirajo vnosa podpisanega besedila, smo se odločili, da bomo argumente operacij označevali z uporabo oglatih oklepajev.

Tako izraz zapišemo kot $(\pi[\text{Ime}] \sigma[\text{Stan}=\text{'Samski'}] (\text{oseba} \bowtie \text{stan})) \cup (\pi[\text{Ime}] (\text{oseba} \triangleright [\text{ID} = \text{OID}] \text{facebook}))$.

4.2.3 Preverjanje sintaktičnih napak

Ena izmed ključnih funkcionalnosti orodja je tudi dobro poročanje o sintaktičnih napakah v izrazih. Z dobrim poročanjem napak lahko študentom pomagamo popraviti napačno zapisane izraze ter s tem poenostavimo uporabo orodja. Pri zasnovi orodja smo si prizadevali da bi za vsako izjemo, do katere bi lahko prišlo, ustvarili sporočilo o napaki, poleg sporočila pa smo dodali tudi začetek ter konec dela poizvedbe, ki je napako povzročil. S tem lahko uporabniku prikazemo sporočilo o napaki ter označimo, del poizvedbe ki je problematičen. Primer takšnega sporočila je prikazan na Sliki 5.

5 UPORABA ORODJA V PRAKSI

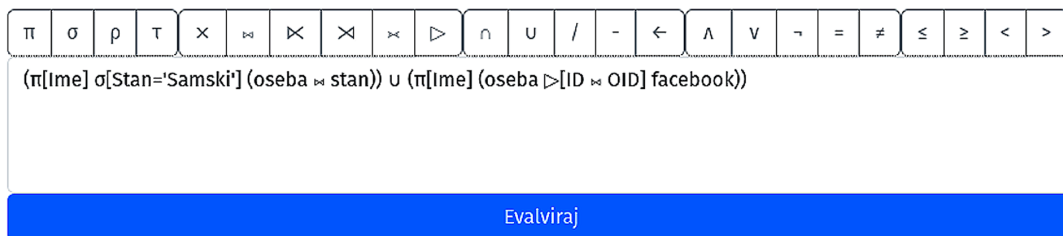
V letu 2023 smo uspešno pilotno uporabili naše orodje pri predmetu Osnove podatkovnih baz na univerzitetnem programu računalništva in informatike. Pri predmetu je sodelovalo približno 170 študentov, ki

so imeli možnost aktivne uporabe orodja tako na vajah kot pri reševanju domačih nalog.

Študentom smo omogočili, da so si med reševanjem nalog na vajah pomagali z orodjem. Ta pristop je zagotavljal takojšnjo povratno informacijo o pravilnosti njihovih poizvedb, kar je izboljšalo učni proces. Z orodjem so si lahko pomagali tudi pri reševanju domačih nalog, kjer so študenti samostojno preverjali svoje rešitve in odpravljali morebitne napake.

Po uspešni uporabi na vajah smo se odločili uporabiti orodje tudi na kolokviju, ki smo ga izvedli v obliki spletnega kviza. Kviz je zajemal tri naloge iz relacijske algebre, ki so bile ocenjene s pomočjo našega orodja. Uporaba orodja se je izkazala kot zelo koristno, saj je omogočilo avtomatsko ocenjevanje nalog. Pri avtomatskem ocenjevanju smo pregledovali pravilnosti rezultatov, ki jih poizvedba vrne, namesto ocenjevanja same poizvedbe. S tem pristopom smo študentom omogočili, da rešujejo en problem na več različnih načinov, brez da bi to vplivalo na število doseženih točk.

Na podlagi rezultatov pilotne izvedbe smo ugotovili, da so izračunane ocene ustrezne in odražajo pravilno razumevanje relacijske algebre s strani študentov. Orodje je uspešno integrirano v izobraževalni proces, študentje pa so ga sprejeli kot koristno orodje pri svojem učenju.



Znotraj logičnih izrazov ni mogoča uporaba relacijskih operacij

$(\pi[\text{Ime}] \sigma[\text{Stan}=\text{'Samski'}] (\text{oseba} \bowtie \text{stan})) \cup (\pi[\text{Ime}] (\text{oseba} \triangleright [\text{ID} \bowtie \text{OID}] \text{facebook}))$

Slika 5: Primer izpisanega sporočila o sintaktični napaki v izrazu. Pod gumbom "Evalviraj" je zapisano do kakšne napake je prišlo, spodaj pa je v izrazu z rdečo barvo pobarvan element, ki je napako povzročil.

6 ZAKLJUČEK

Razvoj in implementacija orodja za avtomatsko preverjanje poizvedb relacijske algebre sta odprla nova vrata za učinkovitejše in prilagodljivejše učenje v akademskem okolju. Naša pilotna izvedba na predmetu »Osnove podatkovnih baz« je pokazala, da lahko orodje prinese številne prednosti tako študentom kot izvajalcem predmeta.

Z uporabo orodja smo študentom omogočili aktivno preizkušanje svojega znanja v realnem času med vajami, kar je povečalo razumevanje relacijske algebre in olajšalo reševanje domačih nalog. Orodje je postalo nepogrešljivo tudi pri kolokviju v obliki spletnega kviza, kjer smo z avtomatskim ocenjevanjem dosegli visoko raven doslednosti in prihranili dragocen čas pri ročnem pregledu.

Pomembna dodana vrednost orodja je njegova integracija v Moodle spletno učilnico, ki študentom omogoča še boljšo izkušnjo in hkrati poenostavlja delo izvajalcev predmeta. Prilagodljivost pri ocenjevanju rezultatov poizvedb je študentom omogočila

večjo kreativnost pri reševanju problemov, ne da bi vplivala na končni rezultat.

Zavedamo se, da so pred nami izzivi in nadaljnje izboljšave, vendar smo s to izkušnjo trdno prepričani, da orodje za avtomatsko preverjanje poizvedb relacijske algebre prinaša vrednost v izobraževalnem procesu. Z nadaljnjim razvojem, odprtim sodelovanjem in prilagajanjem potrebam skupnosti verjameмо, da lahko obogati učno izkušnjo na področju podatkovnih baz in računalništva na splošno.

7 LITERATURA

- [1] Codd, E. F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM*, 13(6), 377-387.
- [2] Rampl M in drugi. Relax. dostopno na: <https://github.com/dbis-uibk/relax>, [pregledano 18. 12. 2023].
- [3] Soler, J., Boada, I., Prados, F., Poch, J., & Fabregat, R. (2007, August). An automatic correction tool for relational Algebra Queries. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 861-872). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [4] Daloz B. Alf. dostopno na: <https://github.com/eregon/alf>, [pregledano 18. 12. 2023]

■

Timotej Knez je leta 2021 pridobil magisterij iz računalništva in informatike. Trenutno zaseda položaj mladega raziskovalca na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Ukvarja se z raziskovanjem uporabe znanstvenih baz v obdelavi naravnega jezika. Dela tudi kot asistent pri predmetu osnove podatkovnih baz na fakulteti.