

## RAZVOJ ONLINE IGRE ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA U CILJU REŠAVANJA PROBLEMA DOSTAVE

Slaviša Dumnić, Đorđije Dupljanin, Predrag Atanasković  
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka,  
dumnic.s@uns.ac.rs, ddjordji@uns.ac.rs, predrag.atanaskovic@uns.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu opisana je studija koja predstavlja prvi korak ka stvaranju okruženja koje se može koristiti za obučavanje inteligentnih agenta koji bi efikasno rešavao ne-euklidske Probleme Trgovačkog Putnika (Traveling Salesman Problem-TSP) bilo koje veličine. U tu svrhu kreirana je online igrice (Pathgame) za prikupljanje podataka o ljudskim ne-euklidskim TSP rešenjima, koja se mogu koristiti za pomoć u obuci takvog agenta i za produbljivanje našeg razumijevanja ljudskih performansi na ovom problemu. Izvorni kod našeg rešenja i skup podataka prikupljenih tokom ove probne studije nalazi se na raspolaganju istraživačima za besplatno upotrebu u budućim studijama.

**Gljučne reči:** online igra, prikupljanje podataka, Problem Trgovačkog Putnika

### 1. Uvod

Problem trgovačkog putnika jedan je od najstarijih i najpoznatijih problema rutiranja. Jedna od prvih formulacija problema trgovačkog putnika nađena je u priručniku [1] iz 1832. godine. Jedna od prvih akademskih studija o problemu trgovačkog putnika je u radu [2]. Problem trgovačkog putnika je optimizacioni problem u kome trgovački putnik treba da obiđe gradova, da svaki grad poseti tačno jednom i da redosled obilaska gradova bude optimalan, u smislu minimalnog puta koji prelazi (često to povlači i minimalno vreme obilaska) što dovodi do minimalnih troškova. Problem trgovačkog putnika pripada klasi nepolinomijalno teških problema [3].

Problem rutiranja vozila je uopštenje problema trgovačkog putnika, tako da će biti dat opis problema trgovačkog putnika sa posebnim akcentom na njegovo rešenje koje se može uspešno primeniti na problem rutiranja vozila.

Problem rutiranja vozila predstavlja pronalazak optimalnih ruta za sakupljanje ili dostavu robe iz skladišta (depoa) na mesta koja zahtevaju korisnici. Sa ovim problemom suočavaju se mnoga preduzeća, a on je posebno izražen u sistemima koji se bave dostavom pošiljaka. Kombinatorni optimizacioni problemi uključuju traženje optimalnog rešenja i sakupljanje mogućih rešenja. Broj mogućih rešenja eksponencijalno se povećava sa brojem elemenata u problemu, tako da opcija „skeniraj sve objekte jedan po jedan i odaberi optimalnu rutu“ nije dobra opcija [1].

U literaturi prvo istraživanje vezano je za menadžment firme Proctor and Gamble je 1962. godine postavilo problem pronalaženja najkraće rute putovanja po 33 grada u Sjedinjenim Američkim Državama [2]. Početak i kraj rute je bio planiran u Čikagu, nagrada koja je bila ponuđena iznosila je 10000 dolara za najbolje rešenje i dodatne 54

nagrade od po 1000 dolara. Jedan od dobitnika nagrade bio je jedan od začetnika istraživanja u polju problema trgovačkog putnika Džerald Tompson, koji je svoje rešenje sa saradnicima predstavio u radu [3]. Ukupna nagrada imala je ekvivalentnu kupovnu moć od oko pola miliona dolara danas. Očigledna jednostavnost izazova je u oštrm kontrastu sa relativnom veličinom nagrade. Iako ga je jednostavno navesti i razumeti, problem koji postavlja Proctor and Gamble je primer dobro poznatog kombinatornog optimizacionog problema trgovačkog putnika. Broj mogućih ruta za problem trgovačkog putnika jednak je  $n!$ , gde je  $n$  broj gradova. Za primer Proctor and Gamble problema, broj mogućih ruta iznosi oko 1.32 1035 ili 132 milijarde biliona triliona mogućih ruta. Ako bi neko pokušao da pronađe svaku pojedinu rutu i izabere optimalno (najkraći) put, trebalo bi oko 417 milijardi godina (pod pretpostavkom da računar pronađe 10000 ruta u sekundi).

Mnogi kombinatorni optimizacioni problemi sa većim brojem zahteva nisu rešivi u realnom vremenu zbog eksponencijalnog porasta broja mogućih rešenja sa porastom veličine problema. Umesto toga, poželjno je da se pronađu algoritmi koji mogu da pronađu rešenje u prihvatljivom vremenskom okviru. Za neke kombinatorne optimizacione probleme pokazano je da postoje algoritmi pomoću kojih se oni mogu rešiti u polinomijalnom vremenu. Dakle, ovi algoritmi se izvršavaju u polinomijalnom vremenu (eng. polynomial problems), a za problem se kaže da je rešiv. Za primenu su značajni oni algoritmi čije vreme izvršavanja je izraženo polinomom malog stepena (drugog ili trećeg). Problem odlučivanja pripada polinomijalnoj klasi složenosti ako za njega postoji algoritam koji se rešava u polinomijalnom vremenu. Pored problema za čije rešenje postoje algoritmi polinomijalne složenosti u praksi se često susreću i problemi za koje nije poznat nijedan algoritam polinomijalne složenosti. Dakle, pored polinomijalne klase složenosti postoji i nepolinomijalna klasa složenosti. Da bi problem pripadao nepolinomijalnoj klasi za jedno njegovo potencijalno rešenje u polinomijalnom vremenu se može utvrditi da je rešenje postavljenog problema. Nepolinomijalna klasa ne zahteva postojanje algoritama za pronalazak svih rešenja već samo mogućnost da se za jedno potencijalno rešenje može utvrditi da zaista jeste rešenje (pomoću algoritma koji ga rešava u polinomijalnom vremenu). Problem trgovačkog putnika je jedan primer nepolinomijalno teškog problema.

Problem koji se javlja kod nepolinomijalno teških problema je pronalazanje algoritma koji za pretpostavljeno rešenje može da utvrdi da li je rešivo u polinomijalnom vremenu. Nakon toga, ukoliko algoritam daje rešenje u polinomijalnom vremenu potrebno je proveriti da li je to rešenje i optimalno. Dakle, mogu se uočiti dva velika izazova, egzistencija algoritma koja potvrđuje da je pretpostavljeno rešenje stvarno rešenje i provera da li je to rešenje i optimalno.

U poslednjih nekoliko decenija postignut je napredak u ovoj oblasti. U maju 2004. godine rešen je problem trgovačkog putnika koji zahteva obilaženje svih 24978 gradova Švedske. Pronađena je ruta približne dužine 72500 kilometara za koju je dokazano da je i najkraća. Rezultati su prikazani u radu [3]. U to vreme ovo je bio primer rešenja problema trgovačkog putnika najveće kompleksnosti. Sadašnji trenutni rekord predstavlja rutu između 85900 gradova.

U radu [4] autori su pokazali da u slučaju 10 i 20 zadatih tačaka, učesnici u eksperimentu jednostavno rešavaju euklidski problem trgovačkog putnika. Oni koji nisu prethodno rešavali problem trgovačkog putnika, kada su upućeni, jednostavno crtaju najbolju putanju „po očima“ i u najvećem broju slučajeva dolaze do rešenja koja za manje od 1% odstupaju od optimalnog.

Autori su u radu [4] pokazali da je učinak učesnika u eksperimentu izuzetno dobar i pri sučeljavanju sa kompleksnijim problemima. U istraživanju je korišten nasumično generisan problem trgovačkog putnika sa brojem čvorova koji se kreće od 10 do 120 čvorova. U radu je pokazano da kod polinomijalnih modela veza između očekivanog vremena rešenja i broja čvorova je vrlo često linearna ili približno linearna. Naravno da očekivano vreme usluge zavisi od broja čvorova, kao i od prostorne raspodele čvorova.

Kvalitet učinka ljudskih performansi u rešavanju problema trgovačkog putnika zanimljiv je sa aspekta računarskih nauka, operacionih istraživanja kao i sa psihološke strane.

Tokom poslednjih nekoliko godina duboke neuronske mreže (eng. deep neural networks - DNN) su polje istraživanja u nauci o podacima koje se intenzivno razvija i napreduje. Svake godine naučnici širom sveta predstavljaju nove mrežne arhitekture i poboljšanja postojećih sistema. Velike kompanije kao što su na primer Google, Facebook, BMW ili Tesla ulažu milijarde dolara u istraživanje dubokog učenja, u cilju podizanja sopstvenog razvoja na viši nivo. Automobilaska industrija je zainteresovana za razvoj ovih savremenih tehnologija pošto se duboke neuronske mreže primenjuju u razvoju autonomnih vozila.

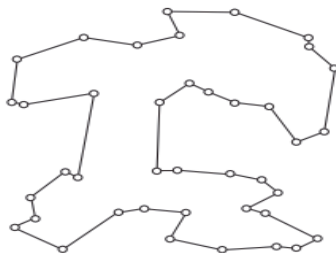
## **2. Različiti načini rešavanja problema trgovačkog putnika**

Interesantna je činjenica da je problem trgovačkog putnika posmatran i sa psihološke strane. U radu [7] iz 1974. godine proučavana su rešenja različitih oblika problema trgovačkog putnika, sa posebnim naglaskom na vizuelnim aspektima rešenja. Zaključeno je da vizuelni aspekti mogu da dovedu do uočavanja geometrijskih odnosa kojih onaj koji rešava problem nije ni svestan. Pri tome je njihov značaj u rešavanju problema trgovačkog putnika jednak onome koji pri rešavanju problema imaju analitički procesi. Poređena je sposobnost ljudi za rešavanje problema trgovačkog putnika sa četiri do deset gradova. Zaključak je bio da je učinak učesnika u eksperimentu bio mnogo bolji kada su gradovi i cene putanja bili prikazani vizuelno, nego kada su bili prikazani tabelarno.

Ovo je bilo veoma izraženo u istraživanju prikazanomu u radu [8]. Studija u radu sastojala se od dva eksperimenta. Prvi eksperiment je izvršen da bi se ispitali efekti broja čvorova koji pripadaju konveksnom omotaču optimalnog rešenja, kao i ispitala mogućnost koju su ranije već sugerisali drugi istraživači da percepcija, tj. opažanje optimalne putanje jeste prirodna tendencija ljudskog sistema opažanja. U ispitivanju je učestvovalo 36 učesnika. Čvorovi su bili raspoređeni unutar pravougaonika koji je podeljen na šest oblasti. Dve su sadržale po 10 čvorova, dve po 25 i dve po 40 čvorova. Optimizaciona grupa učesnika je imala zadatak da pronađe najkraću putanju za svaki primer, a druga grupa je za zadatak imala da pronađe putanju koja izgleda najprirodnije, najprivlačnije i estetski najlepše. Rezultati su pokazali veliku sličnost u odabiru rute kod obe grupe. Na primer, putanja od 40 gradova koja je predstavljena na slici 1., a koja je pronađena od strane članova druge grupe, je kraća nego sve putanje koje su pronašli članovi prve grupe.

U radu [8] autori su istakli da je ovu putanju, u primeru sa 40 gradova, pronašao modni dizajner, koji je pronašao najkraće putanje za četiri od pet zadatih primera.

Nakon pronalazjenja svih putanja, od učesnika je traženo da ocene težinu rešenog zadatka na linearnoj skali, ocenom -5 za ekstremno teške zadatke, ocenom 0 za osrednje teške zadatke i ocenom 5 za izuzetno lake zadatke.



Slika 1- Putanja koju je pronašla grupa koja je tražila vizuelno lepo rešenje

Rezultati koje su postigli učesnici eksperimenta koji su rešavali problem trgovačkog putnika oslanjajući se na Euklidsko rastojanje i Menhetn rastojanje ispitivali su autori u radu [9]. U eksperimentu je učestvovalo 40 učesnika, 16 muškog pola i 24 ženskog pola, uglavnom diplomiranih studenata. Svaki od učesnika je imao zadatak da reši problem sa 12 oblasti koje su sadržale po 10 tačaka i 6 oblasti sa po 40 tačaka. Zadatak se rešavao pomoću olovke na papiru. Rezultati su potvrdili da čovek dolazi do skoro optimalnog rešenja u oba slučaja, oslanjajući se na Euklidsko i Menhetn rastojanje, iako se pokazalo da su rezultati ipak bili nešto bolji prilikom rešavanja problema trgovačkog putnika primenom Euklidskog rastojanja.

Uprkos očiglednim prednostima prikupljanja podataka uz pomoć modernih informacionih tehnologija, u literaturi nije prikazano mnogo ovakvih slučajeva. Jedna od studija koje se bave ovim pristupom je rad [10] iz 2016. godine. Cilj ove studije je bilo učestvovanje velikog broja igrača u za tu svrhu kreiranoj onlajn igri (pri čemu se učesnici eksperimenta ne bi osećali kao da su na testiranju) i na taj način sakupljanje velikog broja podataka o različitim varijantama problema trgovačkog putnika. Igra koju su kreirali ne izgleda kao test, a služi da prikupi podatke o ljudskom umeću rešavanja problema, u slučaju kada imaju za to neophodan „alat“ i mogućnost da više puta mogu da rešavaju isti zadatak.

### 3. Online igra za prikupljanje podataka

Prilikom pravljenja modela za optimizaciju problema dostave pošiljaka, početni korak predstavlja prikupljanje skupa podataka koji je iskorišten kako za pravljenje modela tako i za njegovo treniranje i testiranje. Prikupljanje skupa podataka za potrebe istraživanja je urađeno kreiranjem onlajn igre. Na ovaj način je još jednom ilustrovana upotreba onlajn igre u naučne svrhe.

Arhitektura igre koja se koristi u istraživanju je fleksibilna i omogućava igračima da na efikasan način dođu do rešenja problema trgovačkog putnika, tj. problema rutiranja vozila, i na taj način se prikupljaju podaci koji će se iskoristiti u cilju istraživanja. Na osnovu odigranih igara prikuplja se skup podataka koji se koristi za obuku modela koji se formira primenom dubokih neuronskih mreža. Prilikom kreiranja igre mora da se vodi računa i o njenom dizajnu.

Grafika igre treba da omogući igraču vidljivost i jednostavnih i složenih rešenja, da bi prikupljena rešenja mogla da se iskoriste za konstrukciju modela. Dizajn igre mora realno da prikaže problem koji se rešava, sve njegove nedostatke i kompleksnosti. Dakle, igra mora biti dizajnirana tako da pokrije što je moguće veći broj realnih situacija da bi na osnovu prikupljenog skupa podataka (rešenja problema) modelovanje bilo sprovedeno na zadovoljavajućem nivou. Da bi igrači bili stimulisani da igraju igru, prilikom njenog dizajna mora se uzeti u obzir i sistem nagrađivanja. Takođe, igre moraju da imaju nivoe različite težine jer su i problemi rutiranja vozila u stvarnom životu različite kompleksnosti.

Upotreba onlajn igara u naučne svrhe omogućava da se rešavanje klase računarskih teških problema pretvori u zabavu, učesnik u eksperimentu pomaže u rešavanju ozbiljnih problema kao što je problem trgovačkog putnika i problem rutiranja vozila rešavajući zagonetke, tj. koristeći mehanizam igre. Ovaj izazov utiče na sve aspekte dizajna igre koje moramo uzeti u obzir. Prvo, vizualizacija i grafika trebaju da stimulišu sposobnost ljudi da vide složena rešenja. Drugo, dizajn interakcije mora se optimizovati za prirodne interakcije pogodne za proces istraživanja, poštujući naučna ograničenja. Konačno, mehanizam bodovanja mora biti dovoljno informisan da promoviše višestruke ljudske strategije, dok ostaje veran najnovijim modelima osnovnog naučnog fenomena.

Glavna karakteristika i najveća poteškoća u dizajnu ove vrste igre je to što je rešenje problema trgovačkog putnika, a samim tim i rešenje odgovarajućih zagonetki, nepoznato. S obzirom da ne rešavamo a priori, ne možemo dizajnirati igru sa posebnim rešenjima. Da bismo istražili ovaj prostor, fokusirali smo se na sposobnost ljudi da razmišljaju o rešenju problema trgovačkog putnika putem vizuelne igre.

Uprkos možda očiglednim prednostima koje se mogu dobiti putem upotrebe informacionih tehnologija za kreiranje video igara za prikupljanje velike količine podataka, u naučnoj literaturi je jako malo takvih pristupa.

Zapravo, jedina studija koja govori o ovom problemu, a koju možemo identifikovati, predstavljena je u radu [10] iz 2017. godine, gde su autori stvorili onlajn igru. Glavni ciljevi studije bili su adresirati veliki broj učesnika, prikupljanje podataka o različitim varijantama problema, pravljenje igre koja prikuplja podatke o postupcima rešavanja problema kada su igrači opremljeni alatima i mogućnostima da ponavljaju zadatak.

Ako se želi sakupiti velika količina podataka, onlajn igra dovoljno zanimljiva za učesnike je dobro rešenje. Istraživanje prikazano u radu [10] pokazalo je da rešenja koja se prikupljaju putem onlajn igranja dobro odgovaraju rezultatima koji su prethodno objavljeni u literaturi i validnost ovakvog pristupa prikupljanju podataka. Rad [10] je onaj koji je najviše povezan sa radom predstavljenim u ovom istraživanju. Oba pristupa zasnovana su na onlajn igri koja se može igrati na uređajima koji koriste moderni pretraživač i zahtevaju miš ili ekran osetljiv na dodir kao ulazni uređaj. Međutim, između dva pristupa postoje značajne razlike.

## 5. Dizajn igre

Dizajn igre je inspirisan glavnim ciljevima istraživanja koji su formulisani na sledeći način.

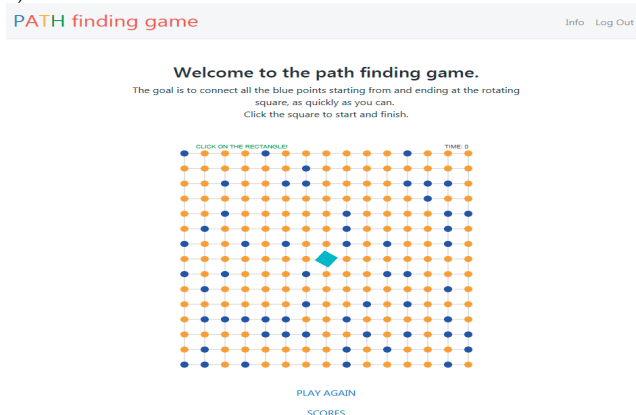
1. Kreirati igru koja bi omogućila prikupljanje velikog broja rešenja neeuklidske zatvorene forme problema trgovačkog putnika napravljenih od strane čoveka.

2. Prikupiti podatke koji će omogućiti naknadnu obuku inteligentnog agenata za dostavu.

Usredsređenost na zatvorenu formu neeuklidskog problema trgovačkog putnika zasnovano je na praktičnim razmatranjima. Predviđena mogućnost primene inteligentnog agenta je optimizacija problema dostave pošiljaka drumskim vozilima u urbanom okruženju. Prema tome, agent bi trebalo da pronađe optimalnu putanju, izvrši određen broj dostava u urbanom okruženju, počevši od unapred definisanog depoa i vraćajući se u depo nakon što se posao dostave završi. Menhetn rastojanje daje bolju aproksimaciju uz ograničenja kretanja drumskog vozila kroz urbano okruženje nego Euklidsko rastojanje.

Da bi se podstaklo neeuklidsko razmišljanje kod igrača i grafički predstavio prostor, kreirana je onlajn igra sa fiksiranim poljem za igru (terenom) koji se sastoji od pravougaone mreže od tačaka. Dimenzija mreže je parametar u kodu koji se može lako menjati, a u ovom istraživanju uzeto da je U konstruisanoj i predstavljenoj igri se broj odredišnih tačaka koje se na slučajan način raspoređuju na mreži od tačaka kreće od 10 do 196. Odredišne tačke i tačka koja predstavlja depo su unapred definisane. U okviru ove fiksne mreže tačaka, odredišta su obojena plavom bojom, dok su ostale tačke narandžaste boje. Polazna tačka

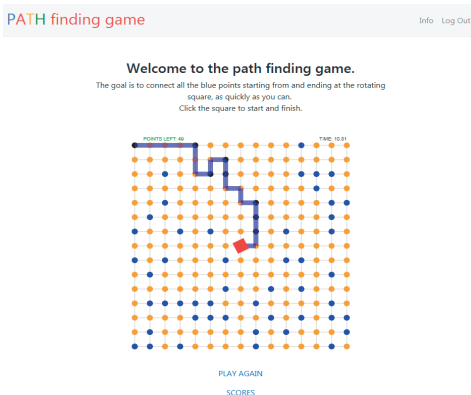
(depo) nalazi se u sredini polja za igru i označena je pravougaonikom koji se vrti (kao što je prikazano na slici 2).



Slika 2-Početni izgled igre

Na pravougaonik koji predstavlja depo treba kliknuti da bi započeli igru. Nakon toga, pravougaonik promeni boju (postaje crvene boje), a tekst iznad polja za igru, u gornjem levom uglu, sa instrukcijom korisniku „kliknite na pravougaonik!“, zamenjuje se brojačem koji prikazuje broj određivnih tačaka koje su korisniku preostale da poseti, a u gornjem desnom uglu je prikazano vreme koje je proteklo od početka igre. Tačke odredišta su posećene, tj. dodate na putanju, kada se pokazivač miša povuče preko njih. Kada se ovo desi, one postaju crne.

Da bi se dodatno unapredio neeuclidski karakter igre, putanja se formira po principu snap-to-grid. Kako korisnik pomera miša tokom igranja igre, potencijalna putanja se generiše sa poslednjeg posećenog odredišta (ili depoa ako je korisnik tek počeo igru) na pokazivač miša. Novo odredište će biti dodato na putanju samo kada korisnik pokreće pokazivač miša preko nove odredišne tačke. Stoga se putanja gradi, čvor po čvor, sve dok se ne posete sve odredišne tačke. Ukoliko se umesto posete odredišne tačke, korisnik pomera prema početku putanje, putanja će biti skraćena, dozvoljavajući korisniku da promeni putanju kao što je prikazano na slici 3.



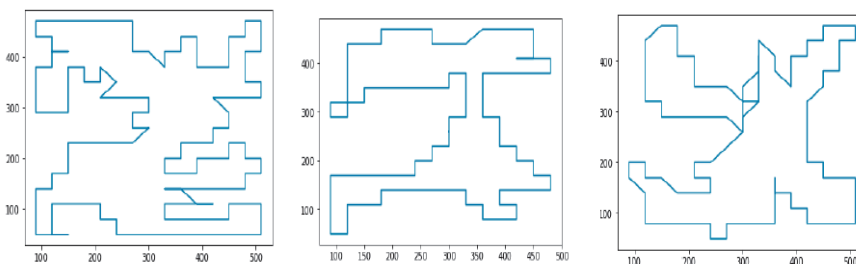
Slika 3- Kreiranje putanje u mreži

Prilikom dizajniranja igre izabrana su jednostavna rešenja, gde svaki nivo odgovara jednoj odigranoj igri. Za obuku inteligentnog agenta, ideja je bila da se putanja formira na osnovu instinktivnog ponašanja učesnika u eksperimentu, a ne kao rezultat njegovog

dužeg razmišljanja. Igrači su dobili uputstvo da je cilj da se povežu sve plave tačke počivajući i završavajući igru na rotirajućem kvadratu što je brže moguće.

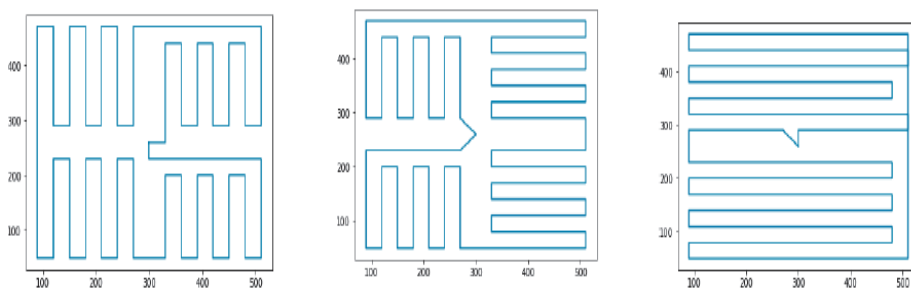
Od posebnog interesa za razumevanje rešavanja problema trgovačkog putnika od strane čoveka i stvaranje inteligentnog agenta inspirisanog načinom na koji čovek rešava problem trgovačkog putnika su slučajevi u kojima su se rešenja učesnika eksperimenta pokazala boljim od računarski generisanih rešenja. Ovi slučajevi obuhvataju 26.72% celokupnog skupa podataka (4286 putanja od 16308).

Na slici 4 prikazane su neke putanje, generisane od strane tri različita igrača, u kojima su igrači uspešnije rešili problem trgovačkog putnika od algoritma najbližeg komšije. Iako su učesnici u eksperimentu u nekim slučajevima koristili sposobnost da prate kratke direktne staze, umesto da se pridržavaju principa snap-to-grid, to nije uticalo na dužinu putanje, koja se i u tom slučaju izračunava pomoću Menhetn rastojanja, a samim tim ni na broj osvojenih poena u igri.



Slika 4- Neki primeri u kojima su učesnici u eksperimentu uspešnije rešili problem trgovačkog putnika od algoritma najbližeg komšije

Kod problema sa brojem čvorova većim od 160, varijansa vremena potrebnog za rešavanje problema se smanjuje. Iako se to u početku činilo neintuitivnim, pažljivija analiza rešenja otkriva da je za probleme ove veličine raspored odredišnih tačaka toliko gust da su igrači rešili problem koristeći unapred zamišljenu geometrijsku putanju, bez pokušaja optimizacije. Neka takva rešenja prikazana su na slici 5.



Slika 5- Primeri rešenja problema sa velikim broj odredišnih tačaka

Rešenja poput onih prikazanih na slici 4 se pojavljuju u slučajevima kada je broj odredišnih tačaka velik, 150 i više. Pošto je priroda rešenja dobijenih u ovom slučaju kvalitativno različita od rešenja problema sa manje od 150 odredišnih tačaka, sprovedena je zasebna analiza za probleme sa 150 destinacija ili manje. Logaritamska regresija za

vreme potrebno za rešavanje problema sa manje od 150 odredišnih tačaka, kojih je u uzorku bilo 8146.

## 6. Zaključak

Intenzivan razvoj veštačke inteligencije omogućio je različite alate i tehnike za rešavanje transportnog problema koji spada u klasu optimizacionih problema. Mašinsko učenje i neuronske mreže su široko rasprostranjeni alati koji se svakodnevno usavršavaju i razvijaju.

Veštačka inteligencija se sve više primenjuje u praksi, a naučna zajednica konstantno radi na otklanjanju nedostataka i usavršavanju metodologije veštačke inteligencije. Postoji veliki broj različitih podela i vrsta neuronskih mreža. Akcenat treba staviti na modele dubokog učenja koji se najčešće koriste za rešavanje inženjerskih problema i temelje se na učenju sa nadzorom.

### Zahvalnica

Rad je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekta 'Reinženjering mreže operatora univerzalnog poštanskog servisa uz organizacijsku sinergiju državnih i privrednih resursa-TR36040'

### Literatura

- [1] A. Schrijver, Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency, vol. B. 2003.
- [2] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvatal, and W. J. Cook, The Traveling Salesman Problem: A Computational Study (Princeton Series in Applied Mathematics). Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2007.
- [3] R. L. Karg and G. L. Thompson, "A Heuristic Approach to Solving Travelling Salesman Problems," Manage. Sci., vol. 10, no. 2, pp. 225–248, 1964.
- [4] M. Dry, M. D. Lee, D. Vickers, and P. Hughes, "Human Performance on Visually Presented Traveling Salesperson Problems with Varying Numbers of Nodes," J. Probl. Solving, vol. 1, no. 1, Dec. 2006.
- [5] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," Manage. Sci., vol. 6, no. 1, pp. 80–91, 1959.
- [6] J. K. Lenstra and A. H. G. R. Kan, "Complexity of vehicle routing and scheduling problems," Networks, vol. 11, no. 2, pp. 221–227, 1981
- [7] N. I. Polivanova, "Some functional and structural features of visual components of a problem-solving process," Vopr. Psikhol., vol. 4, pp. 41–51, 1974.
- [8] D. Vickers, M. Butavicius, M. Lee, and A. Medvedev, "Human performance on visually presented Traveling Salesman problems.," Psychol. Res., vol. 65, no. 1, pp. 34–45, 2001.
- [9] A. Walwyn and D. Navarro, "Minimal Paths in the City Block: Human Performance on Euclidean and Non-Euclidean Traveling Salesperson Problems.," J. Probl. Solving, vol. 3, no. 1, pp. 93–105, 2010.
- [10] T. Rach and A. Kirsch, "Modelling human problem solving with data from an online game," Cogn. Process., vol. 17, no. 4, pp. 415–428, Nov. 2016.

**Abstract:** *The study presented here is the first step towards creating an environment which can be used to train an AI agent that would solve non-Euclidean TSPs of any size efficiently. To this end, we have created an online game (Pathgame) to collect human non-Euclidean TSP solution data, which can both be used to aid the training of such an agent and to further our understanding of human performance on this problem. Both the source code of our solution and the data set collected during this trial study will be made available to researchers for free use in future studies.*

**Keywords:** *online game, data collection, Traveling Salesman Problem*

## DEVELOPMENT OF ONLINE GAME FOR DATA COLLECTION IN ORDER TO SOLVE DELIVERY PROBLEMS

Slaviša Dumnić, Đorđije Dupljanin, Predrag Atanasković