

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1678

UMJETNA INTELIGENCIJA U ZATVORENIKOVOJ DILEMI

Petar Belošević

Zagreb, lipanj, 2024.

Zagreb, 4. ožujka 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1678

Pristupnik: **Petar Belošević (0036538383)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul: Računarstvo
Mentor: izv. prof. dr. sc. Marko Čupić

Zadatak: **Računalni inteligentni igrač za igranje Zatvorenikove dileme**

Opis zadatka:

Zatvorenikova dilema je misaoni eksperiment koji igraju dva racionalna agenta koji međusobno mogu ili surađivati ili igrati protiv drugog agenta, a sve u svrhu maksimiziranja nagrade. U okviru ovog završnog rada potrebno je dati detaljni opis problema, istražiti i opisati njegova postojeća rješenja te implementirati računalnog igrača koji nekom tehnikom strojnog učenja pokušava naučiti dobru strategiju igranja. Radu priložiti izvorni i izvršni kod, uz potrebna objašnjenja i dokumentaciju. Citirati korištenu literaturu i navesti dobivenu pomoć.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

Sadržaj

1. Uvod	2
2. Zatvorenikova dilema	4
2.1. Dobra strategija	5
3. Umjetne neuronske mreže	8
3.1. Elmanova neuronska mreža	9
4. Treniranje inteligentnog igrača	10
5. Definiranje pokusa	11
6. Rezultati i rasprava	12
7. Zaključak	13
Literatura	14
Sažetak	16
Abstract	17
A: The Code	18

1. Uvod

Neki od radova koje ćemo citirati su [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Trebaju nam samo radi testiranja kako izgleda referenciranje rada s konferencije, rada iz časopisa, knjige i Internetske stranice.



Slika 1.1. Moja prva slika

Referenciramo se na sliku 1.1. u sredini rečenice, zatim prije zareza 1.1., te zatim na kraju rečenice 1.1. Upravo smo testirali radi li naredba `\ref` ispravno u slučaju kada nakon nje slijedi točka.

Sada slijedi jedna jednačba:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = F(\omega) \tag{1.1}$$

Jednačba (1.1) je moja prva jednačba koja definira par $f(t) \circ \bullet F(\omega)$ ili $F(\omega) \bullet \circ f(t)$.

[7] [8] [9]

Zatvorenikova dilema jedan je od najpoznatijih problema iz područja teorije igara. Dilema proučava interakciju između dvaju pojedinaca kroz igru suradnje i izdaje. Zatvorenikova dilema se može pronaći u korijenu mnogih interakcija koje se pojavljuju u društvu, ali i u životinjskom svijetu. Glavno pitanje je kako ta interakcija utječe na dobrobit oba igrača. Paradoks u Zatvorenikove dileme je činjenica da racionalno razmišljanje navodi svakog pojedinca da odabire opciju koja ne odgovara niti jednom od igrača [10].

U stvarnom životu su takve interakcije često ponavljajuće prirode. Tada je potrebno imati na umu da će druga strana vjerojatno imati iskustvo prošlih interakcija što može utjecati na njihovu odluku u novoj interakciji. Stoga je interesantno razmatranje malo složenijeg problema iterirajuće Zatvorenikove dileme. Zanimljivo je da se u iterirajućem problemu mijenja pristup optimalnoj strategiji u odnosu na jednokratnu Zatvorenikovu dilemu.

U korijenu Zatvorenikove dileme je napetost između individualnog racionalizma (u pogledu da je objema stranama smisleno biti sebičan) i grupnog racionalizma (objema stranama je isplativija obostrana suradnja nego obostrana izdaja) [7].

Mnogo je radova na pisano na temu optimalnog načina igranja Zatvorenikove dileme. Tako je Robert Axelrod iz Sveučilišta u Michiganu održao dva turnira u kojima su sudionici predavali svoje strategije za igranje igre u obliku računalnih programa [7] [8]. Analizom turnira došlo se zanimljivih zaključaka. Axelrod je proučavanjem strategija i njihovih rezultata izlučio nekoliko karakteristika koje imale tendenciju davati bolje rezultate. Te karakteristike su ljubaznost, opraštanje i provokabilnost [8]. ***Možda izbaciti zadnju rečenicu?***

Glavni cilj ovog rada je napraviti model inteligentnog igrača koji će naučiti igrati iterirajuću Zatvorenikovu dilemu. Cilj ovoga je proučiti kakvo će ponašanje razviti inteligentni igrač i kako će igrati protiv nekih drugih poznatih strategija. Također će biti zanimljivo analizirati ponašanje inteligentnog igrača i vidjeti je li razvio karakteristike koje su se pokazale poželjnima u Axelrodovim turnirima.

2. Zatvorenikova dilema

Zatvorenikova dilema je poznati problem iz područja teorije igara koji proučava odnose između pojedinaca. Radi se o igri sa dva igrača koji imaju na izboru dva poteza: suradnja sa drugim igračem, ili izdaja drugog igrača. S obzirom na odabir oba igrača, svakom od njih se daje određena kazna ili nagrada.

Dilema je dobila naziv po ilustrativnom opisu Alberta Tuckera [11]. Dilema je opisana u kontekstu odvojenog ispitivanja dvojice osumnjičenih kriminalaca. Svaki od osumnjičenih može priznati krivnju (ekvivalentno izdaji) ili šutjeti (ekvivalentno suradnji). Sukladno njihovim potezima dodjeljuju im se zatvorske kazne.

Dilema se naravno može staviti i opisati kroz razne slikovite kontekste. No, u ovom radu ćemo radi jednostavnosti dilemu gledati samo kao igru u kojoj igrači skupljaju bodove.

Još raspisati?

Generalna pravila za "bodovanje" je da obostrana suradnja i obostrana izdaja daju simetričnu podjelu bodova, uz to da suradnja daje veći broj bodova. U slučaju da jedan igrač surađuje dok ga drugi izdaje dolazi do nesimetrične podjele bodova. Igrač koje je izdan mora dobiti manje bodove nego bi dobio obostranom izdajom. Igrač koji ga je izdao tim potezom mora dobiti više nego bi dobio obostranom suradnjom. Tipična raspodjela bodova [7] koja će se koristiti i u ovom radu dana je u tablici 2.1.

Tablica 2.1.: Bodovanje odluka igrača u Zatvorenikovo dilemi

Napomena: Bodovi Igrača 1 su dani prvim brojem u svakom od parova.

		Igrač 2	
		Suradnja	Izdaja
Igrač 1	Suradnja	3, 3	0, 5
	Izdaja	5, 0	1, 1

Važno je primijetiti da je Zatvorenikova dilema igra s promjenjivim ishodom [10]. To znači da dobitak jednog igrača nije nužno gubitak drugog igrača i gubitak jednog igrača ne mora nužno biti dobitak drugog igrača [9]. Drugim riječima, mogući su ishodi u kojima oba igrača profitiraju ili oba igrača gube. Upravo ova karakteristika omogućuje suradnji da bude poželjan pristup igranju.

Zbog ove karakteristike Zatvorenikova dilema dobro opisuje mnoge probleme iz stvarnog života i objašnjava zašto je ponekad suradnja sa neprijateljem poželjna. Poznati je takav primjer problem prekomjernog naoružavanja i međusobnog nepovjerenja SAD-a i SSSR-a tijekom hladnog rata [7] Upravo je i taj problem bio jedan od motiva nastanka i proučavanja Zatvorenikove dileme.

2.1. Dobra strategija

Pitanje koje se prirodno nameće u Zatvorenikovo dilemi je dosta očito: Kako dobro igrati ovu igru? Kojom strategijom pristupiti ovoj igri?

U svrhu istraživanja optimalnih strategija Robert Axelrod je 1980. organizirao turnir [7] u koji je pozvao znanstvenike iz raznih područja koji su se bavili Zatvorenikovom dilemom. Učesnici su za turnir izradili strategije igranja Zatvorenikove dileme u obliku računalnog programa. Svaka strategija je igrala Zatvorenikovu dilemu u 200 iteracija sa svakom drugom strategijom, sa samom sobom i sa dodatnom strategijom koja je donosila nasumične odluke. Kasnije te godine Axelrod je organizirao još jedan sličan turnir u svrhu provođenja dodatne analize [8].

Pobjednik u oba turnira je bila strategija zvana "Tit for Tat", također poznata i kao

"Copycat". Strategija je vrlo jednostavna. Na prvom potezu uvijek surađuje, a dalje uvijek kopira suparnikov prethodni potez [7].

Axelrod je analizom rezultata oba turnira pronašao nekoliko karakteristika koje su bile ključne za uspješnost strategija u oba turnira. Pronađene karakteristike su:

- **Ljubaznost** (eng. niceness) [7] - strategija je ljubazna ako nikada neće prva izdati drugog igrača
- **Sklonost opraštanju** (eng. forgiveness) [7] - sklonost strategije da surađuje nakon što ju je drugi igrač izdao
- **Provokabilnost** (eng. provocability) [8] - sklonost da strategija izda drugog igrača nakon što ju je drugi igrač izdao

Strategija "Tit for Tat" je bila uspješna jer je imala sve navedene karakteristike. "Tit for Tat" je ljubazna strategija jer počinje sa suradnjom i izdaje samo ako ju je drugi igrač izdao prvi. Strategija oprašta jer će nakon što bude jednom izdana uzvratiti izdajom, ali će nakon toga nastaviti surađivati dok ponovno ne bude izdana. Također, strategija je provokabilna jer će nakon što bude izdana uzvratiti izdajom.

Axelrod je u svojem radu napomenuo važnu stvar, a to je da ne postoji najbolja strategija za Zatvorenikovu dilemu. To proizlazi iz jednostavne činjenice da performansa strategije uvelike ovisi o strategijama s kojima ta strategija igra. Dakle, okruženje u kojem se nalazi je od presudne važnosti [7].

No kroz detaljnu analizu drugog turnira Axelrod je ustanovio da su navedene karakteristike generalno poželjne i u pravilu donose dobre rezultate. Također, iako "Tit for Tat" nije univerzalno najbolja strategija, pokazuje se da generalno daje odlične rezultate u raznim okruženjima zbog dobro kombiniranih poželjnih karakteristika [8].

Axelrod je također napomenuo da je kod kreiranja strategije potrebna analiza na barem 3 dubine [7]. Prva razina je direktna posljedica trenutne odluke, to jest, koliko bodova igrač dobiva na temelju svoje odluke. Druga razina je uzimanje u obzira da će drugi igrač možda odlučiti kazniti izdaju. Treća razina razmatra da reagiranje na izdaju može prouzrokovati eho efekt međusobnih izdaja koji će dugoročno štetiti i jednom i drugom

igraču.

3. Umjetne neuronske mreže

U svrhu implementacije inteligentnog igrača koji će igrati Zatvorenikovu dilemu korištene su umjetne neuronske mreže.

Odakle citirati?

Umjetne neuronske mreže su jedan od mnogih koncepata u strojnom učenju, koje je najpopularnija grana područja umjetne inteligencije. Neuronsku mrežu čine međusobno povezani umjetni neuroni.

Umjetni neuron je najmanja funkcionalna jedinka neuronske mreže i modelira biološki neuron u ljudskom mozgu. Umjetni neuroni mogu izvršavati vrlo jednostavnu obradu podataka. Svaki umjetni neuron na ulazu prima nekakve vrijednosti (izlazi drugih neurona ili ulazni podaci). Dobiveni ulazi se zbrajaju u jednu sumu koja se provlači kroz takozvanu prijenosnu funkciju. Rezultat prijenosne funkcije se postavlja na izlaz umjetnog neurona te se propagira dalje na ulaze drugih neurona ili na izlaz neuronske mreže. Postoje razne prijenosne funkcije različitih složenosti koje se mogu koristiti kod umjetnih neurona, a neke od njih su: funkcija identiteta, funkcija skoka, sigmoidalna funkcija, tangens hiperbolni, funkcija zglobnica, funkcija propusna zglobnica.

Neka slika neurona (i prijenosnih funkcija)

Umjetni neuroni se u umjetnim neuronskim mrežama obično organiziraju u slojeve. Tako razlikujemo ulazni sloj, skrivene slojeve i izlazni sloj. Skriveni slojevi i izlazni sloj se sastoje od umjetnih neurona dok ulazni sloj zapravo ne sadrži umjetne neurone kakvi su opisani u odjeljku iznad. Neuroni ulaznog sloja na svoje ulaze samo primaju ulazne podatke neuronske mreže te ih dalje prosljeđuju neuronima prvog skrivenog sloja.

Arhitektura umjetne neuronske mreže opisuje kako su povezani umjetni neuroni u

mreži i koliko ih ima. Postoje razne arhitekture neuronskih mreža, što jednostavnih, što kompleksnih, a svaka ima svoje prednosti i područja u kojima su našle primjenu.

U ovom radu koristit će se jednostavna Elmanova neuronska mreža sa potpuno povezanim slojevima.

3.1. Elmanova neuronska mreža

O Elmanovoj neuronskoj mreži...

4. Treniranje inteligentnog igrača

Dobro pitanje

5. Definiranje pokusa

Jedna "iteracija" se sastoji od npr. 50 ponavljanja Zatvorenikove dileme.

6. Rezultati i rasprava

7. Zaključak

Na kraju rada piše se kratak zaključak, duljine do najviše jedne stranice.

Literatura

- [1] A. Agrawal, S. Ramalingam, Y. Taguchi, i V. Chari, “A theory of multi-layer flat refractive geometry”, u *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012., str. 3346–3353. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248073>
- [2] M. Gupta i S. K. Nayar, “Micro phase shifting”, u *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, lipanj 2012., str. 813–820. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6247753>
- [3] D. C. Ghiglia i M. D. Pritt, *Two-Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms, and Software*. Wiley, svibanj 1998.
- [4] R. Hartley i A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.
- [5] Y. Y. Schechner, S. K. Nayar, i P. N. Belhumeur, “Multiplexing for optimal lighting”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, sv. 29, br. 8, str. 1339–1354, kolovoz 2007. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1151>
- [6] 123D Catch, <http://www.123dapp.com/catch>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2017.].
- [7] R. Axelrod, “Effective choice in the prisoner’s dilemma”, *The Journal of Conflict Resolution*, sv. 24, br. 1, str. 3–25, ožujak 1980. [Mrežno]. Adresa: <https://doi.org/10.1177/002200278002400101>
- [8] —, “More effective choice in the prisoner’s dilemma”, *The Journal of Conflict Resolution*, sv. 24, br. 3, str. 379–403, rujan 1980. [Mrežno]. Adresa: <https://doi.org/10.1177/002200278002400301>

- [9] Igra. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013–2024. <https://enciklopedija.hr/clanak/70136>; pristupljeno 8.3.2024.
- [10] Zatvorenikova dilema. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013–2024. <https://enciklopedija.hr/clanak/zatvorenikova-dilema>; pristupljeno 9.3.2024.
- [11] M. E. s. I. Barković Bojanić, “Teorija igara i pravo”, *Pravni vjesnik*, sv. 29, br. 1, str. 59–76, travanj 2013. [Mrežno]. Adresa: <https://hrcak.srce.hr/111004>

Sažetak

Umjetna inteligencija u Zatvorenikovo dilemi

Petar Belošević

Unesite sažetak na hrvatskom.

Naslov, sažetak, ključne riječi (na hrvatskom jeziku) Sažetak opisuje sadržaj rada, prepričan u stotinjak riječi.

Ključne riječi: Zatvorenikova dilema, umjetna inteligencija, umjetne neuronske mreže, inteligentni igrač

Abstract

AI in Prisoner's Dilemma

Petar Belošević

Enter the abstract in English.

Title, summary, keywords (na engleskom jeziku)

Keywords: Prisoner's dilemma, Artificial intelligence, Artificial neural networks, Intelligent player

Privitak A: The Code

Privitak je također opcionalno poglavlje (u dogovoru s mentorom). Sadržaj koji se stavlja u privitak je, općenito, nešto što je, kao cjelinu, prikladno izdvojiti iz sadržaja samog rada. Mogući primjer je tehnička dokumentacija vezana uz završni rad - npr. električka i položajna shema sklopa, sastavnica, predložak tiskane veze, plan bušenja, ispis programa s detaljnim opisom. Drugi primjer uključuju upute za korištenje rezultata rada (softvera ili hardvera), detaljni ispisi mjerenja čiji su rezultati sažeto ili grafički prikazani u radu. Ako se radi o softveru, uobičajeno je navesti podatke o platformi na kojoj se izvodi (npr., karakteristike uređaja i operacijskog sustava te pomoćnog softvera), kao i upute za instalaciju.

U privitku nemojte koristiti stilove razine Heading, već samo (nenumерirani) stil Podnaslov. Na primjer:

Instalacija programske podrške

Upute za korištenje programske podrške