

Šah in znanost

Tokrat gostimo sila zanimivega znanstvenika: **dr. Mateja Guida**, docenta na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, sicer pa tudi raziskovalca umetne inteligence s številnimi mednarodnimi objavami.

Šahisti Mateja poznamo kot odličnega šahista z naslovom mojstra FIDE. V mladosti, ko je imel za igranje več časa, je bil nekajkrat tudi slovenski mladinski prvak (v raznih starostnih kategorijah). V zadnjem času ga večkrat srečamo tudi kot spremljevalca hčere Taje, po mnenju strokovnjakov ene najbolj nadarjenih Slovenk in serijske državne prvakinja v konkurencah najmlajših, ki praviloma niza le zmage ...

Dr. Guid je konec lanskega leta izdal knjigo *Learn and Master Progressive Chess*. Knjiga govori o atraktivni različici šaha, o kateri nam bo dr. Guid več povedal sam:

»Progresivni šah je verjetno z naskokom najbolj priljubljena igra na svetu, o katerih doslej še ni bilo napisane knjige v angleščini. Pri tej različici kraljevske igre beli začne z eno potezo, črni nadaljuje z dvema, beli nato odigra tri in tako naprej. Zaporedne poteze lahko igralec odigra na ogromno načinov in ta kombinatorična eksplozija možnosti predstavlja velik izziv ne le za ljudi, pač



dr. Matej Guid

pa tudi za klasične metode umetne inteligence, namenjene igranju tovrstnih iger. Kombinacije, ki se pojavljajo pri progresivnem šahu, so lahko izjemno atraktivne. Ideja knjige je, da ponovno oživimo to nekoč izjemno priljubljeno igro. Videti je, da možnosti za to so. Po izidu knjige in še zlasti po članku, ki ga je o njej napisal urednik enega od spletnih središč svetovnega šaha ChessBase.com, sem prejel številne zelo pozitivne odzive z različnih koncev sveta.«

Bili ste mentor fakultetnemu Prešernovemu nagrajencu Vitu Janku, ki je izdelal aplikacijo za igranje progresivnega šaha. Kako se pove-

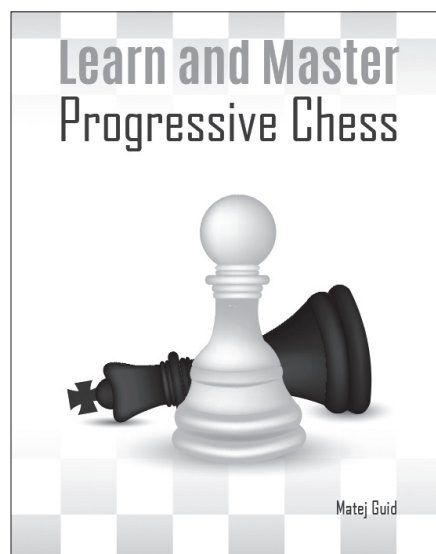
zujeta knjiga in aplikacija? Kaj bi svetovali nekomu, ki želi osvojiti progresivni šah?

»Razvita aplikacija predstavlja daleč najmočnejši program za progresivni šah na svetu. V svojem delu je Vito Janko razvil in primerjal vrsto različnih metod in algoritmov ter kombiniral več pristopov za premagovanje kombinatorične kompleksnosti, razvil otvoritveno knjižico in dodatne mehanizme za igranje končnic. Implementiral je grafični vmesnik, ki poleg igranja uporabnikom med drugim omogoča tudi analizo partij. Nazadnje je razvil še mobilno aplikacijo z različnimi težavnostnimi stopnjami. Nastala je v času pisanja knjige, ko sem bil jeseni kot gostujoči raziskovalec tri mesece na Univerzi v Leidnu na Nizozemskem, kjer smo se med drugim ukvarjali tudi z umetno inteligenco pri igranju iger. Z Vitom sva bila ves čas v stiku. Njega je skrbelo predvsem, kako najlažjo stopnjo narediti dovolj lahko za začetnike, meni pa je bila glavna skrb, kako bi celo mobilna aplikacija imela možnost premagovati tudi najboljše igralce na svetu. Knjiga in aplikacija sta na voljo povsem brezplačno za vse in se odlično dopolnjujeta. Progresivni šah je izjemno zahtevna igra, zato je orodje za analizo in partije za trening, ki so zdaj dostopne kar prek telefona, seveda več kot dobrodošlo. Knjiga s spremljajočimi materiali za trening je nastala po vzoru metode Chess Steps, sicer svetovno priznane metode za učenje šaha. Materiali so bili skrbno izbrani

in kategorizirani po pripadajočih motivih, pri selekciji materialov in preverjanju korektnosti rešitev pa je bila aplikacija v neizmerno pomoč. Tudi umetna inteligenca je igrala pomembno vlogo pri ustvarjanju spremljajočih ilustracij. S pomočjo globokih nevronske mreže sem jih uspel ustvariti kar sam. In bilo mi je v resnično veselje, kakor tudi pisanje knjige.«

Knjiga je izšla pri Založbi FRI Univerze v Ljubljani in je prosto dostopna na naslednji povezavi:

↳ <http://zalozba.fri.uni-lj.si/guid2017.pdf>



Hkrati je na Google Play prosto dostopna tudi brezplačna Android aplikacija Progressive Chess, najdeto jo na naslovu:

↳ <https://ailab.si/progressive-chess/> pa tudi aplikacija za običajne računalnike.

Za vse tiste, ki vas zanima še kaj več, pa priporočamo članek na spletni strani ChessBase.com, ki si ga lahko ogledate na naslednji povezavi:

↳ <https://en.chessbase.com/post/new-year's-present-progressive-chess>

Preden skočimo v svet ume-
tne inteligence in nam bo dr. Guid
z »navadnim ljudem razumljivimi«
besedami skušal pojasniti fenomen
programa AlphaZero, pa si našega
doktorja oglejmo še za šahovnico.
Če le najde nekaj uric, rad sede za
šahovnico. In lahko le obžalujemo,
da teh uric ni nekaj več.

Guid : Van de Plassche

Nizozemska 2017

Partija je bila odigrana na nizozem-
skem ligaškem tekmovanju, dr. Guid
je okrepil lokalno ekipo med že
omenjenim gostovanjem na univerzi
v Leidnu.

1.e4 c5 2.Sf3 Sc6 3.c3 d5 4.d3

Guid tako zavija iz otvoritvene teo-
rije, naporna služba mu ne ponuja
časa za učenje otvoritev.

**4...e5 5.Sbd2 Sge7 6.g3 f6 7.Lg2
Lg4**

Pred nami je kraljeva indijka z obr-
njenimi barvami in (pomembnim)
tempom več za belega.

8.0-0 Dd7 9.a3 h5

Agresivno, a verjetno ne najboljše.
Marsikdo bi izbral igro v središču z
9...d4!?

10.b4

Beli je iz otvoritve prišel s tempom
več, kar sedaj že s pridom izkorišča.

10...d4 11.b5 Sd8

Črni ignorira zamisli belega in mu
prepušča pomembno polje c4. Logi-
čen umik je bil 11...Sa5!

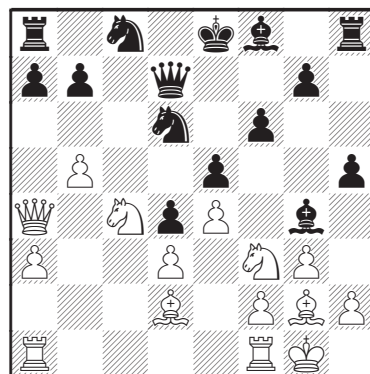
12.cd4 cd4 13.Sc4 Sf7 14.Da4 Sc8

15.Ld2

Beli sicer ima razvojno prednost, a je
črni brez slabosti ...

15...Sfd6?

Logična je želja črnega, da bi zame-
njal močnega skakača. A odigrana
poteza dopušča lepo žrtev:



16.Sfe5! fe5 17.Se5 Db5

Še slabše je 17...De6? 18.b6 Kd8
19.Dd4, s številnimi grožnjami.

18.Dd4

Beli ima dva kmeta za figuro, toda
kakšna dva kmeta! Ko se bo kmečko
središče začelo valiti proti črnemu,
bo zgodbe hitro konec. Svoje bosta
dodala tudi razvojna prednost in
kralj, zaostal v središču. Beli je boljši!

18...Sf7?!

Črni bi se nekoliko bolje upiral po
18...Db6 19.Db6 ab6 20.Sg6 Tg8 21.e5.

19.Sg4! hg4 20.e5!

Naprej! Kmet je nedotakljiv, zaradi
vezav po liniji e, črne figure pa brez
vsake koordinacije.

20...Le7 21.Dg4

Čas za malico. Beli bi bil boljši tudi
po 21.Tfe1!?, denimo 21...0-0 22.Dg4
Dd3 23.Lf4.

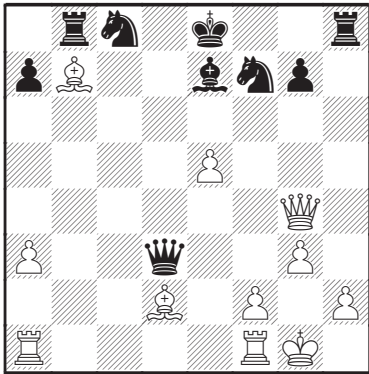
21...Dd3

Seveda ne 21...De5? 22.Lb7 Tb8
23.Lf4+-.

22.Lb7

Še boljše bi bilo mirno 22.Tfd1!?, ko bi imel črni težave po vsej šahovnici.

22...Tb8



23.Lb4!

Začetek zaključnega napada. Najprej odstranitev ključne obrambne figure.

23...Lb4

Po 23...0-0? 24.Le4! Da6 25.e6 Sfd6 26.Lg6 bi beli prišel do odločilnega napada.

24.Db4

Razumljiva je želja belega, da črnega kralja zadrži v središču. Analiza pa je pokazala, da bi bilo mogoče tudi 24.ab4, celo najboljše pa 24.Le4! Dd8 25.Dg7! Lc3 26.Tad1, ko beli napada z vsemi sredstvi.

24...Sd8?

Poteza, ki izgubi. Črni bi se še upiral po 24...Dd7! 25.Tab1 (ne 25.Lc6? Dc6! 26.Db8 Sg5 in črni nevarno grozi.) 25...Sd8 26.Tfd1 Tb7 27.Td7 Tb4 28.Tbd1!, če bi videl računalniško 28...Tb1!!, ko je v končnici le malo slabši.

25.Tfd1

Tako pa je vsega konec.

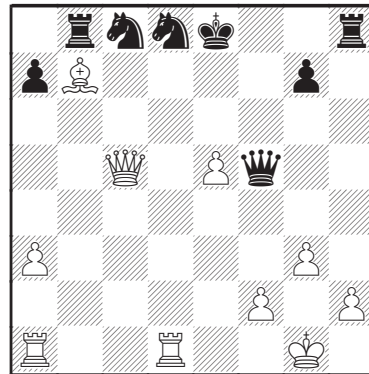
25...Df5

Ali 25...Tb7 26.Td3 Tb4 27.ab4.

26.Db5!

Natančno do konca!

26...Ke7 27.Dc5 Ke8



Sedaj odloči zaključna žrtev:

28.Td8 Kd8 29.Td1 Ke8 30.Dc7 1:0.

Dr. Matej Guid:

AlphaZero

Na področju umetne inteligence je že od nekdanj prisotna ambicija, da bi se programi lahko učili sami in tako samodejno prišli do spoznanj in rešitev, ki bi lahko koristila človeštvu. Šah je bil pri tem z naskokom najbolj priljubljena raziskovalna domena. Desetletja je bil velik izziv raziskovalcev s področja umetne inteligence razviti program za igranje šaha, ki bi premagal tudi najboljše človeške velemojstre. Številni algoritmi, ki so bili razviti tako pri šahu kot pri raznih drugih inteligentnih igrah, so pomagali k napredku umetne inteligence na splošno. Dandanes so najboljši šahovski programi tako rekoč nepremagljivi celo za svetovnega prvaka. Temeljijo na preiskovanju milijonov šahovskih pozicij in se pri tem opirajo na ročno kodirano znanje človeških ekspertov, optimizirani

rano z raznovrstnimi inteligentnimi algoritmi, in na znanje, ki temelji na celotni zgodovini šahovskega udejstvovanja. Sedaj pa se je pojavil program, poimenovan AlphaZero, ki se je s pomočjo algoritmov umetne inteligence šaha naučil le s pomočjo igranja s samim seboj in po manj kot enem dnevu učenja postal najboljši igralec šaha na planetu. Kako je to mogoče?

Predhodnika: AlphaGo in AlphaGoZero

Bil sem ravno na univerzi v Leidnu kot gostujoči raziskovalec, ko me je nekega oktobrskega jutra poklical profesor Jaap van den Herik, eden od pionirjev na področju umetne inteligence v igrah: »Matej, se spomniš programa AlphaGo, ki je v goju premagal svetovnega prvaka? No sedaj je isti program izgubil proti novemu programu, AlphaGo Zero, in to z rezultatom 100 proti 0!« Slišalo se je neverjetno. Predstavljajte si, da bi se na primer po dvoboju Carlsen - Karjakin pojavil igralec, ki bi v novem dvoboju svetovnega prvaka premagal brez enega samega oddanega remija!

Še bolj šokantna je bila najbolj pomembna razlika med obema »Alpha« različicama za igranje goja: medtem ko se je AlphaGo učil tudi s pomočjo velike množice človeških partij, se je AlphaGo Zero igre naučil brez kakršnegakoli človeškega predznanja. Začel je kot tabula rasa, igral partije sam proti sebi (začenši s popolnoma naključnimi potezami!),

se pri tem učil in po le nekaj dneh odkril mnoga znanja, ki jih je človeštvo skozi milijone odigranih partij akumuliralo več stoletij. Še več: igralci goja so pripovedovali o novih, nekonvencionalnih strategijah in o presenetljivih, nadvse kreativnih potezah.

Spraševali smo se seveda, če bi podoben pristop lahko vodil do podobnega podviga tudi v šahu. Ne glede na to, da go z vidika kombinatorične kompleksnosti za računalnike predstavlja trši oreh od šaha, so bili sorodni pristopi in algoritmi, ki jih uporablja AlphaGoZero in o katerih smo lahko prebrali v prestižni reviji Nature, pri šahu dotlej neuspešni. Kasneje nam je celo profesor David Silver, glavni protagonist celotne zgodbe, ki je sicer nastala v Googlovem podjetju DeepMind, zaupal, da niso bili povsem prepričani, kako se bo algoritem obnesel pri šahu ter da so se ravno zato odločili, da bo to njihov naslednji korak!

Pojavitev programa AlphaZero

Le dober mesec in pol dni kasneje, dne 5. decembra, se je pojavil nov znanstveni članek, z njim pa novica, ki je tokrat šokirala še šahovsko javnost. Novi program, poimenovan AlphaZero, se je na podoben način kot njegov predhodnik, le s pomočjo vnesenih osnovnih pravil igre in igranja s samim seboj, v le nekaj urah (devetih, če smo natančni!) naučil igrati kraljevsko igro tako dobro, da se je vsem znani program Stockfish, prav gotovo eden najboljših šaho-

vskih programov na svetu, v medsebojnem dvoboju izkazal povsem nebogljen: v stotih partijah je iztržil le 75 remijev, ob 25 porazih! V članku je bilo objavljenih deset partij (zmag), ki nas niso pustile ravnodušne.

Supervelemojster vseh iger

AlphaZero na začetku učenja ne pozna niti vrednosti figur in igra povsem naključno. Pri učenju ne uporablja niti trohice človeškega znanja, nobenih partij, kaj šele učbenikov in poznavanja taktičnih in strateških motivov. Vse kar potrebuje, so osnovna pravila igre, kar v primeru šaha vključuje še dimenzije šahovnice, način premikanja figur, možnosti rokade, en passant, remi s ponavljanjem potez ipd. In nič več! Ste morda opazili, da v njegovem imenu šah niti ni omenjen!? Z razlogom: isti program z vnesenimi pravili za igro šogi (japonska različica šaha) je z rezultatom 91:9 premagal najboljši program za igranje te igre, Elmo. Še več: s pravili igre go je premagal celo sam AlphaGoZero.

Z drugimi besedami: AlphaZero je mogoče uporabiti za »izdelavo« izjemno močnih igralcev v katerikoli igri s popolno informacijo, se pravi pri vseh igrah, pri katerih so vse informacije o trenutnem stanju igre znane vsem igralcem (na primer pri šahu ves čas vidimo celotno šahovnico, za razliko od pokra, ko je del kart prikritih). Razlog je nadvse preprost: za učenje ni potrebno imeti na voljo nikakršne ekspertize, le pravila igre!

Kako se uči AlphaZero?

Proces učenja nove igre je pri AlphaZero v bistvu izjemno preprost:

- v mislih odigraj možne prihodnje scenarije in pri tem daj prednost obetavnim nadaljevanjem ter seveda upoštevaj verjetne odgovore nasprotnika (ali nasprotnikov!), ves čas nameni del pozornosti tudi raziskovanju dotlej neznanega;
- pri soočenju s še ne videno pozicijo oceni njeno vrednost in posodobi svoje prepričanje o oceni vseh pozicij, ki so vodile do sem;
- ko nehaš razmišljati o možnih variantah, odigraj potezo, ki si jo najbolj raziskal;
- po koncu partije se vrni k vsem pozicijam, za katere meniš, da si jih napačno ocenil (ko si preiskoval možne poti od tam naprej) in posodobi svoje razumevanje teh pozicij.

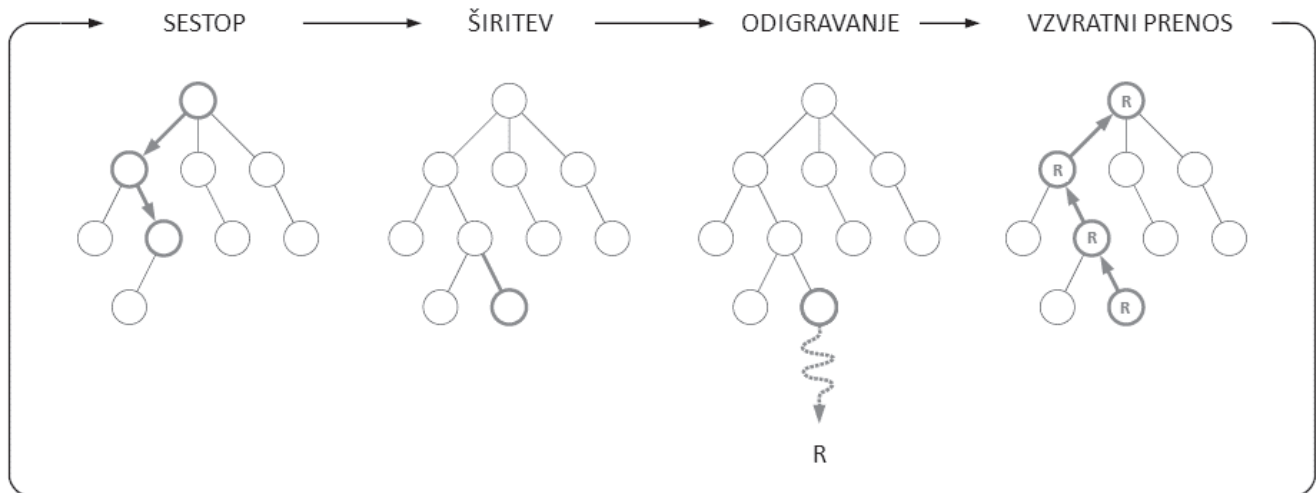
Zveni znano, kaj pravite? Tudi ljudje se na podoben način učimo iger, kajne? Ko odigramo slabo potezo, smo bodisi napačno ocenili vrednost prihodnjih stanj, bodisi nas je nasprotnik presenetil s katerim odgovorom, ki se nam dotlej ni zdel dovolj verjeten in ga zato nismo dovolj raziskali.

Znanje in preiskovanje

AlphaZero pri učenju igre uporablja izjemno dodelano obliko t. i. spodbujevalnega učenja. Gre za eno najbolj splošnih paradigem strojnega učenja, ko učeči programi s poskušanjem ugotavljajo kako se je najbolje

obnašati v danem okolju. Vse skupaj se začne z nevronske mreže, ki o igri ne ve popolnoma ničesar. Program nastopi kot sam svoj učitelj in igra

- vzratni prenos rezultata partije nazaj po drevesu do začetnega stanja.



sam proti sebi, pri tem pa znanje, ki se akumulira v nevronske mreži, kombinira z močnim preiskovalnim algoritmom. Nevronska mreža se med igro nenehno posodablja in skuša predvideti tako vrednost možnih nadaljevanj kot zmagovalca.

AlphaZero torej ocenjuje pozicije s pomočjo vse »pametnejše« nevronske mreže. Kako pa preiskuje in izbira naslednje poteze?

Za preiskovanje uporablja algoritem MCTS (Monte-Carlo Tree Search), ki ga v slovenščini imenujemo drevesno preiskovanje Monte Carlo. Njegovo delovanje ponazarja naslednja skica in ga lahko pri šahu povzamemo z naslednjimi štirimi fazami:

- sestop po drevesu, dokler algoritem ne doseže pozicije, ki je v drevesu še ni;
- širitev drevesa, vključimo novo pozicijo;
- odigravanje potez do konca partije;

Pri algoritmu MCTS se drevo razrašča asimetrično v najbolj obetavni smeri, pri tem pa ves čas kombinira raziskovanje prostora in izkoriščanje znanja. To pomeni, da se najbolj obetavnim nadaljevanjem nameni največ pozornosti, hkrati pa dobijo del pozornosti tudi manj raziskana nadaljevanja.

Primerjava s klasičnimi programi za igranje šaha

Ko je proces učenja končan, program uporablja najsodobnejšo različico nevronske mreže, za preiskovanje pa še naprej koristi opisani algoritem MCTS. Vloga nevronske mreže je ocenjevanje pozicij in hkrati usmerjanje preiskovanja.

Klasični programi za igranje šaha (na primer Stockfish in Komodo) prav tako uporabljajo preiskovalna drevesa, pri tem pa se opirajo na prav tako močan in že desetletja uporabljeni algoritem alfa-beta, ki omo-

goča učinkovito »rezanje« teh dreves. To pomeni, da program pri preiskovanju učinkovito zavrže večino nepomembnih nadaljevanj. Pomembno vlogo igra ocenjevalna funkcija, tipično sestavljena iz številnih gradnikov, ki jih opredelijo šahovski eksperti in so v nadaljevanju lahko predmet izboljšav z različnimi optimizacijskimi algoritmi. Za ilustracijo: pri neki različici programa Crafty je bila vrednost trdnjave na odprti liniji 0,24 točke, vrednost trdnjave za prostim kmetom pa 0,40 točke. Seštevek tovrstnih vrednosti opredeljuje oceno neke pozicije, kar se morda sliši absurdno, vendar v kombinaciji s preiskovanjem v globino (po principu »čim globlje, tem bolje«) in z vzvratnim prenosom vrednosti do korena drevesa po principu minimax ta pristop deluje presenetljivo dobro. Za res uspešno igranje pa zahteva serijo izboljšav, ki temeljijo na domenskem znanju. Kar pomeni, da je program, ki dobro igra šah, zelo težko prilagoditi na primer za igranje igre šogi.

Bistveni razliki med programom AlphaZero in klasičnimi programi za igranje šaha sta naslednji.

- Vlogo ocenjevalne funkcije ima pri AlphaZero kar nevronska mreža, ki je bistveno bolj kompleksna od klasičnih ocenjevalnih funkcij. To pomeni, da program za oceno posamezne pozicije porabi bistveno več časa, vendar pa je ocena bistveno bolj točna. Več časa za oceno pa občutno zmanjša razpoložljivi čas za preiskovanje.

- Preiskovanje je bistveno bolj usmerjeno. Ker se pri algoritmu MCTS drevo razrašča v najbolj obetavni smeri, program lahko doseže neslutene globine in preiskuje bistveno dlje kot smo tega vajeni pri klasičnih programih.



Iz opisanega tudi izhaja ocena, da je pristop programa AlphaZero v primerjavi s klasičnimi programi veliko bližje človeškemu.

Dan, ko se je AlphaZero naučil igrati šah

Cilj učenja je bila optimizacija nevronske mreže, ki programu služi za ocenjevanje šahovskih pozicij. Učenje je potekalo na izjemno močni namenski opremi, ki je vsebovala kar 5000 procesorjev TPU (ang. tensor processing unit), ki so jih razvili pri Googlu za namen strojnega učenja z nevronskimi mrežami in ki sicer niso javno dostopni. Učenje na manj zmogljivi opremi bi potekalo (bistveno) počasneje, vendar bi v principu še vedno vodilo do enakega rezultata.

Po devetih urah učenja so v ekipi DeepMind ocenili, da je nevronska mreža usposobljena za dvoboj proti enem od najmočnejših šahovskih programov, Stockfishu. V tem času je program odigral 44 milijonov partij.

V DeepMind sicer ocenjujejo, da je AlphaZero po šahovski moči postal primerljiv s programom Stockfish že po štirih urah učenja.

Dvoboj AlphaZero : Stockfish

Namen dvoboja s programom Stockfish je bila objektivnejša evalvacija programa AlphaZero. V dvoboju je AlphaZero uporabljal le še 4 TPU procesorje, Stockfish pa je uporabljal 64 procesorskih jeder. Najverjetneje so v ekipi DeepMind ocenili, da programa na ta način razpolagata s približno ekvivalentno strojno opremo. Oba programa sta imela na voljo minuto časa za vsako potezo.

Medtem ko je AlphaZero v povprečju preiskal 80 tisoč pozicij na sekundo, je ta številka pri Stockfishu znašala 70 milijonov. Kot smo razložili, je ta ogromna razlika posledica tega, da AlphaZero uporablja bistveno kompleksnejši mehanizem (nevronska mrežo) za ocenjevanje vrednosti šahovskih pozicij, posledično mu ostane manj časa za preiskovanje.

Programa sta med seboj odigrala 100 partij. Alphazero je zmagal v 25 partijah, 75 partij pa se je končalo z remijem. Večino partij (22) je AlphaZero dosegel z belimi figurami, s črnimi figurami je zmagal le trikrat. Slednje je morda nekoliko presenetljivo, saj se je tako pri šogiju kot goju z obojimi barvami odrezal približno enako dobro.

Visoka zmaga je nedvomno impresivna, kljub temu pa se je v šahovskem svetu pojavilo nekaj očitkov,

predvsem v bran programu Stockfish. Eden od teh očitkov je bil, da je fiksni čas minuta na potezo nenaraven. Vendar pa sta oba programa razpolagala z enakim časom. Dodatni eksperimenti, ki jih je v znanstvenem članku opisala ekipa DeepMind, so pokazali, da se s povečevanjem časa za razmišljanje razlika med programoma še poveča v prid AlphaZero. Zaradi fiksne časovne omejitve naj Stockfish ne bi imel možnosti izkoristiti svojih mehanizmov za razpolaganje s časom. Slednje drži, vendar pa se pri AlphaZero po razpoložljivih informacijah s tem (relativno lahkim) izzivom niti niso ukvarjali. Spet bi lahko bil očitek, da je vzrok za razliko v moči boljše upravljanje s časom. S tega vidika je odločitev za fiksni čas za namen evalvacije videti pravilna.



dr. Matej Guid

Še en pogost očitek je bil, da program Stockfish ni razpolagal z odprto knjigo. Slednje je seveda bilo nujno za korektno izvedbo eks-

perimenta, v nasprotnem primeru bi se lahko soočili z nasprotnim očitkom, češ da je bila prav otvoritvena knjižica vzrok porazov. Omenimo pa lahko, da sta brez otvoritvene knjižice igrala oba programa. AlphaZero se je v fazi učenja naučil ocenjevati pozicije v vseh stadijih igre. Težko je oceniti, kako kakovostna je nevronska mreža pri ocenjevanju otvoritvenih pozicij. Zmotno je slepo verjeti, da so rezultati otvoritvenih eksperimentov, ki so prikazani v članku, blizu absolutni resnici glede objektivne vrednosti navedenih otvoritev.

Kakorkoli že, z zelo visoko stopnjo zanesljivosti lahko ugotovimo, da je AlphaZero po moči presegel Stockfisha. Vseeno pa je zanimivo opaziti, da je bila pri šogiju razlika med AlphaZero in programom Elmo, izražena v točkah ELO, še bistveno višja.

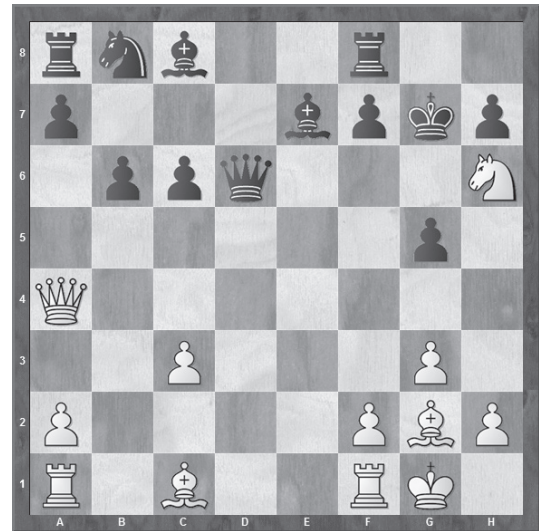
Pojavlja se vprašanje, ali bi AlphaZero igral še (bistveno) bolje, če bi imel na voljo več časa za učenje? Eksperimenti so pokazali, da ne nujno. Ali to pomeni, da smo že blizu optimalni igri? Po vsej verjetnosti ne.

Objavljenih 10 partij je glede na odzive prek interneta na mnoge pustilo globok vtis. Name osebno je največji vtis naredila deseta objavljena partija, ko je program meni nič tebi nič žrtvoval skakača na h6 in dal prednost razvojni potezi 19.Te1!? (ali je vprašaj tukaj odveč?), nato pa mirno nadaljeval z razvojem in se spretno izmikal menjavi dame. Koliko igralcev bi se odločilo za takšno žrtev, če bi vedeli, da bo sedem potez pozneje pri skakaču in

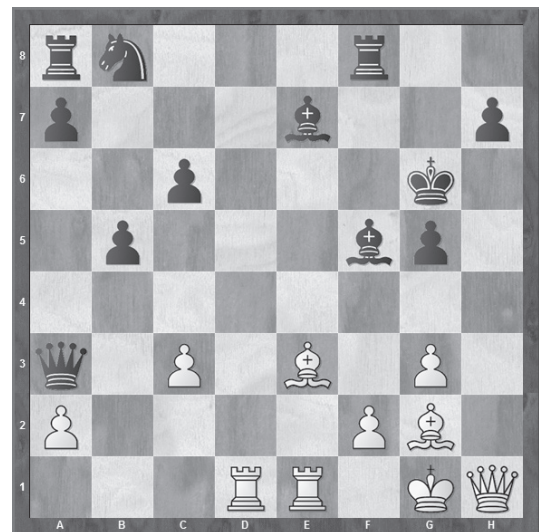
kmetu manj povrhu vsega še dama pristala v kotu šahovnice?

AlphaZero : Stockfish,

10. partija: poziciji pred 19. Tf1-e1



in po 26.Dh4-h1.



Podvig AlphaZero bo nedvomno vodil do novih prebojnih odkritij tudi na drugih področjih. Naj zaključim z mislijo, da nam je AlphaZero pokazal, da je kljub izjemni moči, ki jo demonstrirajo dandanašnji, vsem dostopni šahovski motorji, še vedno mogoče igrati bolje. Precej bolje.

