



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

HEURISTIKY PRO HRANÍ HRY SCOTLAND YARD

HEURISTICS FOR THE SCOTLAND YARD BOARD GAME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL CEJPEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. FRATIŠEK ZBOŘIL, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce



156221

Ústav: Ústav inteligentních systémů (UITS)
Student: **Cejpek Michal**
Program: Informační technologie
Název: **Heuristiky pro hraní hry Scotland Yard**
Kategorie: Umělá inteligence
Akademický rok: 2023/24

Zadání:

1. Seznamte se s pravidly deskové hry typu "Scotland Yard", kdy pozice jedné z figur bývá protihráčům ukázána jen v některých kolech hry. Také nastudujte výsledky, které pro automatické hraní této hry byly dosaženy.
2. Určete metody, které by měly být důvodně vhodné pro realizaci systému, který bude hrát tuto hru autonomně. Zaměřte vedle klasických metod hraní her i metody pro počítačové učení, jako jsou například metody posilovaného učení a hlubokého učení.
3. Pro jednotlivé role figur ve hře implementujte algoritmy řízení a ověřte jejich schopnost plnit zadané cíle.
4. Vyhodnoťte úspěšnost obou stran hry pro různé míry zapojení metod strojového učení a diskutujte zjištěné výsledky.

Literatura:

- Nijssen, J., A., M., Winands, H., M.: "Monte Carlo Tree Search for the Hide-and-Seek Game Scotland Yard", IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games 4(4):282 - 294, 2012
- Norvig, P., Russel, S. : "Artificial Intelligence, A Modern Approach", Prentice Hall, 2020
- Daniel Borák: "Heuristic Evaluation in the Scotland Yard Game", Bakalářská práce, 2021, ČVUT

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

První dva body zadání

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Zbořil František, doc. Ing., Ph.D.**

Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1.11.2023

Termín pro odevzdání: 9.5.2024

Datum schválení: 6.11.2023

Abstrakt

Tato práce se zabývá možností použití algoritmů hlubokého a posilovaného učení pro řešení problémů s neúplnou informací. Konkrétně je hlavním zkoumaným algoritmem je PPO – Proximal Policy Optimization (optimalizace proximální politiky).

Práce se zabývá jeho teoretickými základy a následně jeho aplikací na hru Scotland Yard. Výsledky jsou porovnány s jinými algoritmy a je provedena analýza výhod a nevýhod zhotovené implementace.

[Výsledky jsou ...]

Abstract

asd Přeložit asds

Klíčová slova

Sem budou zapsána jednotlivá klíčová slova v českém (slovenském) jazyce, oddělená čárkami.

Keywords

Sem budou zapsána jednotlivá klíčová slova v anglickém jazyce, oddělená čárkami.

Citace

CEJPEK, Michal. *Heuristiky pro hraní hry Scotland Yard*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. František Zbořil, Ph.D.

Rozšířený abstrakt

Úvod

Hra Scotland Yard

Experimenty

- *Porovnání s náhodnou politikou*
- *Porovnání s jinými algoritmy - implementace DQN - v knihovně rllib*
- *Porovnání s monte carlo algoritmem - zdroj na internetu*

Heuristiky pro hraní hry Scotland Yard

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana X... Další informace mi poskytli... Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Michal Cejpek
18. března 2024

Poděkování

V této sekci je možno uvést poděkování vedoucímu práce a těm, kteří poskytli odbornou pomoc (externí zadavatel, konzultant apod.).

Obsah

1	Úvod	3
2	Shrnutí dosavadního stavu	4
2.1	Hra na motivy Scotland Yard	4
2.2	Hry s neúplnou informací	5
2.3	Vhodné algoritmy pro řešení problému	5
2.4	Algoritmus PPO	5
3	Zhodnocení současného stavu a plán práce (návrh)	6
4	Uživatelské rozhraní	7
5	Implementace	8
5.1	Logika hry	8
5.2	Prostředí	8
5.3	Vizuální stránka	8
5.4	Učení	8
6	Testování	9
7	Závěr	10
8	Přílohy	11
	Literatura	12
A	Checklist	13

Seznam obrázků

Kapitola 1

Úvod

Umělá inteligence je obor, který nás postupem let všechny obklopuje čím dál tím více. Dokonce je navždy spjata i s naším českým národem, když Karel Čapek dal zrodu slova robot.

Pokrok umělé inteligence je často měřen aplikací v oblasti her. Hry jsou vhodným ukazatelem pokroku v oblasti umělé inteligence, protože mají jasná pravidla, výkon je snadno měřitelný a pokrok dokáže vidět i lajk. Umělá inteligence již dokázala porazit nejlepší hráče v šachu [5], Dota 2 [6] a Go [3].

Hra studovaná v této práci je hra Scotland Yard. Je to hra pro tři až šest hráčů. V této hře obvykle hraje jeden hráč jako Pan X, který se snaží uniknout policistům, ovládanými ostatními hráči. Policisté avšak nevědí, kde na herním poli se Pan X nachází. Musí tedy odhadovat jeho pozici a spolupracovat mezi sebou, aby ho mohli polapit. Pozice Pana X je odhalena pouze v určitých kolech. Hra končí, když je Pan X chycen (vyhrávají policisté), nebo když je dosažen maximální počet kol (vyhrává Pan X). Scotland Yard je ideální hrou pro studování umělé inteligence, protože je hra s neúplnou informací a k vítězství policistů je zapotřebí spolupráce.

Zaměření této práce jsem si vybral jelikož mi vždy byla umělá inteligence blízká a vždy jsem chtěl . Avšak jsem nikdy nenašel odhodlání ponořit se do této oblasti.

Rozhodl jsem se pro bližší zkoumání algoritmů posilovaného učení, konkrétně algoritmu PPO (Proximal Policy Optimization). Tento algoritmus je často používán pro řešení problémů se spojitými veličinami a ve 3D prostoru. Dle provedených studií je vhodný pro řešení problémů s neúplnou informací [1] a je vhodný pro hry na schování a hledání [2]. Proto je pro mě zajímavý a zkušenost s tímto algoritmem by se dala využít v mém pracovním životě.

Pro zpracování práce byl využit tyto hlavní knihovny:

- *Ray.Rlib* - knihovna s implementací algoritmu PPO
- *PyTorch* - podpůrná knihovna Ray.Rlib
- *TensorFlow* - podpůrná knihovna Ray.Rlib
- *Gym* - knihovna pro vytvoření prostředí pro učení
- *Pygame* - knihovna pro vytváření uživatelského rozhraní

Kapitola 2

Shrnutí dosavadního stavu

- 40-50 % rozsahu práce
- Hodně citovat literaturu
- Vysvětlit všechno, už ne pro plebiky
- Je vhodné na začátku této části uvést, co obsahuje a proč a taky že „není encyklopedickým přehledem“
- Asi tak ze 2 kapitol?
- Existující řešení (implementace scotlandu, říct že se implementuje pomocí tamtoho algoritmu a proč jsem vzal PPO)

2.1 Hra na motivy Scotland Yard

Scotland Yard je populární hra pro tři a více hráčů, která kombinuje prvky schovávané a hry na honěnou. Jeden hráč hraje za Pana X, který se snaží uniknout policistům, ovládanými ostatními hráči. Hra končí, když je Pan X chycen (vyhrávají policisté), nebo když je dosažen maximální počet kol (vyhrává Pan X). Originální hra se odehrává v Londýně. Na herní mapě se nachází 200 polí, které jsou vzájemně propojené náhodnými cestami. Každá cesta povoluje určitý způsob pohybu (např. pouze taxíkem, pouze autobusem, atd.). Jednotliví hráči využívají prvky veřejné dopravy k pohybu po herní ploše, kterými jsou:

- *Taxi*
- *Autobus*
- *Metro*
- *Trajekt*

Každému hráči je na začátku hry přidělen pouze určitý počet jízdenek na tyto dopravní prostředky. Pro využití dopravy je potřebná právě tato jízdenka. Pokud ji hráč nemá, nemůže již tento způsob přepravy použít. Hra se dělí na kola, ve kterých se hráči střídají.

Hlavní myšlenkou hry je, že po většinu kol je pozice Pana X je policistům utajena. Odhaluje se jim pouze určená kola. To znamená, že policisté musí odhadovat další kroky Pana X aby ho mohli polapit. Tímto se ze hry Scotland Yard stává hra s neúplnou informací. Tento fakt ji činí vhodnou pro studování a rozvíjení oboru umělé inteligence.

Zkoumaná modifikovaná verze

Tato práce využívá modifikovanou verzi hry Scotland Yard, ve které se hráči pohybují po mřížkové herní ploše ve tvaru čtverce. Na mřížce se nachází 15x15 polí. Hráči se po těchto polích pohybují ortogonálně i diagonálně, vždy o maximálně 1 pole. Hráč se může rozhodnout nezměnit pozici a zůstat na svém aktuálním poli. K pohybu nejsou potřebné žádné jízdenky. Toto zjednodušení herní plochy nijak nemění základní podstatu hry, zachovává neurčitost, ale značně zjednodušuje implementaci.

2.2 Hry s neúplnou informací

2.3 Vhodné algoritmy pro řešení problému

// Popsat algoritmy pro řešení problému s neúplnou informací + algoritmy úspěšné v řešení hry scotland yard

2.4 Algoritmus PPO

Kapitola 3

Zhodnocení současného stavu a plán práce (návrh)

- *Kritické zhodnocení dosavadního stavu*
- *Návrh, co by bylo vhodné vyřešit na základě znalostí dosavadního stavu*
- *Co jste konkrétně udělal s teorií popsanou výše*
- *Volba OS, jazyk, knihovny*
- *Detailní rozbor zadání práce, detailní specifikace a formulace cíle a jeho částí*
- *Popis použití řešení, situace/problémy, které projekt řeší*
- *Postup práce/kroky vedoucí k cíli, rozdělení celku na podčásti*
- *Návrh celého řešení i jeho částí, s odkazy na teoretickou část*

Kapitola 4

Uživatelské rozhraní

.

Kapitola 5

Implementace

-

5.1 Logika hry

5.2 Prostředí

5.3 Vizuální stránka

5.4 Učení

Kapitola 6

Testování

Kapitola 7

Závěr

Kapitola 8

Přílohy

Literatura

- [1] BAES, J. *Application of Reinforcement Learning Algorithms to the Card Game Manille*. 2022. Diplomová práce. UGent. Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur.
- [2] BAKER, B., KANITSCHIEDER, I., MARKOV, T., WU, Y., POWELL, G. et al. *Emergent Tool Use From Multi-Agent Autocurricula*. 2020.
- [3] BOROWIEC, S. *AlphaGo seals 4-1 victory over Go grandmaster Lee Sedol* [online]. 2019 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/15/googles-alphago-seals-4-1-victory-over-grandmaster-lee-sedol>.
- [4] HEROUT, A. *Herout.net – Poznámky učitele, kouče, čtenáře*. [online]. 2018 [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <http://www.herout.net/>.
- [5] NEWBORN, M. *Kasparov versus deep blue: computer chess comes of age*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1996. ISBN 978-0-387-94820-1.
- [6] OPENAI. *OpenAI Five defeats Dota 2 world champions* [online]. 2019 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_\(chess_computer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_(chess_computer)).

Příloha A

Checklist

Tento checklist byl převzat ze šablony pro kvalifikační práce, která je k dispozici na blogu prof. Herouta [4], který s laskavým dovolením využil nápadu dr. Szökeho¹.

Velká bezpečnost letecké dopravy stojí z části na tom, že lidé kolem letadel mají **checklisty** na úplně každý, třeba rutinní a dobře zažitý, postup. Jako pilot strpí to, že bude trochu za blbce a opravdu tužičkou do seznamu úkonů odškrtná dokonale zvládnuté akce, vytiskněte si a odškrtejte před odevzdáním diplomky i vy tento checklist a vyhněte se tak častým chybám, které by mohly mít až fatální následky na výsledné hodnocení Vaší práce.

Struktura

- ☐ Už ze samotných názvů a struktury kapitol je patrné, že bylo splněno zadání.
- ☐ V textu se nevyskytuje kapitola, která by měla méně než čtyři strany (kromě úvodu a závěru). Pokud ano, radil(a) jsem se o tom s vedoucím a ten to schválil.

Obrázky a grafy

- ☐ Všechny obrázky a tabulky byly zkontrolovány a jsou poblíž místa, odkud jsou z textu odkazovány, takže nebude problém je najít.
- ☐ Všechny obrázky a tabulky mají takový popisek, že celý obrázek dává smysl sám o sobě, bez čtení dalšího textu. Vůbec nevadí, když má popisek několik řádků.
- ☐ Pokud je obrázek převzatý, tak je to v popisku zmíněno: „Převzato z [X].“
- ☐ Písmenka ve všech obrázcích používají font podobné velikosti, jako je okolní text (ani výrazně větší, ani výrazně menší).
- ☐ Grafy a schémata jsou vektorově (tj. v PDF).
- ☐ Snímky obrazovky nepoužívají ztrátovou kompresi (jsou v PNG).
- ☐ Všechny obrázky jsou odkázány z textu.
- ☐ Grafy mají popsané osy (název osy, jednotky, hodnoty) a podle potřeby mřížku.

¹<http://blog.igor.szoke.cz/2017/04/predstartovni-priprava-letu-neni.html>

Rovnice

- ☐ Identifikátory a jejich indexy v rovnicích jsou jednopísmenné (kromě nečastých zvláštních případů jako t_{\max}).
- ☐ Rovnice jsou číslovány.
- ☐ Za (nebo vzácně před) rovnicí jsou vysvětleny všechny proměnné a funkce, které zatím vysvětleny nebyly.

Citace

- ☐ **Všechny použité zdroje jsou citovány.**
- ☐ Adresy URL odkazující na služby, projekty, zdroje, github apod. jsou odkazovány pomocí `\footnote{\url{...}}`.
- ☐ Všechny citace používají správné typy.
- ☐ Citace mají autora, název, vydavatele (název konference), rok vydání. Když některá nemá, je to dobře zdůvodněný zvláštní případ a vedoucí to odsouhlasil.
- ☐ Je-li ve zdrojových textech programu něco převzaté, je to tam řádně citováno v souladu s licencí.
- ☐ Je-li podstatná část zdrojových textů programu převzatá, je toto zmíněno v textu práce a je citován zdroj.

Typografie

- ☐ Žádný řádek nepřetéká přes pravý okraj.
- ☐ Na konci řádku nikde není jednopísmenná předložka (spraví to nedělitelná mezera `~`).
- ☐ Číslo obrázku, tabulky, rovnice, citace není nikde první na novém řádku (spraví to nedělitelná mezera `~`).
- ☐ Před číselným odkazem na poznámku pod čarou nikde není mezera (to jest vždy takto², nikoliv takto ³).

Jazyk

- ☐ Použil jsem kontrolu pravopisu a v textu nikde nejsou překlipy.
- ☐ Nechal jsem si text přečíst od (alespoň) jednoho dalšího člověka, který umí dobře česky / anglicky / slovensky.
- ☐ V práci psané česky nebo slovensky abstrakt zkontroloval někdo, kdo umí opravdu dobře anglicky.
- ☐ V textu se nikde nepoužívá druhá mluvnická osoba (vy/ty).

²příklad poznámky pod čarou

³jiný příklad poznámky pod čarou

- ☐ Když se v textu vyskytuje první mluvnická osoba (já, my), vždy se popisuje subjektivní záležitost (*rozhodl jsem se, navrhl jsem, zaměřil jsem se na, zjistil jsem* apod.).
- ☐ V textu se nikde nepoužívají hovorové výrazy.
- ☐ V českém či slovenském textu se zbytečně nepoužívají anglické výrazy, které mají ustálené české překlady. Např. slovo *defaultní* se nahradí např. slovem *implicitní* nebo *výchozí*.

Výsledek na datovém médiu, tj. software

- ☐ Mám připravené nepřepisovatelné datové médium
 - CD-R,
 - DVD-R,
 - DVD+R ve formátu ISO9660 (s rozšířením RockRidge a/nebo Joliet) nebo UDF,
 - paměťová karta SD (Secure Digital) ve formátu FAT32 nebo exFAT s nastavenou ochranou proti přepisu.
- ☐ Pokud je výsledek online (služba, aplikace, ...), URL je viditelně v úvodu a závěru, aby bylo jasné, kde výsledek hledat.
- ☐ Na médiu nechybí povinné:
 - zdrojové kódy (např. Matlab, C/C++, Python, ...)
 - knihovny potřebné pro překlad,
 - přeložené řešení,
 - PDF s technickou zprávou (je-li pro tisk 2. verze, tak obě),
 - zdrojový kód zprávy (L^AT_EX),

a případně volitelně po dohodě s vedoucím práce

- relevantní (např. testovací) data,
 - demonstrační video,
 - PDF plakátku,
 - ...
- ☐ Zdrojové kódy jsou refaktorovány, komentovány a označeny hlavičkou s autorstvím, takže se v nich snadno vyzná i někdo další, než sám autor.
- ☐ Jakákoliv převzatá část zdrojového kódu je řádně citována – tedy označena úvodním a v případě převzetí více řádků i ukončovacím komentářem. Komentář obsahuje vše, co vyžaduje licence uvedená na webu (vždy je nutné se ji pokusit najít – např. Stack Overflow⁴ má striktní pravidla pro citace).

⁴<https://stackoverflow.blog/2009/06/25/attribution-required/>

Odevzdání

- ☐ Chci práci (na max. 3 roky) utajit? Pokud ano, nejpozději měsíc před termínem odevzdání práce si podám žádost (v IS), ke které přiložím případné stanovisko firmy, jejíž duševní vlastnictví je třeba chránit.
- ☐ Mám splněný minimální počet normostran textu (lze spočítat pomocí Makefile a odhadem přičíst obrázky). Pokud jsem těsně pod minimem, konzultoval(a) jsem to s vedoucím.
- ☐ Pokud chci tisknout oboustranně, konzultoval(a) jsem to s vedoucím a mám správně nastavenou šablonu. Kapitoly začínají na liché stránce.
- ☐ Technickou zprávu mám v deskách z knihařství (min. 1 výtisk, při utajení oba).
- ☐ Za titulním listem práce je zadání (tzn. mám jej stažené z IS a vložené do šablony).
- ☐ V IS jsou abstrakty a klíčová slova.
 - V abstraktu a klíčových slovech v IS nejsou zkopírované vlnky pro nezlomitelné mezery.
- ☐ V IS je PDF práce (s klikatelnými odkazy).
- ☐ Oba výtisky práce jsou podepsané.
- ☐ V jednom (při utajení obou) výtisku práce je paměťové médium, na kterém je fixkou napsaný login (fixku na CD lze zapůjčit v knihovně, na Studijním oddělení nebo až při odevzdání).